

Band
425

Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts

Roman Dumitrescu
Katharina Hözlé (Hrsg.)

Vorausschau und Technologieplanung

**18. Symposium für
Vorausschau und Technologieplanung**

5. und 6. Dezember 2024
Berlin

Roman Dumitrescu
Katharina Hölzle (Hrsg.)

Vorausschau und Technologieplanung

18. Symposium für
Vorausschau und Technologieplanung
5. und 6. Dezember 2024
Berlin

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Band 425 der Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts

© Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn – Paderborn – 2024

ISSN (Print): 2195-5239

ISSN (Online): 2365-4422

ISBN: 978-3-947647-44-6

Das Werk einschließlich seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Herausgeber und des Verfassers unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Als elektronische Version frei verfügbar über die Digitalen Sammlungen der Universitätsbibliothek Paderborn.

Satz und Gestaltung: Luisa Hegel, Franziska Reichelt, Anna Steinig, Timm Fichtler

Vorwort

Erfolgreiche Unternehmensführung beruht zu einem erheblichen Teil auf einer regelmäßigen und systematischen Antizipation zukünftiger Markt- und Technologieentwicklungen. Daraus ergeben sich Chancen, aber auch Gefahren für das etablierte Geschäft. Methoden der Vorausschau und Technologieplanung helfen, schlüssige Konzepte für das Geschäft von morgen zu erarbeiten.

Wir haben ein vitales Interesse an einem intensiven Dialog mit der Fachwelt; aus diesem Grund veranstalten wir jährlich das „Symposium für Vorausschau und Technologieplanung“ mit qualitativ hochwertigen Beiträgen. Der vorliegende Band soll diesem Anspruch Gerecht werden. Für die Begutachtung und Auswahl der Beiträge danken wir den Mitgliedern des Programmkomitees herzlich.

Dr. R. E. Achatz,
thyssenkrupp AG

Prof. Dr. ETH R. Boutellier,
ETH Zürich

Dr. ETH B. Capaul,
BC2 Dr. Beatrice Capaul Consulting

Dr. R. Feurer,
BMW AG

Prof. Dr.-Ing. J. Franke ,
FAU Erlangen-Nürnberg

Dr. A. Frey,
acatech

Prof. Dr.-Ing. V. Grienitz,
Hochschule Wismar

A. Hagemann,
Cicor Management AG

Dr. S. Kimpeler,
Fraunhofer ISI

Dr.-Ing. C. Koldewey,
Heinz Nixdorf Institut

Dr.-Ing. A. Kühn,
Fraunhofer IEM

Prof. Dr. M. Lauster,
Fraunhofer INT

Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann,
TU München

Dr.-Ing. J. S. Michels,
Weidmüller Interface GmbH & Co. KG

Prof. Dr. M. Möhrle,
Universität Bremen

Prof. Dr. T. Müller-Kirschbaum,
tmk-expertise

T. Pfänder,
UNITY AG

Prof. Dr. F. T. Piller,
RWTH Aachen

Prof. Dr. R. Rohrbeck,
EDHEC Business School

Prof. Dr.-Ing. S. Schimpf,
Fraunhofer-Verbund Innovationsforschung

Dr.-Ing. B. C. Schmidt,
Hitachi Energy Ltd.

Prof. Dr. A. Schönmann,
Technische Hochschule Ingolstadt

Prof. Dr. M. Schraudner,
Fraunhofer CeRRI

Prof. Dr.-Ing. G. Schuh,
RWTH Aachen

Prof. Dr.-Ing. A. Siebe,
Zukunftsingenieur

Prof. Dr.-Ing. D. Specht,
BTU Cottbus

Dr.-Ing. K. Stoll,
WAGO GmbH & Co. KG

Prof. Dr. K.-I. Voigt,
FAU Erlangen-Nürnberg

Prof. Dr. M. Weissenberger-Eibl,
Fraunhofer ISI und KIT

Prof. Dr. T. Wulf,
Philipps-Universität Marburg

Dr. J. Winter,
L3S Research Centre

Die Insider wissen, dass eine derartige Veranstaltung und Publikation mit viel Arbeit verbunden ist. Stellvertretend für die vielen hilfreichen Geister im Hintergrund sei Frau Silke Schönlau und Herrn Timm Fichtler gedankt, denen die Organisation des Ganzen oblag.

Dezember 2024

Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu

Prof. Dr. Katharina Hölze

Inhaltsverzeichnis

Session I

| | |
|--|----|
| <i>A. Rasor, L. Petzke, J. Vehmeyer, C. Koldewey, R. Dumitrescu</i> | |
| Die Potentiale der Kreislaufwirtschaft für die Industrie | 9 |
| <i>G. Schuh, J. Jacobi</i> | |
| Konzept für die strategische Planung von Produkttechnologien für die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft | 31 |

Session II

| | |
|--|----|
| <i>F. Roth, B. Scharte</i> | |
| Transformation gestalten in unsicheren Zeiten: Ansätze für resiliente Innovationsstrategien | 49 |
| <i>M. Drewel, D. Fischer, A. Gehring, C. Koldewey, R. Dumitrescu</i> | |
| Generative künstliche Intelligenz in der Strategie – Eine retrospektive Betrachtung am Beispiel Miele Business Unit Laundry | 69 |

Session III

| | |
|--|-----|
| <i>K. Grigoryan, L. Martin, T. Fichtler, J. Reinhold, L. Asmar, A. Kühn, R. Dumitrescu</i> | |
| Leitfaden zur Planung von Datenanalysen zur Entscheidungsunterstützung im Produktmanagement..... | 99 |
| <i>C. Thümmel, C. Puch, S. Eibl, S. Schwarz, M. Schmitz, A. Siebe, A. Albers</i> | |
| Beschreibungsmodell für die kontinuierliche Integration von strategischer Vorausschau in den Produktentstehungsprozess..... | 125 |

Session IV

| | |
|--|-----|
| <i>C. Kürpick, N. Schreiner, A. Kühn, R. Dumitrescu</i> | |
| Die Duale Transformation als Wegbereiter der Industrie.Zero: Strategische Planung der Nachhaltigkeit und Digitalisierung..... | 145 |
| <i>N. Schreiner, F. Siems, C. Kürpick, A. Kühn, S. Stieren, C. Henke, R. Dumitrescu</i> | |
| Vorgehen zur Dekarbonisierung von Cyber-Physischen Systemen im Rahmen der Produktkonzipierung..... | 169 |

Session V

- C. Moser, S. Wrobel, A. Schönmann*
Open Foresight als Ansatz einer ressourceneffizienten strategischen
Vorausschau für KMU..... 193
- V. Grienitz*
Monitoring & Roadmapping von Zukunftsszenarien mit Szenario-Lackmus-Test... 213

Session VI

- I. Baier, J. Welz, J. Kosinski, J. Peuckert*
Relevanzkriterien für KI-gestützte Horizon Scanning Prozesse –Erste
Erfahrungen aus dem Projekt „Wertschöpfungsradar” 237
- L. Berensmeier*
Dynamische Integration von Patentdaten in die Szenario-Technik: Wie KI
bei der Gewinnung und beim Monitoring von Schlüsselfaktoren helfen kann..... 253

Session VII

- J. Dörr*
Strategische Unternehmensvorausschau unter Unsicherheit: Ein robustes
Entscheidungsfindungsmodell im aufstrebenden Wasserstoffmarkt..... 275
- J. Schlörmer, S. Stegmüller*
Entwicklung eines Modells zur Analyse von Stakeholder-Interaktionen im
Batterierecyclingprozess..... 299

Session VIII

- M. J. Maier, S. Kaiser, K. Klug, K. Hölzle*
Multiperspektivische Vorausschau für Emerging Technologies: Praxisbeispiel
Nicht-invasive Hirnstimulation (NIBS)..... 319
- M. Trienens, L. Schröder, W. Halawi, A. Hovemann, R. Dumitrescu*
Leitfaden für die Konzipierung und Umsetzung von digitalen grünen Zwillingen.... 341

Session I

Die Potentiale der Kreislaufwirtschaft für die Industrie

**Anja Raso¹, Lisa Petzke¹, Julia Vehmeyer¹, Christian Koldewey^{1,2},
Roman Dumitrescu^{1,2}**

¹ Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Advanced Systems Engineering,

anja.raso@hni.upb.de, lisa.petzke@hni.upb.de, julia.marie.vehmeyer@hni.upb.de

² Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM, christian.koldewe@hni.upb.de,

roman.dumitrescu@hni.upb.de

Zusammenfassung

Der Klimawandel, das zunehmende Nachhaltigkeitsbewusstsein der Verbraucher und neue gesetzliche Regelungen erfordern von Unternehmen eine Abkehr von der linearen Wirtschaft. Diese traditionelle Wirtschaftsform, die auf "make-take-waste" basiert, wird zunehmend durch das Modell der Kreislaufwirtschaft ersetzt. Die Kreislaufwirtschaft zielt darauf ab, Abfall und Ressourcenverbrauch zu minimieren, indem Materialien und Produkte durch Wiederverwendung, Reparatur, Aufarbeitung und Recycling im Wirtschaftskreislauf gehalten werden. Ihre Prinzipien umfassen die Intensivierung und Verlängerung der Produktnutzung, Effizienzsteigerung und Dematerialisierung sowie die Schließung der Materialkreisläufe. Dies verspricht nicht nur den Einsatz weniger materieller Ressourcen und die Reduzierung des CO₂-Ausstoßes, sondern auch ökonomische Vorteile durch neue Geschäftsmodelle und die Erschließung neuer Märkte durch zirkuläre Produkte. Bisherige Arbeiten greifen die Potentiale der Kreislaufwirtschaft nur oberflächlich und bezogen auf einzelne Branchen auf. Die Zielgruppen der Potentiale werden jedoch nicht näher betrachtet. Dieser Beitrag liefert eine strukturierte Übersicht über die Potentiale der Kreislaufwirtschaft für Unternehmen. Sie basieren auf einer systematischen Literaturrecherche (SLR) und wurden in einem Workshop mit Wissenschaftlern evaluiert. Resultat ist eine umfassende Potentiallandkarte. Diese verdeutlichen, dass die Kreislaufwirtschaft signifikante ökologische, ökonomische und soziale Vorteile bieten kann, darunter Kostenreduktionen, Ressourcenschonung und Innovationsförderung in unterschiedlichen Bereichen der Wertschöpfungskette. Der strukturierte Überblick ermöglicht es Unternehmen, die Vorteile der Kreislaufwirtschaft besser zu verstehen und erste Schritte in Richtung einer nachhaltigeren Wirtschaft zu unternehmen. Der Beitrag bietet damit eine wertvolle Grundlage für Inspiration und dient als Argumentationsgrundlage für nachhaltige Geschäftsideen. Für die Forschung stellt er eine fundierte Basis für weiterführende Studien zur Optimierung und Umsetzung kreislauforientierter Geschäftsmodelle dar.

Schlüsselworte

Kreislaufwirtschaft, Potentiale, Systematische Literaturrecherche, Potentiallandkarte, Zielgruppe

The potential of the circular economy for industry

Abstract

Climate change, increasing consumer awareness of sustainability, and new regulations are forcing companies to move away from the linear economy. This traditional "make-take-waste" economic model is increasingly being replaced by the circular economy model. The circular economy aims to minimize waste and resource consumption by keeping materials and products in the economic cycle through reuse, repair, refurbishment and recycling. Its principles include intensifying and extending product use, increasing efficiency and dematerialization, and closing material cycles. This promises not only the use of fewer material resources and a reduction in CO2 emissions, but also economic benefits through new business models and the development of new markets through circular products. Previous work has addressed the potential of the circular economy only superficially and in relation to individual sectors. However, the target groups of the potentials are not considered in detail. This article provides a structured overview of the potential of the circular economy for companies. It is based on a systematic literature review (SLR) and evaluated in a workshop with scientists. The result is a comprehensive potential map. It shows that the circular economy can offer significant environmental, economic and social benefits, including cost reduction, resource conservation and innovation in different parts of the value chain. The structured overview enables companies to better understand the benefits of the circular economy and to take the first steps towards a more sustainable economy. It is a valuable source of inspiration and argumentation for sustainable business ideas. For researchers, it provides a sound basis for further studies on the optimization and implementation of circular business models.

Keywords

Circular economy, potentials, systematic literature research, potential map, target group

1 Kreislaufwirtschaft als Potential zur Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele

Der fortschreitende Klimawandel, rechtliche Rahmenbedingungen und das wachsende Nachhaltigkeitsbewusstsein in der Gesellschaft setzen Industrieunternehmen unter Veränderungsdruck. Traditionelle lineare Wertschöpfungsmodelle sind durch einen verschwenderischen Umgang mit Ressourcen gekennzeichnet und werden daher zunehmend in Frage gestellt. Unternehmen müssen ihre Wertschöpfung unter Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte neu ausrichten [Ell13]. In diesem Zusammenhang gewinnt die Kreislaufwirtschaft zunehmend an Bedeutung. Im Gegensatz zur linearen Wirtschaft fördert sie innovative Geschäftsmodelle, die den Produktlebenszyklus durch Wiederverwendung, Reduzierung oder Recycling von Materialien verlängern [KRH17]. Die Einführung der Kreislaufwirtschaft in ein Unternehmen erfordert die Transformation der Wertschöpfungskette [EFS+22]. Die Wertschöpfungskette wird nach PORTER in verschiedene Bereiche unterteilt, die die Aktivitäten eines Unternehmens bei der Wertschöpfung aufzeigen [Por01]. Das Modell ist auf die Gewinnerzielung ausgerichtet und beinhaltet primäre Wertschöpfungsaktivitäten sowie unterstützende Aktivitäten, die die primären Aktivitäten ermöglichen [Por01]. Die Wertschöpfungskette eines Unternehmens kann in ein größeres Wertschöpfungssystem eingeordnet werden. Vorgelagerte Wertschöpfungsketten sind die Wertschöpfungsketten der Lieferanten, die Vorleistungen für das eigene Unternehmen erbringen. Sie liefern nicht nur Produkte, sondern können auch anderweitig die Leistung des Unternehmens beeinflussen und fungieren in dieser Definition als Wertschöpfungspartner. Nachgelagerte Wertschöpfungsketten sind die Wertschöpfungsketten der Vertriebskanäle, die das hergestellte Produkt durchlaufen, und der Kunden-Wertschöpfungsketten, die das Produkt verwerten oder nutzen [Gro14], [Por01].

Die Umsetzung der Transformation zu einer zirkulären Wertschöpfung sind durch einen hohen Komplexitätsgrad gekennzeichnet, den Unternehmen bewältigen müssen [GSK+23]. Darüber hinaus bestehen Herausforderungen in der konkreten Operationalisierung, wo häufig Informationsdefizite bestehen, die zu Unsicherheiten führen [DGG+22], [HS21]. Beispielhaft kann hier auf begrenzte Informationen über die Qualität der wiederverwertbaren Materialien und ein Mangel an Rezyklaten verwiesen werden, was die Ressourcen- und Produktionsplanung in der zirkulären Wertschöpfung erschweren [GSK+23]. Für viele Unternehmen stellt die Kreislaufwirtschaft derzeit vor allem eine Herausforderung dar [IHP21], [OCR+21]. Die Potenziale bleiben ihnen verborgen, und oft fehlt es am Verständnis, wie diese für ihren betrieblichen Erfolg genutzt werden könnten. Praxisbeispiele wie das der ZF FRIEDRICHSHAFEN AG zeigen jedoch, dass die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft erhebliche Potentiale bietet, wenn die Herausforderungen überwunden werden. Die ZF FRIEDRICHSHAFEN AG betreibt bei vielen ihrer Produkte Remanufacturing und konnte dadurch sowohl Kosten für neue Rohstoffe einsparen als auch zusätzliche Wertschöpfung generieren [ZF 23].

In der Literatur finden sich Beiträge, die diese Potentiale durch die Einführung der Kreislaufwirtschaft adressieren. MENDOZA ET AL. stellen die Chancen für die Industrie und die Nachhaltigkeitspotentiale durch die Einführung zirkulärer Geschäftsmodelle und Strategien für das

Technologiemanagement in der Windindustrie dar [MGV+22]. Diese Potentiale werden anschließend verallgemeinert und gelten für den gesamten Sektor der erneuerbaren und kohlenstoffarmen Energien [MGV+22]. Dieser Ansatz ist daher branchenspezifisch und fokussiert vor allem auf die Geschäftsmodelle, d.h. es wird nicht differenziert, in welchen Bereichen der Wertschöpfung die Potentiale wirksam werden. BINKEL ET AL. bieten eine ganzheitliche Perspektive auf die Potentiale von Industrie 4.0 für das Lieferkettenmanagement in der Kreislaufwirtschaft und deren Auswirkungen auf die Triple Bottom Line [BM21]. Diese Potentiale sind auf den Bereich der Lieferkette in der Wertschöpfung fokussiert. PATEL ET AL. beschreiben die Treiber der Kreislaufwirtschaft in produzierenden Unternehmen und untersuchen deren Wechselwirkungen [PPK+21]. Die identifizierten Treiber umfassen und vermischen sowohl Potentiale, die Unternehmen zur Einführung der Kreislaufwirtschaft motivieren, als auch interne Voraussetzungen und externe Zwänge wie gesetzliche Rahmenbedingungen. Dieser Ansatz bietet daher keinen systematischen Überblick über die Potentiale der Kreislaufwirtschaft für die einzelnen Wertschöpfungsbereiche eines Unternehmens.

Die vorhandene Literatur zeigt, dass ein klarer Überblick über die Potentiale der Kreislaufwirtschaft für Unternehmen fehlt. Bisherige Studien betrachten diese Potentiale nur in Bezug auf bestimmte Branchen oder oberflächlich. Eine spezifische Zuordnung der Potentiale zu bestimmten Zielgruppen oder einzelnen Bereichen der Wertschöpfung fehlt. Damit bleibt unklar, wo genau diese Potentiale ihre Wirkung entfalten. Daraus ergibt sich folgende Forschungsfrage: *Was sind die Potentiale für Industrieunternehmen durch die Einführung der Kreislaufwirtschaft in der Wertschöpfungskette?* Ziel dieses Beitrags ist es, eine Übersicht der Potenziale zu erstellen, die den einzelnen Wertschöpfungsbereichen der Wertschöpfungskette sowie den jeweiligen Zielgruppen zugeordnet sind.

Im Kapitel 2 wird das methodische Vorgehen zur Beantwortung der Forschungsfrage beschrieben. Die identifizierten Potentiale der Kreislaufwirtschaft für die Industrie werden vorgestellt, wobei zunächst die Potentialcluster und die Erstellung einer Potentiallandkarte durch deren Strukturierung entlang der Wertschöpfungskette nach PORTER erläutert werden (Kapitel 3.1), gefolgt von der Zuordnung der Potentialcluster zu Zielgruppen (Kapitel 3.2) und der Demonstration der Potentiale anhand von Anwendungsfällen aus der Praxis (Kapitel 3.3). Im letzten Kapitel erfolgt die Diskussion der Ergebnisse.

2 Methodisches Vorgehen

Um die Forschungsfrage zu beantworten und Potentiale für Industrieunternehmen durch die Einführung der Kreislaufwirtschaft in die Wertschöpfungskette zu identifizieren, wurde eine systematische Literaturrecherche (SLR) durchgeführt. Diese basierte auf dem methodischen Ansatz von XIAO und WATSON [XW19], die eine strukturierte Vorgehensweise zur Sammlung und Analyse von relevanter Literatur vorschlagen. Die Ergebnisse wurden in Anlehnung an WEBSTER und WATSON [WW02] strukturiert. Die mittels der SLR identifizierten Artikel wurden anschließend thematisch analysiert. Die Ergebnisse wurden in einem Workshop mit Fachexperten evaluiert. Zur praxisorientierten Validierung der Ergebnisse wurde zusätzlich eine Recherche zu möglichen Anwendungsfällen durchgeführt. Der Prozess wurde in fünf Phasen durchgeführt (vgl. Bild 1).

Auswahl der Datenbank: Die Studie sollte sich auf eine solide und umfassende Datenbasis stützen. Hierfür wurde die Datenbank Scopus ausgewählt, die sich durch eine umfassende Abdeckung wissenschaftlicher Publikationen auszeichnet.

Definition des Suchstrings: Auf der Grundlage der Forschungsfragen wurde ein dreiteiliger Suchstring verwendet (vgl. Bild 1). Der erste Teil des Suchstrings zielt direkt auf die Kreislaufwirtschaft ab und deckt damit den Kernbereich ab. Der zweite Teil des Suchstrings enthält Synonyme für die Wertschöpfungskette und ermöglicht die Identifizierung von Potentialen in deren verschiedenen Bereichen. Der letzte Teil des Suchstrings enthält verschiedene Synonyme für den Begriff Potential.

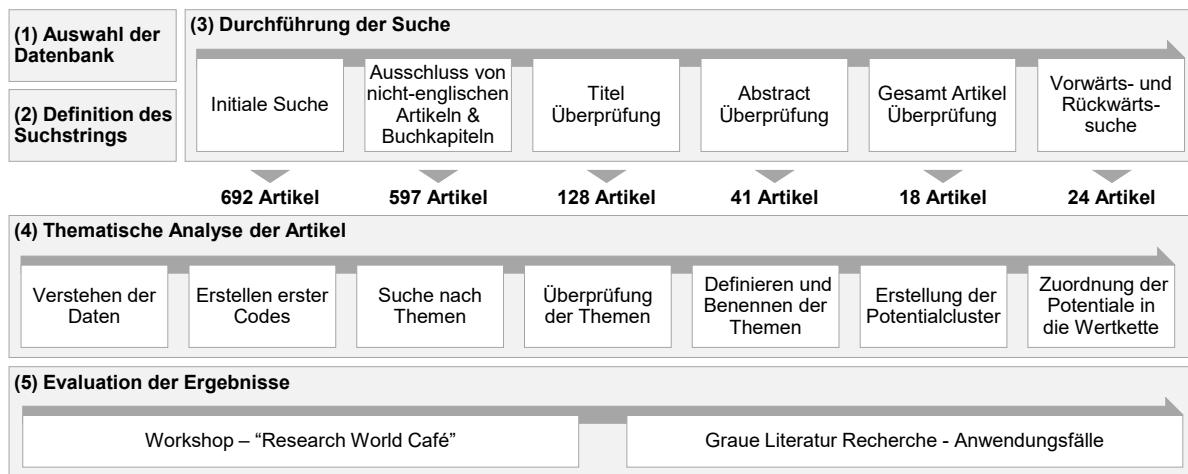


Bild 1: Methodisches Vorgehen

Durchführung der Suche: Durch den Einsatz des Suchstrings auf Titel-, Abstract- und Keyword-Ebene konnten 692 potenziell relevante Artikel ermittelt werden. Ein fünfstufiges Bewertungsverfahren wurde von zwei Wissenschaftlern zur Verfeinerung der Ergebnisse angewandt. Zunächst wurden Buchkapitel und nicht englischsprachige Artikel ausgeschlossen, wodurch 597 relevante Artikel identifiziert wurden. Daraufhin wurden die verbliebenen Arbeiten unter Berücksichtigung von Titel und Abstract auf ihre Relevanz für die Forschungsfrage überprüft. Die verbliebenen 41 Artikel, wurden im nächsten Schritt auf Volltextebene analysiert. Weitere 23 Artikel wurden als nicht relevant eingestuft. Abschließend wurde eine Vorwärts- und Rückwärtsanalyse durchgeführt. Das Ergebnis waren 24 Artikel, auf deren Basis in der thematischen Analyse die Potentiale identifiziert wurden.

Thematische Analyse der Artikel: Das Kodierverfahren von BRAUN und CLARKE wurde für die thematische Analyse der Artikel durchgeführt [BC06]. Der Prozess begann mit der Sichtung der Rohdaten. Relevante Textpassagen zu den Potentialen der Kreislaufwirtschaft wurden extrahiert und als direkte Zitate codiert. Aus diesen Codes wurden Primärkategorien gebildet, die weiter analysiert und zu Sekundärkategorien verdichtet wurden. Insgesamt konnten 78 Potentiale identifiziert werden. Im nächsten Analyseschritt wurden zehn der Potentiale als positive Treiber für die Einführung der Kreislaufwirtschaft erkannt und die restlichen 68 Potentiale zu vierzehn Potentialclustern aggregiert. Die Potentiale der Potentialcluster wurden den Bereichen

der Wertschöpfungskette nach PORTER [Por01] zugeordnet. Nach der Identifikation und Analyse der vierzehn Potentialcluster erfolgt deren systematische Verortung in einer Potentiallandkarte. Die Potentiallandkarte indiziert, in welchen Bereichen sich das Potential auswirkt. Als konzeptionelle Grundlage dieser Landkarte dient die Wertschöpfungskette nach Porter, die in der deutschsprachigen Literatur aufgrund der direkten Übersetzung des englischen Begriffs "value chain" auch als Wertkette bezeichnet wird [GDE+19]. Dieses etablierte Modell bildet keine zirkuläre Wertschöpfung ab, sondern basiert auf der linearen Wertschöpfung. Durch die Einordnung der Potentialcluster kann erkannt werden, welche Potentiale sich für linear wirtschaftende Unternehmen durch eine Transformation ergeben können. Die Potentiallandkarte fokussiert auf die Wertschöpfungskette des Unternehmens, berücksichtigt aber auch die Wertschöpfungskette der Lieferanten und Kunden [Gro14], [Por01]. So werden Potentiale sowohl intern als auch in der Zusammenarbeit mit Lieferanten und Kunden sichtbar. Auf Basis dieser Zuordnung wurden die Zielgruppen der Potentialcluster abgeleitet.

Evaluation der Ergebnisse: Um die Praxisrelevanz der Forschungsergebnisse zu erhöhen, wurden zwei Evaluationsmaßnahmen durchgeführt. Die aggregierten Potentialcluster einschließlich der zugehörigen Potentiale und deren Einordnung in die Wertschöpfungskette nach PORTER sowie die Zielgruppen wurden in einem Workshop mit fünf Wissenschaftlern aus dem Forschungsbereich Nachhaltigkeit ausführlich diskutiert und hinsichtlich ihrer Relevanz für die Forschungsfragen überprüft. Der Workshop umfasste sowohl erfahrene Wissenschaftler mit 3 bis 6 Jahren Forschungserfahrung als auch Junior-Wissenschaftler mit 1 bis 3 Jahren wissenschaftlicher Tätigkeit. Alle beteiligten Wissenschaftler arbeiten seit mehreren Jahren intensiv im Bereich Nachhaltigkeit und brachten ihre fundierte Expertise in die Diskussion ein. Dabei wurde die Forschungsmethode "Research World Café" nach SCHIELE ET AL. [SKH+22] angewandt. Die vierzehn Potentialcluster in der Potentiallandkarte wurden in zwei Gruppen aufgeteilt und in drei Runden diskutiert. In jeder Runde wurden die Gruppen der Wissenschaftler neu zusammengestellt, wobei die Diskussionsergebnisse der vorherigen Runden berücksichtigt und weiter diskutiert wurden. Die Ergebnisse des Workshops flossen anschließend in die Forschungsergebnisse ein. Basierend auf den Erkenntnissen wurden zwei Potentialcluster zu einem zusammengefasst, sodass sich insgesamt dreizehn Potentialcluster ergeben. In einem zweiten Schritt wurde graue Literatur recherchiert, die Anwendungsfälle der Kreislaufwirtschaft in Industrieunternehmen beschreibt. Dabei wurden vor allem Nachhaltigkeitsberichte und Jahresabschlussberichte berücksichtigt. Diese Berichte sind entscheidend, da sie detaillierte Einblicke in die Umsetzung von Initiativen im Kontext der Kreislaufwirtschaft bieten. Insgesamt wurden dabei fünfzehn Anwendungsfälle von Industrieunternehmen identifiziert. Unter Berücksichtigung der Potentialcluster wurden drei Anwendungsfälle ausgewählt und analysiert. Ziel war es, die identifizierten Potentialcluster anhand konkreter Praxisbeispiele aufzuzeigen und damit die Praxisrelevanz der Ergebnisse zu verdeutlichen.

3 Potentiale der Kreislaufwirtschaft für die Industrie

Im Folgenden werden die Ergebnisse der systematische Literaturrecherche und des Workshops vorgestellt. Zuerst werden die identifizierten Potentialcluster beschrieben und die Potentiallandkarte entlang der Wertschöpfungskette nach PORTER erläutert (Kapitel 3.1). Daraufhin wird

die darauf aufbauende Herleitung der Zielgruppen jedes Potentialclustern beschrieben (Kapitel 3.2). Im letzten Kapitel dieses Abschnitts erfolgt die Demonstration der identifizierten Potentialcluster anhand von Anwendungsfällen aus der Praxis (Kapitel 3.3).

3.1 Potentialcluster und deren Strukturierung entlang der Wertschöpfungskette nach PORTER

Basierend auf den Ergebnissen der SLR und den Erkenntnissen aus dem Workshop wurden dreizehn Potentialcluster identifiziert. Diese Cluster fassen inhaltlich verwandte Potentiale durch die Einführung von Kreislaufwirtschaft in Unternehmen zusammen und sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Potenziale in den Clustern entfalten sich durch Treiber, die sich aus der Umsetzung der Kreislaufwirtschaft ergeben. Dazu gehören innovative zirkuläre Produkte, die notwendige Kooperation mit Wertschöpfungspartnern zur Umsetzung der Zirkularität, eine veränderte Materialwirtschaft durch den Einsatz zirkulärer Rohstoffe, die Verbindung von Zirkularität und Digitalisierung sowie zirkuläre Geschäftsmodelle. Diese Faktoren beeinflussen mehrere Potentialcluster. Die Potentialcluster adressieren Nachhaltigkeit in ökologischer, ökonomischer und sozialer Hinsicht. Darüber hinaus wurde jedes Potentialcluster in die Wertschöpfungskette nach PORTER eingeordnet. Diese Zuordnung wird im Folgenden erläutert und ist abschließend in Bild 2 dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht der Potentiale

| Potentiale | Quellen |
|--|--------------------|
| Steigerung der Innovationsfähigkeit (1) | [HS21], [ZHH23] |
| Branchenübergreifende, kollaborative und transparente Innovationen durch digitale Technologien | [LCG23], [PA23] |
| Innovationsfähigkeit eines Unternehmens (durch Aufbrechen von Prozessen und Wissensinseln) | [HJ20] |
| Erhöhung des Innovationsgrades durch Ausgründungen | [KBH23] |
| Förderung der Entwicklung neuer Innovationen, Prozesse und Aktivitäten durch Einbindung weiterer Wertschöpfungspartner | [KKD+23] |
| Steigerung der Produktqualität (2) | [PPK+21] |
| Verlängerung der Produktlebensdauer | [PPK+21] |
| Verbesserung der Produktqualität durch Services (Wartung, Produktupgrades) mittels cloudbasierter Lösungen | [MGV+22] |
| Qualitätssteigerung durch Wiederaufbereitung, die durch ein zirkuläres Produktdesign ermöglicht wird | [JPB+19], [KRL21] |
| Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit (3) | [KKD+23], [MGV+22] |
| Differenzierte strategische Marktpositionierung durch innovative zirkuläre Produkte | [MLZ20], [PPK+21] |
| Wettbewerbsvorteile durch Wertschöpfungsnetzwerke | [VS16] |
| Entwicklung von Wettbewerbsvorteilen durch geteilte Nachhaltigkeitskompetenzen | [BPR+18], [VS16] |
| Verbesserung der Zusammenarbeit (4) | [EFS+22] |
| Gesteigerte Transparenz im Wertschöpfungsnetzwerk durch intensive Kommunikation | [HJ20] |

| | |
|---|---|
| Verstärkte Mitgestaltungsprozesse bei Innovationen und Projekten | [HJ20] |
| Neue Formen der Zusammenarbeit durch offenes und zirkuläres Produktdesign | [Bak23] |
| Verbesserte Zusammenarbeit mit verschiedenen Wertschöpfungsakteuren | [KL22] |
| Optimierter Wissenstransfer über Produkte zwischen den Wertschöpfungspartnern | [HS21] |
| Steigerung des finanziellen Wachstums (5) | [AEH+23], [KL22], [PPK+21] |
| Positive Korrelation mit Gewinnentwicklung | [AEH+23], [KL22], [PPK+21] |
| Finanzielles Wachstum für die Einführung neuer zirkulärer Geschäftsmodelle | [GSK+23], [JPB+19], [PA23] |
| Erschließung neuer Markt- und Kundensegmente | [MGV+22], [ZHH23] |
| Wirtschaftlicher Mehrwert durch Entwicklung innovativer Wertschöpfungsnetzwerke | [MLZ20] |
| Verbesserung der Resilienz (6) | [GSK+23] |
| Reduzierung der Abhängigkeit von neuen und kritischen Materialien | [MGV+22] |
| Verkürzung der Beschaffungszeiten von Rohstoffen | [PPK+21] |
| Reduzierung von Risiken durch Preisschwankungen | [PPK+21] |
| Allgemeine Verbesserung der Unternehmensresilienz | [GSK+23] |
| Steigerung der Ressourceneffizienz (7) | [GSK+23], [KKD+23], [OFS+18] |
| Gemeinsame Ressourcennutzung im Wertschöpfungsnetzwerk zur Steigerung der Ressourceneffizienz | [GSK+23], [KKD+23], [OFS+18] |
| Reduzierung von Material- und Energieverbrauch | [PPK+21] |
| Verringerung der Ausschussquote | [PPK+21] |
| Optimierung des Materialflusses im Unternehmen | [EFS+22], [KKD+23] |
| Gemeinsame Marketingkampagnen durch Ressourcenbündelung | [KKD+23] |
| Erhöhung der Kundenbindung (8) | [JPB+19], [KKD+23], [KL22], [MLZ20], [PPK+21] |
| Steigerung der Kundenzufriedenheit durch kreislauforientierte Gestaltung von Produkten und die damit verbundenen Reparaturmöglichkeiten und daraus folgenden wirtschaftlichen Vorteil | [PPK+21], [MLZ20], [KKD+23] |
| Verbesserung des Unternehmensimages durch regenerative Maßnahmen im Rahmen der Kreislaufwirtschaft | [KL22] |
| Schaffung zusätzlicher Arbeitsplätze (9) | [MGV+22], [MLZ20], [PPK+21], [BM21] |
| Durch neue Prozesse entstehen neue und spezialisierte Tätigkeiten | [BM21] |
| Steigerung der Produktivität (10) | [PPK+21], [MLZ20], [MGV+22], [JPB+19], [BM21] |
| Prozessoptimierungen durch zirkuläre Transformation | [JPB+19], [PPK+21] |
| Reduktion fehlerhafter Produkte und Abfall in Lieferketten | [MGV+22], [BM21] |
| Etablierung effizienter und produktiver Zusammenarbeit mit Wertschöpfungspartnern | [MLZ20] |
| Reduktion der Kosten (11) | [JPB+19], [KRL21], [MLZ20] |
| Senkung von Informationsübermittlungs-, Lager- und Betriebskosten durch verringerten Material- und Energiebedarf | [PPK+21] |
| Reduktion der Materialkosten durch Wiederverwendung | [JPB+19], [KRL21] |
| Steigerung der Mitarbeiterzufriedenheit (12) | [PPK+21] |

| | |
|--|----------|
| Verbesserung der Lebensqualität der Mitarbeiter | [PPK+21] |
| Erhöhte Zufriedenheit durch Engagement im Bereich Nachhaltigkeit | [PPK+21] |
| Erweiterung der Kompetenzen (13) | [JPB+19] |
| Kompetenzsteigerung im Bereich zirkuläres Produktdesign und erweiterten Verwendungsmöglichkeiten des Produktes | [JPB+19] |
| Kompetenzsteigerung durch Wissenstransfer mit Wertschöpfungspartnern | [VS16] |

Die Einführung der Kreislaufwirtschaft in Unternehmen birgt das Potential einer **Steigerung der Innovationsfähigkeit** (1) [HS21], [ZHH23]. Dieses Cluster lässt sich in zwei Bereichen der Wertschöpfungskette nach PORTER verorten: in der Technologieentwicklung und der Lieferantenwertschöpfungskette. Dies lässt sich mit den Potentialen dieses Clusters begründen. Eine entscheidende Rolle spielen dabei digitale Technologien wie IoT, Big Data Analytics und KI, die Innovationen für die Kreislaufwirtschaft branchenübergreifend, kollaborativer, transparenter und datengetriebener gestalten können [LCG23], [PA23]. Durch die zirkuläre Transformation werden bestehende Prozesse aufgebrochen. Dies kann zur Zusammenführung von Fachwissen und zur Überwindung von unternehmensinternen Wissensinseln führen, was die Innovationsfähigkeit eines Unternehmens fördert [HJ20]. Zur effektiven Umsetzung einer Kreislaufwirtschaftsstrategie nutzen viele Unternehmen Ausgründungen, die den Innovationsgrad erhöhen können [KBH23]. Die für die Kreislaufwirtschaft notwendige Einbindung weiterer Wertschöpfungspartner kann die Entwicklung neuer Innovationen, Prozesse und Aktivitäten fördern [KKD+23].

Die **Steigerung der Produktqualität** (2) ist ein weiteres Potentialcluster durch die Einführung der Kreislaufwirtschaft, welches die Lebensdauer eines Produktes verlängern kann [PPK+21]. Es bietet Vorteile sowohl für die Kunden als auch für die Lieferanten. In der Wertschöpfungskette des Unternehmens wirken sich die Potentiale auf den Kundendienst aus. Durch die Einbindung von Wertschöpfungspartnern und Kunden mittels cloudbasierter Lösungen kann die Produktqualität durch Services wie Wartung oder Produktupgrades verbessert werden [MGV+22]. Auch durch Wiederaufbereitung von Produkten kann die Qualität im Laufe des Produktlebenszyklus gesteigert werden, wobei dies bereits im produktdesign durch zirkulären Designrichtlinien wie z.B. Modularität berücksichtigt werden muss [KRL21], [JPB+19].

Die Einführung zirkulärer Geschäftsmodelle kann zur **Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit** (3) beitragen [KKD+23], [MGV+22]. In der Wertschöpfungskette nach PORTER kann dieses Cluster in zwei Bereichen verortet werden: Technologieentwicklung und Gewinn. Darüber hinaus wirken sich die Potentiale auf die Wertschöpfungskette der Lieferanten aus. Dies ist auf die Potentiale dieses Clusters zurückzuführen. Darüber hinaus ermöglichen innovative zirkuläre Produkte eine differenzierte strategische Positionierung am Markt [MLZ20], [PPK+21]. Weitere Wettbewerbsvorteile ergeben sich aus den Wertschöpfungsnetzwerken, die für die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft notwendig sind. In diesen dynamischen Netzwerken können Nachhaltigkeitskompetenzen geteilt und Wettbewerbsvorteile entwickelt werden [VS16], [BPR+18].

Für die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft ist die Zusammenarbeit mit Wertschöpfungspartnern ein zentraler Erfolgsfaktor [EFS+22]. Daher besteht das Potentialcluster zur **Verbesserung**

rung der Zusammenarbeit (4) mit allen relevanten Wertschöpfungsakteuren, wie anderen Unternehmen, Behörden, Verbänden und Kunden [KL22]. Dementsprechend beeinflussen die Potentiale alle drei Wertschöpfungsketten. Eine intensivierte und flexibilisierte Kommunikation führt zu einer gesteigerten Transparenz im gesamten Wertschöpfungsnetzwerk [HJ20]. Dies impliziert zudem eine steigende Relevanz von Mitgestaltungsprozessen bei Innovationen und Projekten der Partner [HJ20]. Der Wissenstransfer über Produkte zwischen den Wertschöpfungspartnern wird dadurch ebenfalls optimiert [HS21]. Ein offenes und zirkuläres Produktdesign eröffnet neue Chancen für einfachere und stärkere Formen der Zusammenarbeit [Bak23].

Die **Steigerung des finanziellen Wachstums** (5) ist ein weiteres Potential für Unternehmen, die die Kreislaufwirtschaft in ihre Wertschöpfung einführen [PPK+21], [AEH+23], [KL22]. Es korreliert positiv mit der Gewinnentwicklung sowie mit der Wertschöpfungskette des Lieferanten. Durch die Einführung neuer zirkulärer Geschäftsmodelle kann finanzielles Wachstum realisiert werden [GSK+23], [PA23], [JPB+19]. Zudem eröffnen zirkuläre Produkte die Möglichkeit, neue Märkte und Kundensegmente zu erschließen [MGV+22], [ZHH23]. Die Entwicklung innovativer Wertschöpfungsnetzwerke mit Partnern kann zusätzlich wirtschaftlichen Mehrwert schaffen [MLZ20].

Die Kreislaufwirtschaft kann für Unternehmen eine **Verbesserung der Resilienz** (6) bedeuten [GSK+23]. Dies kann sich positiv auf das gesamte Unternehmen und die Wertschöpfungskette der Lieferanten auswirken. Denn die Kreislaufwirtschaft zeichnet sich durch die wiederholte Nutzung von Materialien aus, wodurch sich die Abhängigkeit von neuen und kritischen Materialien reduziert [MGV+22]. Ansätze wie Recycling und Wiederverwendung können die Beschaffungszeiten von Rohstoffen verkürzen und Risiken durch Preisschwankungen verringern [PPK+21].

Die gemeinsame Nutzung von Ressourcen mit Partnern in einem zirkulären Wertschöpfungsnetzwerk kann zur **Steigerung der Ressourceneffizienz** (7) führen [GSK+23], [KKD+23], [OFS+18]. Das wirkt sich auf die Wertschöpfungskette der Lieferanten sowie auf mehrere Aktivitäten in der Wertschöpfungskette des Unternehmens aus. Dazu zählen die Beschaffung, Eingangslogistik, Operations und das Marketing und Sales. Denn die Effizienzsteigerung umfasst sowohl die Reduzierung von Material- und Energieverbrauch als auch eine geringere Ausschussquote [PPK+21]. Zusätzlich kann der Materialfluss im gesamten Unternehmen optimiert werden [KKD+23], [EFS+22]. Eine gemeinsame Ressourcennutzung kann auch gemeinsame Marketingkampagnen umfassen [KKD+23].

Ein weiteres Potentialcluster für Unternehmen durch die Einführung der Kreislaufwirtschaft ist die **Erhöhung der Kundenbindung** (8) [KKD+23], [JPB+19]. Die Kundenzufriedenheit kann durch die kreislauforientierte Gestaltung von Produkten und die damit verbundenen Reparaturmöglichkeiten erhöht werden, da dies für die Kunden einen wirtschaftlichen Vorteil darstellt [PPK+21], [MLZ20], [KKD+23].. In engem Zusammenhang damit steht das Potential zur Verbesserung des Unternehmensimages durch regenerative Maßnahmen im Rahmen der Kreislaufwirtschaft und deren Kommunikation [KL22]. Dadurch fördert dieses Cluster das Marketing und Sales sowie den Kundendienst. Zudem lässt es sich in der Wertschöpfungskette der Kunden einordnen.

Die Umsetzung zirkulärer Geschäftsmodelle erfordert die Einführung neuer Prozesse, die häufig komplexer und arbeitsintensiver sind. Durch diese Veränderungen entstehen neue und spezialisierte Tätigkeiten, die zur **Schaffung zusätzlicher Arbeitsplätze** (9) in der Organisation führen [BM21], [PPK+21], [MLZ20], [MGV+22]. Dieses Potentialcluster wirkt positiv auf die Personalentwicklung. Darüber hinaus wirkt dieses Potential sich direkt auf die Gesellschaft aus.

Im Zuge der zirkulären Transformation und der Veränderung bestehender Prozesse werden Prozessoptimierungen vorgenommen, welche zu einer **Steigerung der Produktivität** (10) führen können [JPB+19], [PPK+21]. Dadurch profitieren die Lieferanten sowie die Beschaffung und die Operations eines Unternehmens. Denn die Prozessoptimierungen sowie die Einführung zirkulärer Produktdesigns führt zu weniger fehlerhafte Produkte und weniger Abfall innerhalb der Lieferketten, was ebenfalls die Produktivität steigert [BM21], [MGV+22]. Zudem kann eine effiziente und produktive Zusammenarbeit innerhalb der Lieferkette mit den Wertschöpfungspartnern etabliert werden [MLZ20]. Im Rahmen des Expertenworkshops wurden auch Auswirkungen auf die Technologieentwicklung identifiziert.

Ein weiteres Potentialcluster ist die **Reduktion der Kosten** (11), welche in verschiedenen Bereichen der Wertschöpfungskette von Unternehmen erfolgen kann [JPB+19], [MLZ20]. Dazu zählen die Operations und Unternehmensinfrastruktur, sowie die Beschaffung, die im Expertenworkshop ergänzt wurde. Des Weiteren ergeben sich aus den Potentialen Chancen zur Gewinnsteigerung. Da die Einführung der Kreislaufwirtschaft zu einer Verringerung des Material- und Energiebedarfs führt, können die Kosten für die Informationsübermittlung, die Lagerkosten und andere Betriebskosten erheblich gesenkt werden [PPK+21]. Auch die Kosten für das benötigte Material werden durch die Wiederverwendung reduziert [KRL21], [JPB+19].

Die Einführung von Kreislaufwirtschaft in einem Unternehmen kann zu einer **Steigerung der Mitarbeiterzufriedenheit** (12) führen, da sich das Unternehmen und damit auch die Mitarbeiter für das Thema Nachhaltigkeit engagieren [PPK+21]. Dieses wirkt sich positiv auf die Personalwirtschaft aus.

Die Umsetzung von zirkulären Geschäftsmodellen führt zu einer **Erweiterung der Kompetenzen** (13) des Unternehmens und der Mitarbeiter. Zentral ist hierbei die Kompetenzsteigerung hinsichtlich zirkulärem Produktdesign und erweiterten Verwendungsmöglichkeiten des Produktes [JPB+19]. Durch die erweiterten Kompetenzen ergeben sich unternehmensübergreifende Potentiale [VS16].

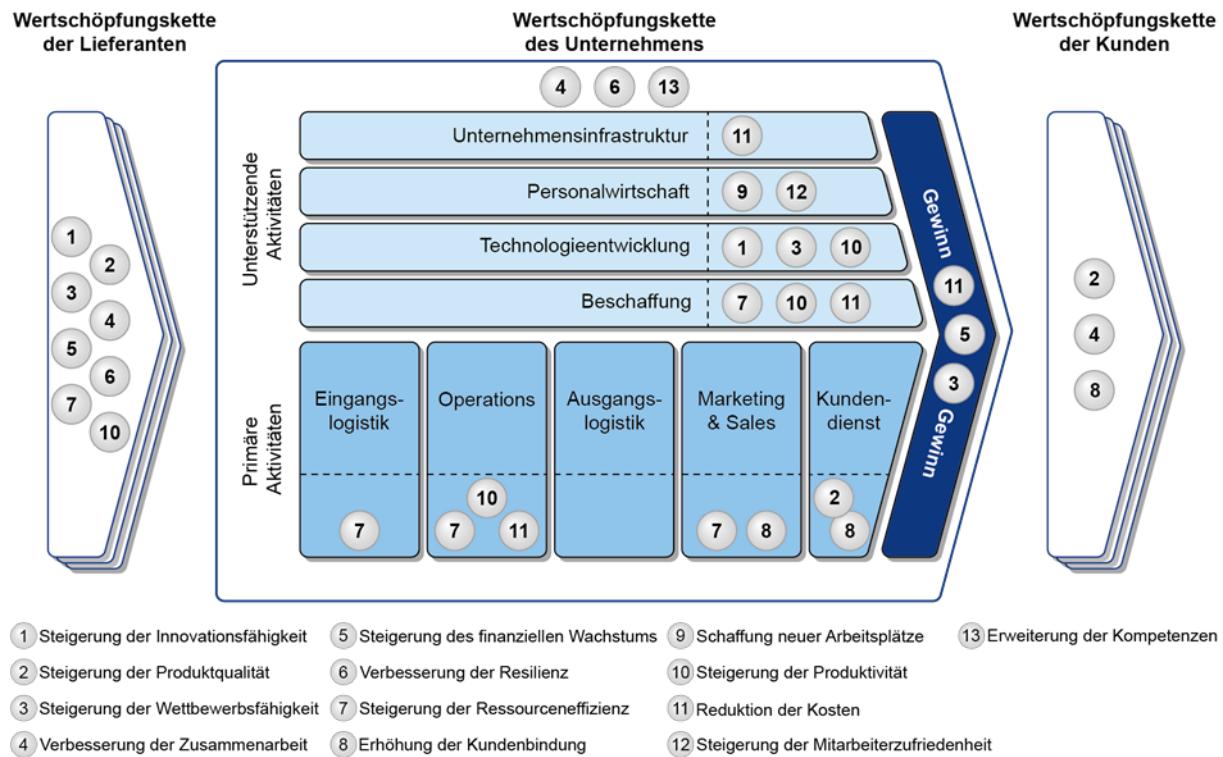


Bild 2: Potentiallandkarte

Wie aus der Clusterbeschreibung der Abbildung zu entnehmen, können Potentiale auf mehrere Aktivitäten der Wertschöpfungskette im Unternehmen und über das Unternehmen hinaus gleichzeitig auswirken. Einige Potentialcluster wirken sich auf das gesamte Unternehmen aus, darunter fallen die Verbesserung der Zusammenarbeit (4), die Verbesserung der Resilienz (6) und die Erweiterung der Kompetenzen (13). Fünf Potentialcluster wirken sich ausschließlich auf die Wertschöpfung eines Unternehmens aus. Dabei handelt es sich um Erhöhung der Kundenbindung (8), Schaffung von Arbeitsplätzen (9), Reduktion der Kosten (11), Steigerung der Mitarbeiterzufriedenheit (12) und Erweiterung der Kompetenzen (13). Die restlichen Potentialcluster wirken sich immer auf das Unternehmen sowie einerseits auf die Wertschöpfungsaparter oder die Kunden aus.

Die Einführung der Kreislaufwirtschaft birgt für die Industrie die aufgezeigten Potentiale. Darüber hinaus wurden durch die SLR verschiedene Aspekte identifiziert, die die Einführung der Kreislaufwirtschaft beschleunigen und somit als Treiber dienen. Die rechtliche Verpflichtung zur Berichterstattung über Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekte fördert die Entwicklung der Kreislaufwirtschaft [GSK+23]. Die genannten Anforderungen resultieren in einer Verpflichtung für zahlreiche Unternehmen, nachhaltige Maßnahmen zu ergreifen und ihre Geschäftsprozesse umweltfreundlicher zu gestalten [KKD+23]. Da eine steigende Anzahl von Unternehmen diesen Weg beschreitet und eine zirkuläre Wertschöpfung anstrebt, besteht für andere Unternehmen die Notwendigkeit, diesem Beispiel zu folgen [DGG+22]. Dies lässt sich mit dem Konzept der Netzwerkeffekte vergleichen, wodurch ein positiver Trend entsteht, bei dem die Transformation hin zur Kreislaufwirtschaft für immer mehr Unternehmen zur Norm wird. Digitale Technologien und Industrie 4.0 können Prozesse zur Umsetzung zirkulärer Strategien verbessern, indem sie sicherer und effizienter gestaltet werden [Kot21], [BM21]. Dies betrifft bei-

spielsweise Demontage- und Recyclingprozesse [BM21]. Die Wissensverbreitung und Zusammenarbeit zwischen Wertschöpfungspartnern unterstützen die Entwicklung der erforderlichen organisatorischen Fähigkeiten zur Realisierung der Kreislaufwirtschaft [HS21]. Zudem erhöhen Standards wie Nachhaltigkeitskriterien für Lieferanten die Sensibilität in der gesamten Lieferkette [MLZ20]. Ein wachsendes gesellschaftliches Bewusstsein für die Kreislaufwirtschaft fördert ebenfalls die rasche Umsetzung dieser Konzepte [MTS+23].

3.2 Zuordnung der Potentialcluster zu Zielgruppen

Aus der Einordnung in die Wertschöpfungskette nach PORTER können Zielgruppen der einzelnen Potentialcluster erkannt werden. Tabelle 2 veranschaulicht diese. Zu erkennen ist, dass alle Potentialcluster das Unternehmen erreichen. Des Weiteren werden über die Hälfte der Potentialcluster den Wertschöpfungspartner zugeordnet. Dies ergibt sich aus der Notwendigkeit seine Netzwerke auszubauen, um kreislauffähiger zu werden [EFS+22]. Die Potentialcluster Steigerung der Produktqualität, Steigerung des finanziellen Wachstums und Erhöhung der Kundenbindung wirken sich sowohl auf das Unternehmen als auch auf die Kunde positiv aus.

Tabelle 2: Zielgruppen der Potentialcluster

| Potentialcluster | Zielgruppe | | |
|--|------------------------|-------------|-------|
| | Wertschöpfungs-partner | Unternehmen | Kunde |
| Steigerung der Innovationsfähigkeit (1) | X | X | |
| Steigerung der Produktqualität (2) | X | X | X |
| Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit (3) | X | X | |
| Verbesserung der Zusammenarbeit (4) | X | X | X |
| Steigerung des finanziellen Wachstums (5) | X | X | |
| Verbesserung der Resilienz (6) | X | X | |
| Steigerung der Ressourceneffizienz (7) | X | X | |
| Erhöhung der Kundenbindung (8) | | X | X |
| Schaffung von Arbeitsplätzen (9) | | X | |
| Steigerung der Produktivität (10) | X | X | |
| Reduktion der Kosten (11) | | X | |
| Steigerung der Mitarbeiterzufriedenheit (12) | | X | |
| Erweiterung der Kompetenzen (13) | | X | |

3.3 Demonstration der Potentialcluster anhand von Anwendungsfällen

In den folgenden Unterkapiteln werden drei Anwendungsfälle aus der Praxis erläutert. Die identifizierten Potentialcluster werden anhand der Anwendungsfälle demonstriert, dies ist über die Nummern der Potentialcluster gekennzeichnet. Der erste Anwendungsfall ist das Remanufacturing Programm von Caterpillar (Kapitel 3.2.1), darauf folgt die Initiative zum Schließen des

Materialkreislaufs von BMW (Kapitel 3.3.2) und der letzte Anwendungsfalle ist die Kreislaufstrategie von Electrolux (Kapitel 3.3.3).

Die drei Wertschöpfungskette der Anwendungsfälle sind mit ihren jeweiligen Potentialen in Bild 3 dargestellt.

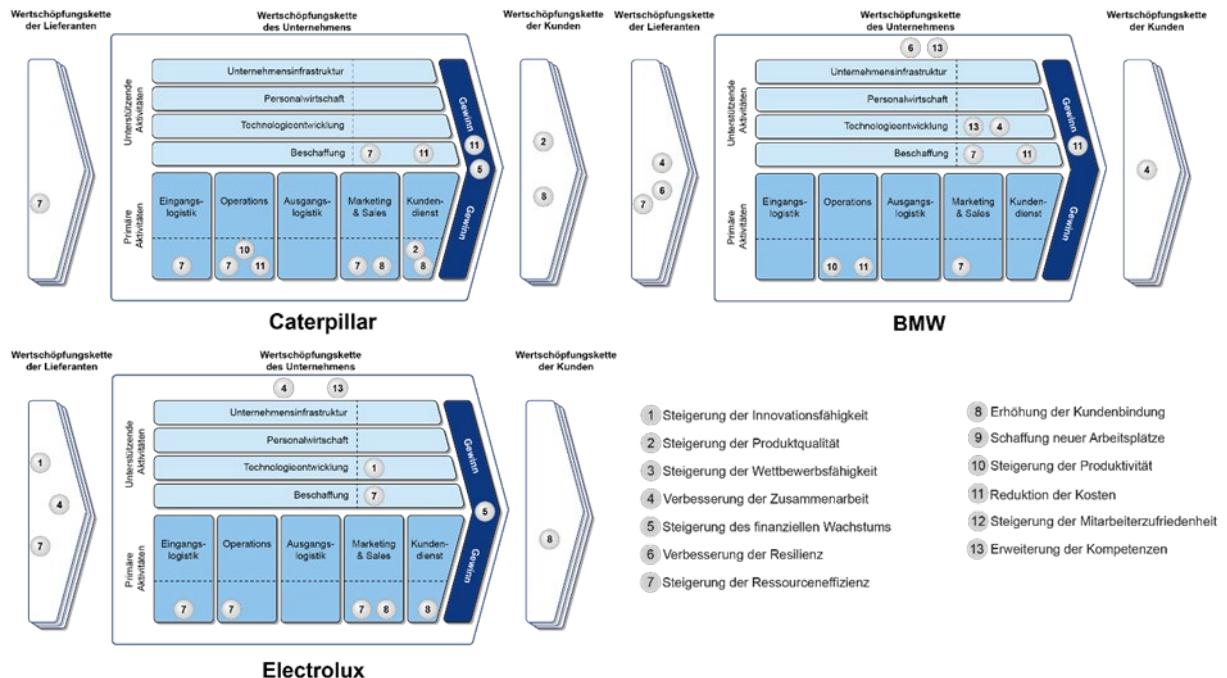


Bild 3: Wertschöpfungsketten der Anwendungsfälle mit demonstrierten Potentialen

3.3.1 Remanufacturing Programm von Caterpillar

Caterpillar hat ein erfolgreiches Remanufacturing-Programm für Komponenten entwickelt, die ihre Lebensdauer erreicht haben. Kunden können defekte oder abgenutzte Teile an den Hersteller zurückgeben, wobei Caterpillar auf sein globales Netzwerk von Vertragshändlern zurückgreift. Diese Händler fungieren als zentrale Anlaufstellen für die Rücknahme der Teile. Die zurückgegebenen Produkte und Komponenten werden gründlich überprüft, bevor sie in ihre Einzelteile zerlegt werden. Ein mehrstufiger Reinigungsprozess entfernt selbst mikroskopisch kleine Verunreinigungen. Die Tochtergesellschaft Cat Reman (Caterpillar Remanufacturing Services) ermöglicht den Komponenten ein neues Leben durch ein umfassendes Wiederaufbereitungsverfahren, bei dem die ursprüngliche Qualität und Leistung der Produkte durch die Verwendung einer Kombination aus recycelten und neuen Teilen wiederhergestellt wird. Alle wiederaufbereiteten Komponenten erhalten eine Garantie, die der einer neuen Komponente entspricht (2). Dies trägt dazu bei, hochwertige Rohstoffe wie Eisen in der Produktion zu halten und die Wertschöpfungskette durch die effiziente Nutzung von Energie und Metallen zu verlängern (7). Seit 2018 hat Caterpillar im Remanufacturing-Geschäftsbereich eine Umsatz- und Ertragssteigerung von 31 % erzielt (5). Darüber hinaus konnte Caterpillar, durch die Implementierung von Remanufacturing-Prozessen und den Einsatz wiederaufbereiteter Komponenten, die Produktionszeiten verkürzen und die Effizienz der Produktionslinien (10), steigern, wodurch die Produktionskosten (11) reduziert und die Rentabilität gesteigert werden konnten

(5). Die Wiederaufbereitungsprozesse verursachen 65-87 % weniger Treibhausgasemissionen als die Herstellung neuer Teile, wodurch das Programm zur Erreichung der ökologischen Ziele des Unternehmens beiträgt. Die Catzertifizierten Rebuild-Programme ermöglichen es Kunden, die Lebensdauer ihrer Geräte zu verlängern, indem sie Produktupdates und -upgrades zu einem Bruchteil der Kosten für den Kauf einer neuen Maschine erhalten (8). Ein kompletter Cat Certified Rebuild umfasst mehr als 350 Tests und Inspektionen, den automatischen Austausch oder die Überholung von etwa 7.000 Teilen und eine Garantie für eine neuwertige Maschine. Geschulte Servicetechniker der Händler führen den Umbau mit Originalteilen durch und berücksichtigen die neuesten technischen Updates, wodurch die Produktqualität signifikant gesteigert wird (2). Caterpillar stellt zudem Informationen, Daten, Schulungen und Servicetools zur Verfügung, um den Händlern zu helfen, die richtigen Teile wiederzuverwenden und die erwartete Langlebigkeit der überholten Komponenten zu erreichen. Durch diese umfassenden Dienstleistungen und die kontinuierliche Aufbereitung der Anlagen wird die Kundenbindung gesteigert und die Kundenbeziehung gestärkt (8) [Cat21].

3.3.2 Initiativen zum Schließen des Materialkreislaufs von BMW

BMW Brilliance Automotive hat die Initiative „Secondary First“ gestartet, die darauf abzielt, Teile und Materialien in Produkten und Prozessen zu reduzieren, wiederzuverwenden und zu recyceln. Ziel ist es, den Anteil hochwertiger Sekundärmaterialien in den Fahrzeugen im Laufe der Zeit zu erhöhen. Auf diese Weise sollen die mit der Primärrohstoffgewinnung verbundenen Risiken, wie hoher Energieverbrauch, Kohlenstoffemissionen, lange Transportwege, Umweltschäden, Rohstoffverknappung, die Abhängigkeit von Lieferanten und soziale Missstände, minimiert werden. Damit trägt BMW zur Steigerung der Resilienz in der gesamten Wertschöpfungskette bei (6). Zur Gewinnung von Sekundärmaterialien hat BMW gemeinsam mit nationalen Vertriebsgesellschaften und Importeuren in 32 Ländern ein Rücknahmesystem für Altfahrzeuge eingerichtet und bietet diesen Service an mehr als 2.800 Rücknahmestellen an, was durch die enge Kooperation mit den Wertschöpfungspartnern ermöglicht wird (4). Aus den zurückgeführten Altfahrzeugen werden beispielsweise die Hochspannungsbatterien für unternehmensinterne Gabelhubwagen und als Energiespeicherlösungen in den Werken wiederverwendet, wodurch die Batterien ein neues Leben erhalten, bevor sie in Einzelteile zerlegt und recycelt werden (7) [BMW21]. Seit 1994 hat die BMW Group ein Recycling- und Demontagezentrum, das jährlich tausende Fahrzeuge, darunter viele Entwicklungsfahrzeuge, zurücknimmt. Das RDZ liefert wichtige Erkenntnisse für effiziente Demontage- und Recyclingprozesse, die intern genutzt und mit der Recyclingbranche geteilt werden (4). Dieses Know-how wird im Designprozess genutzt, um zukünftige Fahrzeuge noch recycelbarer zu machen (13) [BMW23]. Auch in ihren Produktionsprozessen setzt BMW zunehmend auf zirkuläre Ansätze. Um das Gesamt-abfallaufkommen zu minimieren, nutzt die BMW Group abgestimmte Recycling- und Verwertungskonzepte, die auf die gesetzlichen Regelungen und lokale Abfallwirtschaftsstrukturen der verschiedenen Standorte angepasst sind. Im Jahr 2023 hat die BMW Group insgesamt 99,4 % der in der Produktion anfallenden Abfälle entweder recycelt oder verwertet (7). Durch innovative Ansätze in den Produktionsprozessen konnte beispielsweise im Werk Shenyang die Abfallmenge pro Fahrzeug von 7,43 kg im Jahr 2017 auf 2,50 kg im Jahr 2021 reduziert werden.

Auch für Betriebsmittel wie Wasser, das in der Produktion eingesetzt wird, hat BMW geschlossene Kreisläufe implementiert. So konnte der Wasserverbrauch pro produziertes Fahrzeug im Jahr 2021 im Vergleich zu 2020 um 7,6 % gesenkt werden. Diese Kreislaufinitiativen in den Produktionsprozessen haben BMW nicht nur geholfen, ihre Umweltziele zu erreichen, sondern auch die Produktionskosten zu reduzieren (10), (11) [BMW23], [BMW21].

3.3.3 Die Kreislaufstrategie von Electrolux

Eines der strategischen Kreislaufziele der Electrolux-Gruppe ist der verstärkte Einsatz recycelbarer Materialien in ihren Produkten, dieser soll bis 2030 auf 50% erhöht werden. Ein Beispiel dafür ist der MaxiSpace Green Zone Einbaukülschrank, dessen Innenverkleidungen zu 70 % aus recyceltem Kunststoff bestehen. Dieser Kunststoff stammt aus alten Külschränken und überzeugt Verbraucher sowohl durch seine hochwertige Optik als auch durch seine nachhaltigen Vorteile. Insgesamt sind über 80 % der Materialien des Külschranks recycelbar (1). Ein weiteres strategisches Ziel von Electrolux ist es, die Lebensdauer ihrer Produkte durch geeignete Maßnahmen wie Reparaturstrategien kontinuierlich zu erhöhen. So wurde 2023 in Schewden der AtEase-Haushaltsgeräte-Abonnementdienst eingeführt, der proaktive Wartung, automatische Lieferung von Zubehör, Support und Austausch umfasst. Dieses Modell reduziert Elektroschrott und fördert die Kreislaufwirtschaft, indem Verbraucher neue oder überholte Produkte abonnieren können (7). In Europa bietet das Fair-Repair-Modell den Verbrauchern transparente Kosten für Reparaturen und die Verlängerung der Lebensdauer ihrer Geräte. Studien zur Kundenzufriedenheit haben eine sehr positive Resonanz ergeben, wodurch die Kundenbindung und das Image des Unternehmens gesteigert werden konnten (8). 2021 führte Electrolux 2021 in Vietnam ein umweltfreundliches Trade-in-Programm ein, das ein Remanufacturing Geschäftsmodell beinhaltet und es den Verbrauchern ermöglicht, ihre alten Waschmaschinen abholen zu lassen, um im Gegenzug einen Rabatt auf ein neues Modell zu erhalten. Die gesammelten Geräte werden entweder nachhaltig recycelt oder aufgearbeitet und erneut verkauft (7). Durch dieses Programm konnte der Umsatz in Vietnam um rund 10 % gesteigert werden (5). In Brasilien hat Electrolux einen Rücknahmeservice für alte Haushaltsgeräte in vierzehn Bundesstaaten eingerichtet. Diese Geräte werden von spezialisierten Recyclingunternehmen demontiert und aufbereitet oder recycelt. 2023 sammelte Electrolux in Lateinamerika mehr als 14.000 Tonnen an Gebraucht-Produkten. Die aufbereiteten Produkte werden erneut verkauft. In Lateinamerika wurden 2023 mehr als 2.200 Produkte auf diese Weise wieder in den Markt gebracht. Zur Förderung der Kreislaufwirtschaft arbeitet Electrolux eng mit Partnern zusammen, wie der langjährigen Kooperation mit Stena Recycling. Dabei untersuchen Sie, warum funktionierende Geräte von den Kunden weggeworfen werden (13). Gemeinsam entwickelten sie den Prototyp eines zu 90 % recycelbaren Staubsaugers (1), (4). Außerdem hat Electrolux mit Wettbewerbern eine Vereinbarung zur Entwicklung einer Standardqualität für recycelten Kunststoff unterzeichnet, um den Markt für recycelten Kunststoff zu verbessern (4) [Ele21], [Ele23].

4 Diskussion der Ergebnisse

Basierend auf einer systematischen Literaturrecherche wurden die Potentiale für Industrieunternehmen durch die Einführung der Kreislaufwirtschaft in der Wertschöpfungskette identifiziert. Insgesamt konnten dreizehn Potentialcluster identifiziert und der Wertschöpfungskette nach PORTER zugeordnet werden [Por01]. Das Modell der Wertschöpfungskette nach PORTER reflektiert zwar die lineare Wirtschaft, bietet jedoch eine umfassende Darstellung der Ausgangssituation der Industrie und zeigt, wo entlang der aktuellen Wertschöpfungskette Potentiale durch die Einführung der Kreislaufwirtschaft entstehen können. Bis auf den Bereich „Ausgangslogistik“ konnten allen Bereichen der Wertschöpfungskette Potenzialcluster zugeordnet werden. Dies zeigt, dass die Potenziale durch die Einführung der Kreislaufwirtschaft das gesamte Unternehmen betreffen. Da die Ausgangslogistik nicht von den Potenzialen betroffen ist, stellt sich die Frage, ob die zirkuläre Transformation in diesem Bereich der Wertschöpfung erforderlich ist. Im nächsten Schritt wurden die Zielgruppen bestimmt, die durch die Potentialcluster adressiert werden. Anschließend wurden die Potentialcluster mit fünf Wissenschaftlern in einem Workshop auf ihre Relevanz zur Forschungsfrage untersucht und weiter verfeinert. Dabei wurden zwei Cluster zusammengefasst. Darüber hinaus zeigte sich in der Diskussion, dass zwei Perspektiven bei der Erstellung der Potentiallandkarte möglich sind. Die Potentialcluster können einerseits den Bereichen der Wertschöpfungskette zugeordnet werden in denen sie wirken oder in den Bereichen, in denen sie entstehen. In diesem Artikel wurde die erste Variante gewählt. In der abschließenden Evaluierung wurden die Potentialcluster mithilfe grauer Literatur überprüft. Hierfür wurden Use Cases recherchiert, bei denen Industrieunternehmen die Transformation zur Kreislaufwirtschaft bereits begonnen haben und vielversprechende Ansätze zur Operationalisierung der Kreislaufstrategie bieten. Insgesamt wurden fünfzehn Industrieunternehmen untersucht und drei Use Cases detailliert auf die identifizierten Potentialcluster hin analysiert.

Die erstellte Potentiallandkarte bietet eine ganzheitliche Übersicht über die Möglichkeiten für Unternehmen, die sich durch die Einführung einer Kreislaufwirtschaft entlang der gesamten Wertschöpfungskette ergeben. Frühere Studien konzentrierten sich oft nur auf einzelne Bereiche der Wertschöpfungskette [BM21], auf bestimmte Branchen [Ell13] oder auf spezifische Unternehmensformen wie beispielsweise KMU [KKD+23], [MLZ20]. So untersucht die Arbeit von MENDOZA ET AL. die Potentiale zirkulärer Geschäftsmodelle, fokussiert sich jedoch nur auf den Sektor der erneuerbaren und kohlenstoffarmen Energien [MGV+22]. Die Zielgruppen der Potentiale werden dabei ebenfalls nicht untersucht. In dieser Arbeit wurde hingegen darauf geachtet, die Potentiale branchenübergreifend zu erheben, um eine breite Anwendbarkeit und Relevanz sicherzustellen. Jedoch lag der Fokus bei der Identifikation der Use Cases auf dem verarbeitenden Gewerbe, dabei wurden Beispiele aus dem B2B- und B2C-Markt berücksichtigt.

Dieser Forschungsbeitrag beleuchtet die Potenziale, die sich für die Industrie aus der Implementierung der Kreislaufwirtschaft ergeben. Gleichzeitig bringt die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft auch Herausforderungen für die Industrie mit sich. Entsprechende Herausforderungen wurden in der einschlägigen Literatur von verschiedene Autoren identifiziert (vgl. [IHP21], [OCR+21], [GSK+23], [VS16]). Um ein umfassendes Bild zu erhalten, ist es notwendig, die Potenziale und Potenzialcluster den Herausforderungen gegenüberzustellen. Industrieunternehmen sollten beide Perspektiven bei ihrer Entscheidungsfindung berücksichtigen.

Die vorliegende Studie weist einige Einschränkungen auf. Aufgrund des gewählten Forschungsdesigns, der spezifischen Suchbegriffe und der Auswahl der Datenbanken kann nicht ausgeschlossen werden, dass einige relevante Arbeiten in unserer Analyse fehlen. Da lediglich Nachhaltigkeits- und Jahresabschlussberichte zur Beschreibung der Use Cases genutzt und auf Interviews mit Unternehmen verzichtet wurde, konnten nicht alle Potentialcluster identifiziert werden. Insbesondere die Cluster zur Beschleunigung der Umsetzung der Kreislaufwirtschaft, Schaffung neuer Arbeitsplätze, Steigerung der Mitarbeiterzufriedenheit und Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit ließen sich nicht ohne Weiteres aus den verfügbaren Berichten ableiten und müssen in zukünftigen Forschungsarbeiten gezielt adressiert werden. Trotz dieser Einschränkungen stellen diese Cluster vielversprechende Potentiale dar, die sowohl in der Literatur zu finden sind als auch von Wissenschaftlern bestätigt wurden. Es besteht weiterer Evaluationsbedarf, daher sollten zukünftige Forschungsarbeiten die identifizierten Potentialcluster weiter untersuchen und durch zusätzliche Use Cases belegen. Ein gezielter Austausch mit Unternehmen sollte gesucht werden, um die Potentiallandkarte zu erweitern und praxisnahe Ansätze zur Realisierung dieser Potentiale zu ermitteln. Darüber hinaus sollte überprüft werden, ob die identifizierten Potenziale und Potentialcluster allgemein anwendbar sind oder ob sie spezifisch für bestimmte Branchen, Produkte oder andere Besonderheiten gelten.

Die hier vorgestellte Potentiallandkarte leistet einen wichtigen Beitrag, indem sie Anreize aufzeigt, die Unternehmen zur Umsetzung der Kreislaufwirtschaft motivieren und eine Grundlage für Argumente zur Unterstützung der Einführung der Kreislaufwirtschaft bieten. Dieser Rahmen bietet eine wertvolle Orientierung für Industrieunternehmen und deren Wertschöpfungspartner, um ihr Geschäft im Kontext der Kreislaufwirtschaft neu zu überdenken und anzupassen. Er unterstützt sie auch dabei, die Potentiale für ihr Unternehmen systematisch zu erkennen und zu strukturieren. Neben diesen praxisbezogenen Implikationen leistet die Arbeit einen substantiellen Beitrag zur Forschung, indem sie eine ganzheitliche Übersicht über die Potentiale der Einführung einer Kreislaufwirtschaft bietet und als strukturierendes Element für zukünftige Studien dient.

Literatur

- [AEH+23] ALKARAAN, F.; ELMARZOUKY, M.; HUSSAINY, K.; VENKATESH, V. G.: Sustainable strategic investment decision-making practices in UK companies: The influence of governance mechanisms on synergy between industry 4.0 and circular economy. *Technological Forecasting and Social Change*, (187), 2023, S. 122187
- [Bak23] BAKIRLIOĞLU, Y.: Roles and capabilities of stakeholders in open design-driven distributed value creation for localised circular economies. *Cleaner Environmental Systems*, (10), 2023, S. 100129
- [BC06] BRAUN, V.; CLARKE, V.: Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3:2, 2006, S. 77–101
- [BM21] BIRKEL, H.; MÜLLER, J. M.: Potentials of industry 4.0 for supply chain management within the triple bottom line of sustainability – A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, (289), 2021, S. 125612
- [BMW21] BMW BRILLIANCE AUTOMOTIVE LTD.: Sustainability Report 2021, 2021
- [BMW23] BMW GROUP: BMW Group Report 2023 – Report on the economic performance of the BMW Group and its environmental and social contribution., 2023

- [BPR+18] BIANCHINI, A.; PELLEGRINI, M.; ROSSI, J.; SACCANI, C.: A new productive model of circular economy enhanced by digital transformation in the Fourth Industrial Revolution - An integrated framework and real case studies. XXIII Summer School “Francesco Turco” – Industrial Systems Engineering, 2018, S. 221–227
- [Cat21] CATERPILLAR: 2023 Sustainability Report – Caterpillar’s Environmental, Social and Governance Approach, 2021
- [DGG+22] DAYAL, U.; GUPTA, M.; GHOSH, D.; WADHAWAN, D.; MORROW, A.; Horiguchi, S.; WANG, H.; RAO, A.; OSLING, A.; GUPTA, C.; VENNELAKANTI, R.; KUMAR, A.: Enabling Product Circularity Through Big Data Analytics and Digitalization: IEEE MWSCAS. IEEE 65th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), Fukuoka, Japan, 2022, S. 1–6
- [EFS+22] EISENREICH, A.; FÜLLER, J.; STUCHTEY, M.; GIMENEZ-JIMENEZ, D.: Toward a circular value chain: Impact of the circular economy on a company's value chain processes. Journal of Cleaner Production, (378), 2022, S. 134375
- [Ele21] ELECTROLUX: Sustainability Report 2021, 2021
- [Ele23] ELECTROLUX GROUP: Sustainability Report 2023 – Shape living for the better Sustainability, 2023
- [Ell13] ELLEN MACARTHUR FOUNDATION: Towards the circular economy: Opportunities for the consumer goods sector, (2nd edn.), 2013
- [GDE+19] GAUSEMEIER, J.; DUMITRESCU, R.; ECHTERFELD, J.; PFÄNDER, T.; STEFFEN, D.; THIELEMANN, F.: Innovationen für die Märkte von morgen. Hanser, München, 2019
- [Gro14] GROßKLAUS, R. H. G.: Von der Produktidee zum Markterfolg – Innovationen planen, einführen und erfolgreich managen. 2. Auflage, Betriebswirtschaftlicher Verlag Gabler, Wiesbaden, 2014
- [GSK+23] GEISSDOERFER, M.; SANTA-MARIA, T.; KIRCHHERR, J.; PELZETER, C.: Drivers and barriers for circular business model innovation. Business Strategy and the Environment, (32)6, 2023, S. 3814–3832
- [HJ20] HOFMANN, F.; JAEGER-ERBEN, M.: Organizational transition management of circular business model innovations. Business Strategy and the Environment, (29)6, 2020, S. 2770–2788
- [HS21] HANSEN, E. G.; SCHMITT, J. C.: Orchestrating cradle-to-cradle innovation across the value chain: Overcoming barriers through innovation communities, collaboration mechanisms, and intermediation. Journal of Industrial Ecology, (25)3, 2021, S. 627–647
- [IHP21] IACOVIDOU, E.; HAHLADAKIS, J. N.; PURNELL, P.: A systems thinking approach to understanding the challenges of achieving the circular economy. Environmental science and pollution research international, (28)19, 2021
- [JPB+19] JENSEN, J. P.; PRENDEVILLE, S. M.; BOCKEN, N. M.; PECK, D.: Creating sustainable value through remanufacturing: Three industry cases. Journal of Cleaner Production, (218), 2019
- [KBH23] KUHLMANN, M.; BENING, C. R.; HOFFMANN, V. H.: How incumbents realize disruptive circular innovation - Overcoming the innovator's dilemma for a circular economy. Business Strategy and the Environment, (32)3, 2023, S. 1106–1121
- [KKD+23] KUIK, S.; KUMAR, A.; DIONG, L.; BAN, J.: A Systematic Literature Review on the Transition to Circular Business Models for Small and Medium-Sized Enterprises. Sustainability, (15)12, 2023
- [KL22] KAZAKOVA, E.; LEE, J.: Sustainable Manufacturing for a Circular Economy. Sustainability, (14)24, 2022, S. 17010
- [Kot21] KOTTMAYER, B.: Digitisation and Sustainable Development: The Opportunities and Risks of Using Digital Technologies for the Implementation of a Circular Economy. Journal of Entrepreneurship and Innovation in Emerging Economies, (7)1, 2021, S. 17–23
- [KRH17] KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M.: Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, Conservation and Recycling, (127), 2017, S. 221–232

- [KRL21] KWANT, C. DE; RAHI, A. F.; LAURENTI, R.: The role of product design in circular business models: An analysis of challenges and opportunities for electric vehicles and white goods. *Sustainable Production and Consumption*, (27), 2021, S. 1728–1742
- [LCG23] LARSSON, D.; CHANDIMA RATNAYAKE, R. M.; GILDSETH, A.: Implementation of Circular Economy in ETO Organisation: Use of Digital Lean and Risk-Based Thinking Perspective. In: Kim, K.-Y.; Monplaisir, L.; Rickli, J. (Hrsg.): *Flexible Automation and Intelligent Manufacturing: The Human-Data-Technology Nexus. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer International Publishing, Cham, 2023, S. 250–258
- [MGV+22] MENDOZA, J. M. F.; GALLEGOS-SCHMID, A.; VELENTURF, A. P.; JENSEN, P. D.; IBARRA, D.: Circular economy business models and technology management strategies in the wind industry: Sustainability potential, industrial challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (163), 2022, S. 112523
- [MLZ20] MURA, M.; LONGO, M.; ZANNI, S.: Circular economy in Italian SMEs: A multi-method study. *Journal of Cleaner Production*, (245), 2020, S. 118821
- [MTS+23] MISHRA, S.; TYAGI, M.; SACHDEVA, A.; SINGH, R. P.: Exploration of Circular Economy Enablers Using Fuzzy DEMATEL Approach. In: Singh, R. P.; Tyagi, M.; Walia, R. S.; Davim, J. P. (Hrsg.): *Advances in Modelling and Optimization of Manufacturing and Industrial Systems. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer Nature Singapore, Singapore, 2023, S. 685–701
- [OCR+21] OKORIE, O.; CHARNLEY, F.; RUSSELL, J.; TIWARI, A.; MORENO, M.: Circular business models in high value manufacturing: Five industry cases to bridge theory and practice. *Business Strategy and the Environment*, (30)4, 2021, S. 1780–1802
- [OFS+18] OLSSON, L.; FALLAHI, S.; SCHNURR, M.; DIENER, D.; VAN LOON, P.: Circular Business Models for Extended EV Battery Life. *Batteries*, (4)4, 2018, S. 57
- [PA23] PRAKASH, G.; AMBEDKAR, K.: Digitalization of manufacturing for implanting value, configuring circularity and achieving sustainability. *Journal of Advances in Management Research*, (20)1, 2023, S. 116–139
- [Por01] PORTER, M. E.: The value chain and competitive advantage. In: D. Barnes: *Understanding Business: Processes*, 2001
- [PPK+21] PATEL, M. N.; PUJARA, A. A.; KANT, R.; MALVIYA, R. K.: Assessment of circular economy enablers: Hybrid ISM and fuzzy MICMAC approach. *Journal of Cleaner Production*, (317), 2021, S. 128387
- [SKH+22] SCHIELE, H.; KRUMMAKER, S.; HOFFMANN, P.; KOWALSKI, R.: The “research world café” as method of scientific enquiry: Combining rigor with relevance and speed. *Journal of Business Research*, (140), 2022, S. 280–296
- [VS16] VELTE, C.; STEINHILPER, R.: Complexity in a Circular Economy: A Need for Rethinking Complexity Management Strategies. *Proceedings of the WCE Vol II*, 2016
- [WW02] WEBSTER, J.; WATSON, R.: Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review. *MIS Quarterly Vol. 26 No. 2*, 2002, S. xiii–xxiv
- [XW19] XIAO, Y.; WATSON, M.: Guidance on Conducting a Systematic Literature Review. *Journal of Planning Education and Research*, 2019
- [ZF 23] ZF FRIEDRICHSHAFEN AG: *Focus Forward - Geschäftsbericht 2023*, 2023
- [ZHH23] ZILS, M.; HORWARD, M.; HOPKINSON, P.: Circular economy implementation in operations & supply chain management: Building a pathway to business transformation. *Production Planning & Control*, 2023, S. 1–20

Autoren

Anja Rasor, M. Sc. studierte Wirtschaftsingenieurwesen mit Schwerpunkt Maschinenbau und ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn in der Fachgruppe Advanced Systems Engineering im Team Business Engineering. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen in der strategischen Planung von Smart Services sowie der Geschäftsplanung zirkulärer Geschäftsstrategien und Produkte.

Lisa Petzke, M. Sc. studierte Wirtschaftsingenieurwesen mit Schwerpunkt Maschinenbau und ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn in der Fachgruppe Advanced Systems Engineering im Team Business Engineering. Ihr Forschungsschwerpunkt liegt in der Prozessgestaltung in Wertschöpfungsnetzwerken der Kreislaufwirtschaft.

Julia Marie Vehmeyer, M. Sc. studierte Wirtschaftsingenieurwesen mit dem Schwerpunkt Produktionsmanagement an der Hochschule Bielefeld. Anschließend studierte sie im Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen mit der Vertiefungsrichtung Elektrotechnik an der Universität Paderborn. Nach Abschluss ihres Studiums arbeitet sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Fachgruppe Advanced Systems Engineering am Heinz Nixdorf Institut im Team Business Engineering. Ihr Forschungsschwerpunkte liegen in der Entwicklung zirkulärer Wertschöpfungssysteme.

Dr.-Ing. Christian Koldewey ist Oberingenieur am Lehrstuhl für Advanced Systems Engineering (Prof. Dumitrescu) des Heinz Nixdorf Instituts der Universität Paderborn. Er promovierte bei Prof. Gausemeier zur Strategieentwicklung für datenbasierte Dienstleistungen im produzierenden Gewerbe. Zuvor studierte er Maschinenbau an der Universität Paderborn und der Fachhochschule Bielefeld. Ferner sammelte er Industrierfahrung bei der Miele & Cie. KG und der Paul Hettich GmbH & Co. KG.

Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu ist Direktor am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM und Leiter der Fachgruppe Advanced Systems Engineering am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Produktentstehung intelligenter technischer Systeme. In Personalunion ist Prof. Dumitrescu Geschäftsführer des Technologienetzwerks Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe (it's OWL).

Konzept für die strategische Planung von Produkttechnologien für die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft

Günther Schuh¹, Johanna Jacobi¹

¹ *Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT, Bereich Technologiemanagement,
guenther.schuh@ipt.fraunhofer.de, johanna.jacobi@ipt.fraunhofer.de*

Zusammenfassung

Die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft fokussiert die Steigerung des Produktwertes und die Verlängerung der Nutzungsphase eines Produktes durch eine gezielte Erhöhung der Funktions- und Leistungsfähigkeit. Damit bietet sie produzierenden Unternehmen bei der Transformation zur Kreislaufwirtschaft die größten ökonomischen sowie ökologischen Potenziale. Jedoch stehen die Unternehmen bei der Umsetzung vor der Herausforderung, Produkte und deren Technologien über mehrere Produktgenerationen und für langfristige Planungshorizonte in kreislauffähigen Produktarchitekturen vorauszudenken. Insbesondere fehlt das Verständnis, in welchen Technologiebereichen eines Produktes Wertsteigerungen sinnvoll sind. Des Weiteren besteht eine unzureichende Kenntnis darüber, in welchem Innovationszyklus welche konkreten Technologien zur Wertsteigerung des Produktes implementiert werden sollten und welche Auswirkungen diese auf die kreislauffähige Produktarchitektur haben.

In diesem Beitrag wird ein konzeptioneller Ansatz für die Entwicklung einer Planungssystematik von Produkttechnologien für die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft vorgestellt. Hierfür werden Anforderungen an eine Methodik zur strategischen Planung von Produkttechnologien für die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft abgeleitet. Aufbauend auf diesen Anforderungen wird die Methodik mit ihren fünf Teilmödellen entwickelt. Den innovativen Kern der Methodik bildet zum einen das Paradigmenmodell. In diesem erfolgt die Prognose technologischer Paradigmen inklusive der Innovationszyklen über mehrere Produktgenerationen. Darüber hinaus werden die Auswirkungen der Paradigmen auf die kreislauffähige Produktarchitektur abgeleitet. Zum anderen unterstützt das Releasemodell die Bewertung der ökologischen Potenziale der Produkttechnologien über den gesamten Produktlebenszyklus sowie deren Kopplung mit ökonomischen Kriterien.

Schlüsselworte

Wertsteigernde Kreislaufwirtschaft, strategische Technologieplanung, technologische Paradigmen, ökonomische und ökologische Technologiebewertung

Concept for the Strategic Planning of Product Technologies within the Upgrade Circular Economy

Abstract

The upgrade circular economy focuses on the enhancement of a product's value and the prolongation of its use phase through the optimization of its functionality and performance. Consequently, it presents manufacturing companies with the most significant potential for economic and ecological benefits in the transition to a circular economy. However, the current level of implementation of the upgrade circular economy in manufacturing companies is limited. When realizing the upgrade circular economy, industrial companies face the challenge of anticipating the evolution of products and the associated technologies over multiple product generations and for long-term planning horizons. In particular, there is a lack of understanding which technology areas of a product are best suited for upgrades. Furthermore, for each high-potential technology area, it is not known which specific technologies need to be implemented to realize upgrades and what impact they have on the circular product architecture.

Therefore, the present paper presents a conceptual approach for the development of a planning systematic of product technologies for the upgrade circular economy. For this purpose, requirements for a methodology for the strategic planning of product technologies for the upgrade circular economy are derived. Based on these requirements, the methodology is developed. It consists of five sub-models. One innovative core of the methodology is provided by the paradigm model, which encompasses the forecasting of technological paradigms including innovation cycles over several product generations. In addition, the impact of the paradigms on the circular product architecture is derived. On the other hand, the release model supports the evaluation of the ecological potential of product technologies over the entire product life cycle as well as the linkage with economic criteria.

Keywords

Upgrade circular economy, strategic technology planning, technological paradigms, economic and ecological technology evaluation

1 Motivation und Zielstellung

Produzierende Unternehmen müssen die Transformation zur Kreislaufwirtschaft realisieren, um nachhaltig agieren zu können. Dabei bietet die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft die größten ökonomischen und ökologischen Potenziale [SKK+23, S. 101]. Diese fokussiert die Steigerung des Produktwertes und eine Verlängerung der Nutzungsphase eines Produktes durch eine gezielte Erhöhung der Funktions- und Leistungsfähigkeit [CKW17, S. 30]. Trotz des enormen Handlungsdrucks und der Potenziale der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft für produzierende Unternehmen ist der Umsetzungsgrad bisher gering. Laut einer Studie von FRAUNHOFER AUSTRIA aus dem Jahr 2023 nutzen nur 6% der Unternehmen die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft [KHF+23, S. 37]. Demgegenüber setzen 61% der Unternehmen lediglich Kreislaufinitiativen mit einem Fokus auf Effizienzsteigerung und Recycling um [KHF+23, S. 37]. Derzeitige Kreislaufwirtschaftsbemühungen sind folglich vorrangig durch kurzfristige Initiativen geprägt.

Eine zentrale Ursache für die geringe Fokussierung auf die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft ist die fehlende langfristige Vorausschau der technologischen Ausrichtung von Produkten und deren Technologien über mehrere Produktgenerationen [SKK+23, S. 98]. Konkret stehen Unternehmen dabei derzeit vor drei elementaren Herausforderungen. Zum einen sind relevante Technologiebereiche eines Produktes mit hohem Potenzial zur Realisierung der Wertsteigerung zu identifizieren [SKK+23, S. 104]. Hierbei ist das aktuelle und zukünftige Markt- und Technologieumfeld zu berücksichtigen. Jedoch wird die Früherkennung relevanter Trends einerseits durch sich ändernde Marktanforderungen, wie beispielsweise Anforderungen durch Regularien im Kontext der Nachhaltigkeit [RC20, S. 246] sowie kritische Rohstoffmärkte [Eur23, S. 1] erschwert. Andererseits wird die Komplexität der Früherkennung durch hohe Innovationsdynamiken technologischer Lösungen gesteigert [TB09, S. 229]. Eine weitere Herausforderung stellt die Definition von Innovationszyklen innerhalb der identifizierten Technologiebereiche dar [SKK+23, S. 105]. Diese Innovationszyklen sind relevant, um die Zyklen der Wertsteigerungen sowie damit verbundene Produktgenerationen langfristig planen zu können. Die dritte Herausforderung besteht in der Bewertung der ökonomischen und ökologischen Potenziale konkreter Technologiealternativen eines Technologiebereichs über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg [SKK+23, S. 104].

Als Folge dieser fehlenden Vorausschau der technologischen Ausrichtung von Produkten ist die Entwicklung und Umsetzung kreislauffähiger Produkte mit hohen Unsicherheiten verbunden. Die Vorausschau bildet die Grundlage für die Abschätzung der Potenziale der Wertsteigerung sowie die Höhe der notwendigen Investitionen. Zur Realisierung einer solchen Vorausschau bedarf es folglich der strategischen Planung von Produkttechnologien über mehrere Produktgenerationen. Diese stellt die Basis für eine kreislauffähige Produktmodularisierung dar, welche eine langfristige Ressourceneffizienz durch lange Lebenszyklen gewährleisten soll [SKK+23, S. 104]. Des Weiteren ist die strategische Planung von Produkttechnologien essenziell für die Gestaltung kreislauffähiger Geschäftsmodelle [GPP+20, S. 7]. Diese sollen neben der Ressourceneffizienz auch die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen sichern. Schließlich ermöglicht die Produktplanung die Planung von Investitionen in Produktionsmaschinen sowie sogenannten Remanufacturing-Fabriken, in denen Produkte für einen zweiten Lebenszyklus

aufbereitet werden [WJZ+23, S. 258]. Die strategische Planung von Produkttechnologien bildet somit einen elementaren Baustein zur Realisierung der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft [SKK+23, S. 106].

Daher wird in diesem vorliegenden Beitrag ein Konzept vorgestellt, welches produzierende Unternehmen zur strategischen Planung von Produkttechnologien für die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft befähigt. Dabei wird der Forschungsfrage „Wie ist eine Planungssystematik von Produkttechnologien für die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft auszustalten?“ nachgegangen.

2 Wissenschaftliche Vorgehensweise

Ausgehend von dem aufgezeigten Anwendungsbezug und aufgrund der praxisorientierten Zielsetzung folgt der Forschungsprozess der angewandten Wissenschaften nach ULRICH [Ulr81]. Dieser verfolgt das Ziel, praxisrelevante Probleme mithilfe theoretischer Grundlagen zu erfassen und zu lösen. Der Forschungsprozess ist in sieben Phasen untergliedert (vgl. Bild 1) [Ulr81, S. 19f.]. Der vorliegende Beitrag fokussiert die ersten fünf Schritte A – E. Die beiden letzten Schritte F und G, die das Prüfen und die Verifizierung der Methodik in der industriellen Praxis beinhalten, werden in zukünftigen Forschungsarbeiten adressiert.

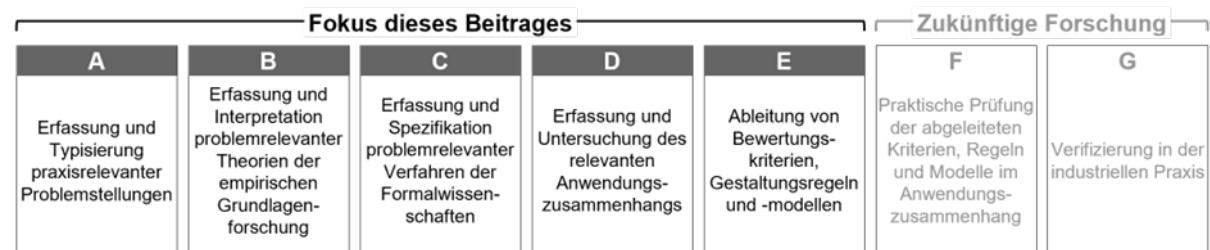


Bild 1: *Forschungsprozess der angewandten Wissenschaften nach ULRICH [Ulr81, S. 19f.]*

Im Kapitel 1 werden die praktischen Problemstellungen dargestellt (Prozessschritt A). Anschließend erfolgt die Vorstellung relevanter Grundlagen in Kapitel 2 und Kapitel 3. Im Kapitel 4 werden die in der Literatur beschriebenen aktuellen Ansätze bewertet und deren Defizite bei der Lösung der in Kapitel 1 dargestellten Forschungsfrage abgeleitet (Prozessschritt C). Darüber hinaus werden die Anforderungen an die Methodik skizziert. In Kapitel 5 wird eine grobe Modellstruktur basierend auf einer Literaturanalyse vorgeschlagen (Prozessschritte D und E). Abschließend erfolgt in Kapitel 6 eine Zusammenfassung der Ergebnisse des Beitrages. Letztlich wird ein Ausblick auf zukünftige Forschungsarbeiten gegeben.

3 Grundlegende Begrifflichkeiten

Im Folgenden werden relevante Begrifflichkeiten zu Produkttechnologien (vgl. Kapitel 3.1), der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft (vgl. Kapitel 3.2), der strategischen Technologieplanung (vgl. Kapitel 3.3) inklusive technologischer Paradigmen in der strategischen Technologieplanung (vgl. Kapitel 3.3.1) sowie der Technologiebewertung in der strategischen Techno-

logieplanung (vgl. Kapitel 3.3.2) dargestellt. Das Verständnis dieser Begriffe bildet die Grundlage für die Durchführung einer fokussierten Literaturanalyse in Kapitel 4 und ist relevant für die Entwicklung der Methodik in Kapitel 5.

3.1 Produkttechnologien

Der Begriff Technologie ist auf die griechischen Wörter „techne“ und „logia“ zurückzuführen, welche zu Deutsch „Wissenschaft der Technik“ bedeuten [Ves20-ol]. Heute werden die Begriffe Technologie und Technik weitgehend synonym verwendet [Dud-ol]. Nach BINDER UND KANTOWSKY wird eine Technologie definiert als „das Wissen, die Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten zur Lösung technischer Probleme, sowie Anlagen, Einrichtungen und Verfahren zur praktischen Umsetzung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse“ [BK96, S. 91].

Technologien werden in der Literatur gemäß verschiedener Kriterien und Eigenschaften klassifiziert. So differenziert der Systematisierungsansatz von GEROTT ET AL. hinsichtlich des Anwendungsbereichs zwischen Produkt-, Produktions- und Materialtechnologien [Ger13, S. 26f.]. Produkttechnologien beziehen sich auf Technologien, welche bestimmte Funktionen eines Produktes bereitstellen. Ein Beispiel für eine Produkttechnologie ist ein Motor, der als Antrieb eines Fahrzeuges dient. Produktionstechnologien, z.B. Fräsmaschinen, ermöglichen die Herstellungsprozesse eines Produktes. [Ger13, S. 26] Materialtechnologien erfüllen die Nachfrage nach leistungsfähigen, gesundheitlich unbedenklichen und umweltfreundlichen Produkten [SKS+11b, S. 36]. Im Rahmen dieses Beitrages werden Produkttechnologien fokussiert.

3.2 Wertsteigernde Kreislaufwirtschaft produzierender Unternehmen

Der derzeitige lineare Wirtschaftsansatz „Entnehmen-Herstellen-Entsorgen“ (engl. „take-make-dispose“) stößt aufgrund der begrenzten Menge an natürlichen Ressourcen der Erde an seine Grenzen [Ell13, S. 6]. Das Ziel der Kreislaufwirtschaft ist es daher, die Ressourceneffizienz zu erhöhen, indem die Nutzungsphase von Produkten und Rohstoffen verlängert wird. Die ELLEN MACARTHUR FOUNDATION definiert sie als ein „System, in dem Materialien nicht zu Abfall werden. Produkte und Materialien werden durch Prozesse wie Wartung (engl. maintenance), Wiederverwendung (engl. reuse), Wiederherstellung (engl. refurbishment), Wiederaufbereitung (engl. remanufacture), Recycling und Kompostierung (engl. composting) im Kreislauf gehalten.“ [Ell24-ol]. Folglich wird die Kreislaufwirtschaft als eine Lösung zur Harmonisierung der Ziele des Umweltschutzes und des Wirtschaftswachstums verstanden [LR16, S. 37].

Die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft als Teil der Kreislaufwirtschaft wird in Anlehnung an CHUNG ET AL. als ein System definiert, bei dem Module oder Komponenten eines bestehenden Produktes durch eine gezielte Funktions- oder Leistungssteigerung erheblich verbessert werden, um neue Kundenanforderungen zu erfüllen [CKW17, S. 30]. Somit trägt die Wertsteigerung eines Produktes wesentlich zur Verlängerung der Produktnutzungsphase bei. Entsprechend bietet die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft die größten ökonomischen sowie ökologischen Potenziale, weshalb diese im Fokus des vorliegenden Beitrages ist [SKK+23, S. 101].

Die Realisierung von Wertsteigerungen eines Produktes über den Produktlebenszyklus erfordert eine strategische Planung der Produkttechnologien über mehrere Produktgenerationen [SKK+23, S. 106].

3.3 Strategische Technologieplanung

Die strategische Technologieplanung beschreibt die vorausschauende Planung zukünftigen Handelns in Bezug auf Technologien [Gom07, S. 31]. Zentrales Ergebnis der Technologieplanung ist der Kalender. Dieser stellt die Beziehungen zwischen Marktbedürfnissen, Produkten bzw. Services und Technologien auf einer Zeitachse dar [Wec22, S. 216]. Darüber hinaus wird der Zeitraum der Implementierung von technischen Änderungen eines Produktes in Form einer Wertsteigerung zu bestimmten Release-Zeiträumen festgelegt und visualisiert [SAA13, S. 1606]. Damit schafft die strategische Technologieplanung die Grundlage für eine erfolgreiche Ausrichtung des Unternehmens [SKO11, S. 171] im Kontext der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft und ist fundamental für den langfristigen Erfolg und das Fortbestehen des Unternehmens [Wec22, S. 220].

Analog zu den Ausführungen von SERVATIUS [Ser86, S. 161], BULLINGER [Bul94, S. 40] sowie SCHUH [SKO11, S. 173] lassen sich die folgenden drei wesentlichen Aufgaben zur Durchführung der strategischen Produkttechnologieplanung identifizieren: die strategische Früherkennung und Analyse, die Auswahl von Technologiealternativen sowie die Umsetzungsplanung (vgl. Bild 2). Die strategische Früherkennung und Analyse umfassen die Exploration und Analyse strategisch relevanter Informationen [KT81, S. 331]. Nach SERVATIUS wird hierbei sowohl das Markt- als auch Technologiumfeld berücksichtigt [Ser86, S. 161]. Um das wesentliche Ziel der Planung zukünftigen Handelns zu ermöglichen, stellt die Prognose des Marktumfeldes sowie der Technologieentwicklung eine notwendige Aufgabe der Technologieplanung innerhalb der Analyse dar [Gom07, S. 38]. Hierbei kommt im Kontext der Kreislaufwirtschaft der Prognose von technologischen Paradigmen eine besondere Bedeutung zu (vgl. Kapitel 3.3.1). Die Aufgabe der Bewertung von Technologiealternativen fokussiert einzelne strategische Technologieentscheidungen (vgl. Kapitel 3.3.2) [Bul94, S. 40]. Dabei sind Entscheidungen unter Berücksichtigung weiterer Produkt- und Technologiekalender zu treffen [SKO11, S. 175]. In der abschließenden Umsetzungsplanung erfolgt die Definition und Planung von Technologieprojekten. Zu diesem Zweck wird zunächst der Zeitrahmen fixiert. [SKO11, S. 176] Des Weiteren werden die Ziele sowie die zur Umsetzung der Ziele notwendigen Ressourcen definiert. Die strategische Technologieplanung wird in Abhängigkeit der Rahmenbedingungen des Unternehmens zyklisch durchgeführt [Gom07, S. 43].

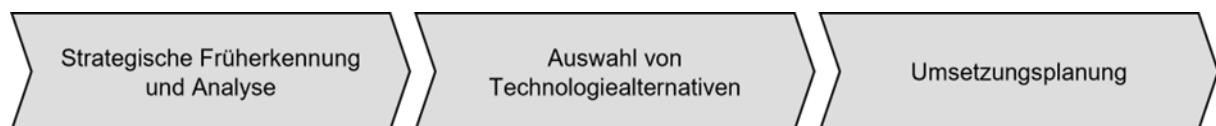


Bild 2: Aufgaben strategischer Technologieplanungsprozesse i.A.a. [Ser86], [Bul94], [SKO11]

3.3.1 Technologische Paradigmen in der strategischen Technologieplanung

Der Begriff der technologischen Paradigmen wurde ursprünglich 1982 von DOSI geprägt und beschreibt Muster des technologischen Fortschritts und Wandels [Dos82, S. 152]. Innerhalb eines Paradigmas wird der Entwicklungspfad einer Technologie als technologische Trajektorie bezeichnet [Dos82, S. 152]. Eine Trajektorie wird durch verschiedene technologische Leistungsparameter (wie z.B. Kraftstoffverbrauch) beschrieben und durch naturwissenschaftliche Grenzen limitiert [Dos82, S. 154ff.]. Sie lassen Rückschlüsse auf die Innovationszyklen einer Technologie zu. Auf dieser Basis können wiederum Aussagen zu den Auswirkungen der Technologieentwicklung auf die Produktarchitektur getätigt werden. So resultieren die kontinuierlichen Technologieentwicklungen häufig in der Einführung neuer Produktgenerationen. Hingegen führen diskontinuierliche Veränderungen zu einem Paradigmenwechsel. Ein Beispiel für einen solchen Paradigmenwechsel ist der Übergang vom Verbrennungsmotor hin zu anderen Antriebskonzepten, wie Elektromotoren. Paradigmenwechsel führen zu einer Veränderung des dominanten Designs von Produkten. [Ste13, S. 38] Gemäß der Definition nach UTTERBACK bezeichnet ein dominantes Design ein in der Branche akzeptiertes, standardisiertes Produktkonzept, das sich unter allen Wettbewerbern etabliert hat. Dieses dominante Design führt in der Regel zu einem neuen Produkt. [Utt96, S. 24] Der Zeitpunkt der Entstehung eines neuen dominanten Designs wird durch die Diffusionsgeschwindigkeit neuer Technologien beeinflusst [Ros10, S. 13f.].

Im Kontext der strategischen Technologieplanung ist das Verständnis über technologische Paradigmen auf Basis der Entwicklung kritischer Leistungsparameter einer Technologie relevant. Dieses Verständnis ermöglicht es, die Zyklen der Wertsteigerungen sowie die damit verbundenen Produktgenerationen langfristig planen zu können.

3.3.2 Technologiebewertung in der strategischen Technologieplanung

Die Technologiebewertung als Teil der strategischen Technologieplanung hat zum Ziel, alternative Technologien oder Technologiekombinationen anhand eines vergleichenden und objektiven Bewertungsmaßstabes zu bewerten [Dur05, S. 49], [SR15, S. 46], [SHR16, S. 37]. Die Auswahl der Methode zur Technologiebewertung erfolgt in Abhängigkeit der vorherrschenden Entscheidungssituation. Zur Realisierung der Kreislaufwirtschaft bedarf es Methoden, die sowohl ökonomische als auch ökologische Kriterien berücksichtigen [SKK+23, S. 104]. In Bezug auf die ökologischen Kriterien ist das gesamte Produktleben von der Produktions-, über die Nutzungs- bis hin zur Verwertungsphase zu betrachten [BB23, S. 130].

4 Analyse und kritische Würdigung des Stands der Forschung

In diesem Kapitel wird zunächst der Stand der Forschung zur strategischen Planung von Produkttechnologien für die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft analysiert und kritisch reflektiert. Auf Basis der Analyseergebnisse wird das Theoriedefizit abgeleitet (vgl. Kapitel 4.1). Anschließend werden in Kapitel 4.2 Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik definiert.

4.1 Theoriedefizit

Die Bewertung der Ansätze erfolgt mithilfe von Kriterien im Objekt- sowie Zielbereich. Anhand der Kriterien des Objektbereichs wird bewertet, inwieweit die Ansätze relevante Objekte im Kontext des Beitrages berücksichtigen. Zu diesen gehören Produkttechnologien, die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft, die strategische Technologieplanung sowie die Technologiebewertung in der strategischen Technologieplanung. Mithilfe der Kriterien im Zielbereich werden die Ansätze hinsichtlich der Relevanz zur Beantwortung der Forschungsfrage sowie für die Zielsetzung dieses Beitrages bewertet. Diese Kriterien umfassen die Prognose technologischer Paradigmen für Produkte und ein Planungsvorgehen für die Kreislaufwirtschaft. Basierend auf diesen Kriterien wurden 15 Ansätze mit hoher Relevanz im Untersuchungsbereich identifiziert. Die betrachteten Ansätze stammen aus den für den Beitrag relevanten Wissenschaftsbereichen zur wertsteigernden Kreislaufwirtschaft, strategischen Technologieplanung, technologischen Paradigmen und Technologiebewertung. In Bild 3 werden die Ergebnisse der Analyse der Ansätze zusammenfassend dargestellt.

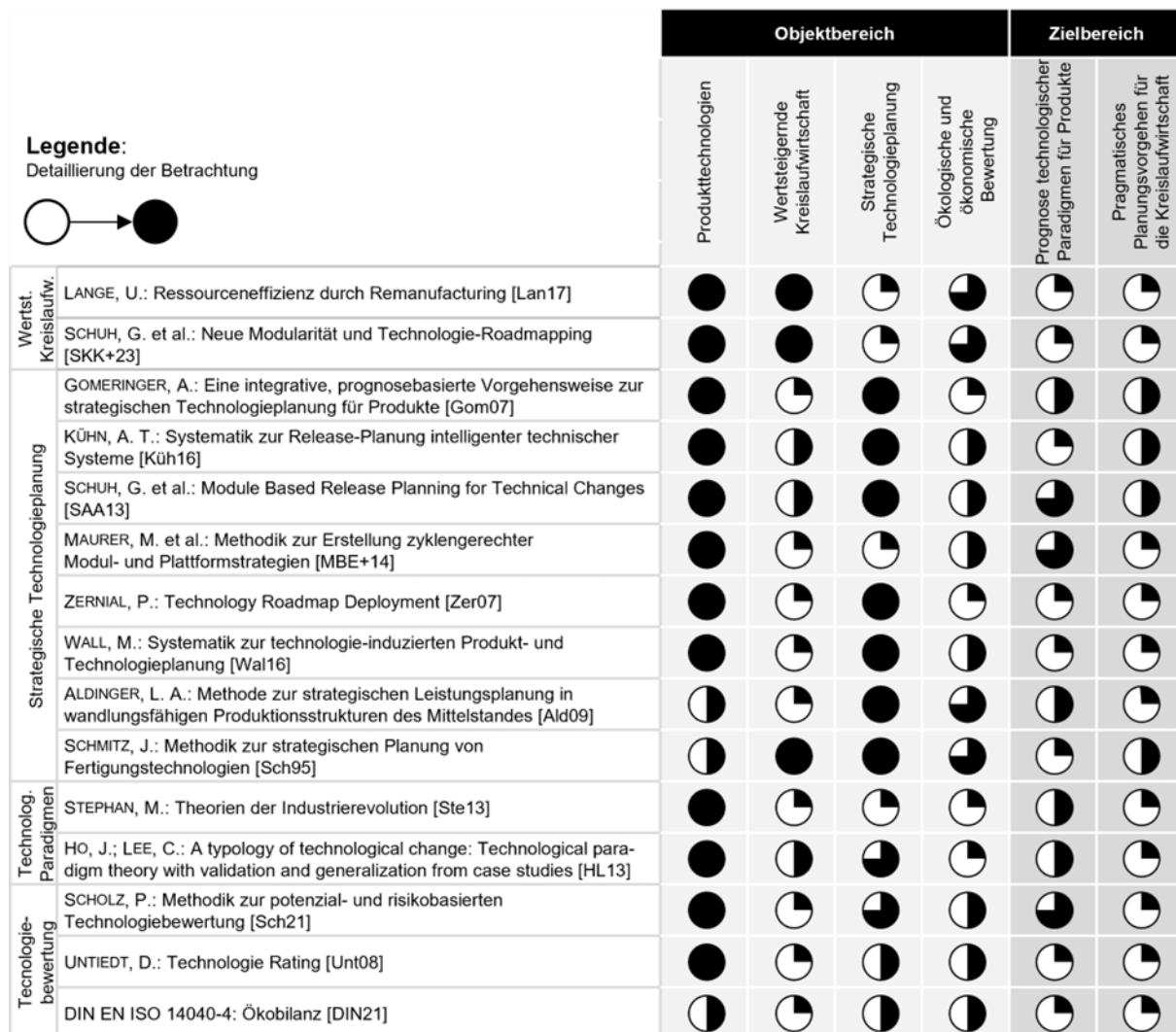


Bild 3: Bewertung bestehender Ansätze in der Wissenschaftsliteratur [Lan17], [SKK+23], [Gom07], [Küh16], [SAA13], [MBE+14], [Zer07], [Wal16], [Ald09], [Sch95], [Ste13], [HL13], [Sch21], [Unt08], [DIN21]

Die strategische Planung von Produkttechnologien wurde in der Literatur bereits ausgiebig untersucht (z.B. [Gom07]). Jedoch fehlt es an Ansätzen, die diese im Kontext der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft betrachten. Entsprechend zeigt die Analyse der bestehenden Ansätze, dass keiner der untersuchten Ansätze alle Bewertungskriterien erfüllt. Das festgestellte Theoriefehler lässt sich in drei Aspekte gliedern:

- Ein Vorgehen zur Prognose technologischer Paradigmen, einschließlich der Innovationszyklen innerhalb dieser, ist bislang nicht etabliert. Folglich können Produkttechnologien nicht über mehrere Produktgenerationen geplant werden.
- Für die Bewertung des ökologischen Nutzenpotenzials von Produkttechnologien über den gesamten Produktlebenszyklus fehlt es an ganzheitlichen ökologischen Kriterien. Des Weiteren wird eine Kopplung dieser ökologischen Kriterien mit ökonomischen Kriterien nicht vorgenommen. Als Folge können potenzialreiche Produkttechnologien für den ersten Produktlebenszyklus nicht ausgewählt und geplant werden.
- Bislang existiert kein Planungsvorgehen für Wertsteigerungen in der Kreislaufwirtschaft, sodass die Planung von Produkttechnologien als Grundlage für die Umsetzung von nachhaltigen Investitionen und Innovationen nicht zielgerichtet erfolgen kann.

4.2 Abgeleitete Anforderungen an eine Methodik

In diesem Kapitel werden relevante formale und inhaltliche Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik abgeleitet, um eine zielgerichtete Konzeption zu ermöglichen. Dabei basieren die formalen Anforderungen auf modell- und systemtheoretischen Grundlagen. Die Definition der inhaltlichen Anforderungen a – d erfolgt auf Basis des zugrundeliegenden Praxisdefizits und der Zielsetzung aus Kapitel 1 sowie des identifizierten Theoriefehlers aus Kapitel 4.1.

Formale Anforderungen: Empirische und formale Richtigkeit, Produktivität, Handhabbarkeit sowie aufwandsarme Erstellung und Anwendung

Die Gewährleistung einer hohen formalen Modellqualität ist einer der wichtigsten Faktoren für eine erfolgreiche Modellentwicklung. Diese kann erreicht werden, indem die modelltheoretischen Prinzipien der optimalen Effektivität eingehalten werden. In diesem Beitrag basieren die formalen Anforderungen auf den vier charakteristischen Merkmalen eines Modells nach PATZAK [Pat82, S. 309f].

Inhaltliche Anforderung a: Identifizierung relevanter Technologiebereiche eines Produktes mit dem größten Potenzial zur Realisierung der Wertsteigerung

Zur Identifizierung relevanter Technologiebereiche eines Produktes ist das Markt- und Technologieumfeld zu berücksichtigen. Hierbei sind insbesondere branchenspezifische Trends einschließlich der Regularien in Bezug auf die Nachhaltigkeit sowie Rohstoffmärkte zu identifizieren.

Inhaltliche Anforderung b: Prognose von technologischen Paradigmen der relevanten Technologiebereiche

Wie in Kapitel 3.3 erläutert wird, ist die Prognose technologischer Paradigmen inklusive der Innovationszyklen grundlegend für die Produkttechnologieplanung. Der Verlauf der Trajektorie eines Paradigmas ermöglicht Rückschluss auf die Entwicklung von Produktgenerationen und ist somit bei der Planung zu berücksichtigen.

Inhaltliche Anforderung c: Gewährleistung der Vergleichbarkeit von spezifischen Produkttechnologien unter Berücksichtigung von ökonomischen sowie ökologischen Potenzialen über den gesamten Produktlebenszyklus

Bestehende Bewertungsansätze fokussieren die Bewertung von ökonomischen Potenzialen der Technologien. Um die Kreislaufwirtschaft erfolgreich realisieren zu können, sind Technologien jedoch auch unter ökologischen Aspekten zu bewerten und zu vergleichen. Hierbei sind Herstellungs-, Nutzungs- sowie Verwertungsphasen des Produktes zu berücksichtigen und mit den ökonomischen Potenzialen zu verbinden.

Inhaltliche Anforderung d: Ganzheitliche Planungssystematik für die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft

Zur Sicherstellung einer Anwendbarkeit der Systematik soll ein ganzheitliches Vorgehen konzeptioniert werden, das Technologie- und Nachhaltigkeitsmanager zur Planung von Produkten und deren Technologien für die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft befähigt.

5 Konzeption der Methodik

Basierend auf den definierten formalen und inhaltlichen Anforderungen wird eine Modellstruktur für die strategische Planung von Produkttechnologien für die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft abgeleitet (vgl. Kapitel 5.1). Im Folgenden werden die Teilmodelle charakterisiert (vgl. Kapitel 5.2).

5.1 Ableitung einer Modellstruktur

Die in Kapitel 4 identifizierten inhaltlichen Anforderungen a – d bilden die Grundlage für die Methodik zur strategischen Planung von Produkttechnologien für die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft. Diese Methodik besteht aus den fünf Teilmodellen I – V (vgl. Bild 4).

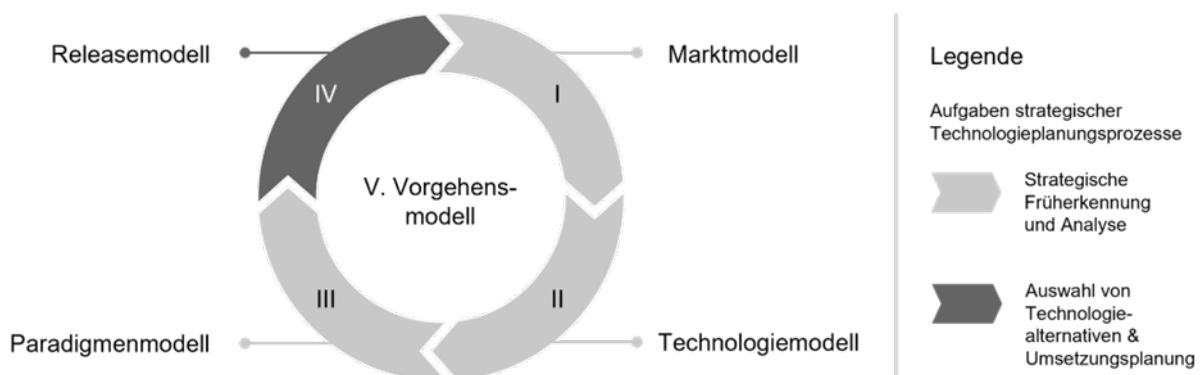


Bild 4: Methodik zur strategischen Planung von Produkttechnologien für die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft

Die Struktur der Methodik basiert auf den vorgestellten Aufgaben strategischer Technologieplanungsprozesse (insbesondere [Ser86, S. 161], [Bul94, S. 40], [SKO11, S. 173]) (vgl. Bild 2). Die grafische Darstellung der Methodik erfolgt in Form eines Kreises, welcher das zyklische Vorgehen der strategischen Technologieplanung widerspiegelt. Gleichzeitig fungiert dieser als Metapher der Kreislaufwirtschaft.

Modell I und Modell II dienen der strategischen Früherkennung und Analyse sowohl des Markt- als auch des Technologieumfeldes, sodass Technologiebereiche eines Produktes mit Potenzial für die Wertsteigerung identifiziert werden können. Folglich wird die Anforderung a erfüllt. Das Modell III ermöglicht die Prognose von technologischen Paradigmen für die identifizierten Technologiebereiche entsprechend der Anforderung b, sodass Innovationszyklen der Paradigmen bestimmt werden. Im Modell IV wird das ökologische Potenzial konkreter Produkttechnologien über den gesamten Produktlebenszyklus sowie die Kopplung dieser mit ökonomischen Kriterien bewertet. Dabei wird die Anforderung c der Vergleichbarkeit von Produkttechnologien sichergestellt. Für die ausgewählten Technologien wird anschließend in Abhängigkeit der vorherigen Analyseergebnisse ein Release-Zeitraum für den ersten Produktlebenszyklus bestimmt. Das Modell V führt entsprechend der Anforderung d die vorangegangenen vier Teilmodelle zu einem ganzheitlichen Vorgehen zusammen. Dieses Vorgehen der strategischen Technologieplanung wird zyklisch wiederholt.

5.2 Charakterisierung der Teilmodelle

Im Folgenden werden die fünf Teilmodelle detailliert. Dabei erfolgt jeweils die Beschreibung des Ziels sowie der wissenschaftlichen Vorgehensweise zur Erstellung des Teilmodells.

I. *Marktmodell*

Das Ziel des ersten Teilmodells ist die Bestimmung relevanter Technologiebereiche eines Produktes mit dem größten Potenzial zur Realisierung einer Wertsteigerung aus Marktperspektive (Anforderung a). Im Fokus steht daher die strategische Früherkennung und Analyse von branchenspezifischen Markttrends, kritischen Rohstoffen, verpflichtenden Regularien im Kontext der Nachhaltigkeit sowie abgeleiteten Kundenanforderungen. Hierfür werden Kriterien zur Bewertung der Relevanz der Markttrends und -anforderungen für das betrachtete Produkt sowie zur Bestimmung der Eintrittszeiträume erarbeitet. Des Weiteren werden verschiedene Methoden zur systematischen Entscheidungsunterstützung analysiert und auf deren Eignung untersucht. Die Analyseergebnisse werden im letzten Schritt in einem Marktkalender visualisiert. Dieser stellt branchenspezifische Markttrends und -anforderungen dar, welche die Auswahl sowie die Release-Zeiträume von Produkttechnologien beeinflussen.

II. *Technologiemodell*

Im zweiten Teilmodell erfolgt die Ermittlung relevanter Technologiebereiche eines Produktes mit dem größten Potenzial zur Realisierung einer Wertsteigerung aus Technologieperspektive (Anforderung a). Zu diesem Zweck werden zunächst die identifizierten zukünftig relevanten Kundenanforderungen aus dem ersten Teilmodell in technische Produktfunktionen überführt und den Technologiebereichen des bereits mithilfe des Technologiebaums zerlegten Produktes zugeordnet [SKS+11a, S. 64]. Die identifizierten Funktionen je Bereich bilden die Grundlage

für die anschließende Identifikation neuer Technologietrends und Technologiealternativen. Zur Bewertung der Relevanz dieser Trends und Technologien für das Produkt sowie zur Bestimmung der Eintrittszeiträume werden analog zum Marktmodell Kriterien erarbeitet und Methoden evaluiert. Weiterhin ist die Bestimmung von Technologiebereichen mit hoher Technologiedynamik erforderlich, da diese Bereiche das größte Potenzial zur Realisierung der Wertsteigerung aufweisen. Zu diesem Zweck sind Kriterien zur Bewertung der Technologiedynamik zu identifizieren. Abschließend werden die Analyseergebnisse in einem Technologiekalender visualisiert. Dieser umfasst Funktionen sowie Technologietrends, welche die Auswahl sowie die Release-Zeiträume von Produkttechnologien beeinflussen.

III. Paradigmenmodell

Im Paradigmenmodell erfolgt die Prognose technologischer Paradigmen für die identifizierten Technologiebereiche (Anforderung b), sodass Auswirkungen auf die Produktarchitektur abgeleitet werden. Initial erfolgt die Analyse technologischer Trajektorien der kritischen Leistungsparameter. Zu diesem Zweck werden Kriterien zur Bewertung der Relevanz von Leistungsparametern identifiziert. Darüber hinaus erfolgt die Ermittlung von Einflussfaktoren zur Analyse der Weiterentwicklung dieser kritischen Parameter. Das jährliche Monitoring der Veränderungen dieser Einflussfaktoren ermöglicht die Prognose der Trajektorie inklusive Innovationsrhythmen sowie technologischen Grenzen. Darauf aufbauend werden Archetypen von Auswirkungen der Technologieentwicklung auf die Produktarchitektur erarbeitet. Diese ermöglichen Rückschlüsse auf die Notwendigkeit neuer Produktgenerationen. Auf Basis der Analyseergebnisse wird im letzten Schritt ein Paradigmenkalender erstellt. Dieser visualisiert je Technologiebereich relevante Technologieentwicklungen und die damit zusammenhängenden Produktgenerationen.

IV. Releasemodell

Ziel des vierten Teilmodells ist die Auswahl von Produkttechnologien innerhalb eines Technologiebereichs sowie die Planung des Release-Zeitraums für den ersten Produktlebenszyklus. Es wird ein Bewertungsmodell entwickelt, welches die Bewertung der ökonomischen sowie ökologischen Potenziale der Produkttechnologien über das gesamte Produktleben ermöglicht und somit die Vergleichbarkeit verschiedener Produkttechnologien sicherstellt (Anforderung c). Zu diesem Zweck werden ökologische Kriterien von der Produktions-, über die Nutzungs- bis hin zur Verwertungsphase des Produktes sowie ökonomische Kriterien auf Basis der bestehenden Wissenschaftsliteratur erarbeitet. Da die Höhe des ökonomischen Potenzials abhängig ist vom ökologischen Potenzial, werden die Wechselwirkungen der ermittelten Kriterien identifiziert und analysiert. Anschließend werden Einflussfaktoren ermittelt, anhand derer sich der Release-Zeitraum einer Produkttechnologie eingrenzen lässt. Auf Basis der Analyseergebnisse wird im letzten Schritt ein Releasekalender erstellt. Dieser beinhaltet konkrete Technologien sowie deren Release-Zeiträume für den ersten Produktlebenszyklus.

V. Vorgehensmodell

Das Ziel des letzten Teilmodells ist ein ganzheitliches Vorgehen, das produzierende Unternehmen bei der strategischen Planung von Produkttechnologien für die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft unterstützt. Es wird ein Vorgehen entwickelt, das die Ergebnisse der Teilmodelle I –

IV zu einem umfassenden Ansatz verbindet, sodass die Anforderung d erfüllt wird. Die Beschreibung des Vorgehens erfolgt in einer Form, die den Anwender schrittweise durch die Teilmodelle I – IV führt. Dadurch wird ein effizienter Transfer in die Praxis gewährleistet.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde die Herausforderung der strategischen Planung von Produkttechnologien über mehrere Produktgenerationen für die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft adressiert. Zur Bewältigung dieser Herausforderung wurde auf Basis identifizierter Theorie- und Praxisdefizite, der Zielsetzung und der abgeleiteten Anforderungen ein Konzept für eine ganzheitliche Methodik zur strategischen Planung von Produkttechnologien für die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft für produzierende Unternehmen vorgestellt. Die Methodik besteht aus fünf Teilmodellen. Das Markt- sowie Technologiemodell dient der strategischen Früherkennung und Analyse sowohl des Markt- als auch des Technologieumfeldes, sodass Technologiebereiche eines Produktes mit Potenzial für die Wertsteigerung identifiziert werden können. Das Paradigmenmodell fokussiert die Prognose von technologischen Paradigmen für die identifizierten Technologiebereiche, sodass Innovationszyklen der Paradigmen bestimmt werden. Im Releasemodell erfolgt die Bewertung des ökologischen Potenzials konkreter Produkttechnologien über den gesamten Produktlebenszyklus sowie die Kopplung dieser mit ökonomischen Kriterien. Für die ausgewählten Technologien wird anschließend in Abhängigkeit der vorherigen Analyseergebnisse ein Release-Zeitraum für den ersten Produktlebenszyklus bestimmt. Das Vorgehensmodell führt die vorangegangenen vier Teilmodelle zu einem ganzheitlichen Vorgehen zusammen. Diese Methodik soll Technologie- und Nachhaltigkeitsmanager bei der Realisierung der Kreislaufwirtschaft unterstützen und dient als Grundlage für die Planung der kreislauffähigen Produktmodularisierung, kreislauffähiger Geschäftsmodelle sowie von Remanufacturing-Fabriken.

Da die bisherigen Erkenntnisse auf einer konzeptionellen Ebene basieren, bedarf es zusätzlicher Forschung, um ihre Anwendbarkeit in der Praxis zu gewährleisten. So sind in weiteren Forschungsarbeiten die vorgestellten Teilmodelle der Methodik zu konkretisieren. Hierfür sind Kriterien und Methoden zu identifizieren und zu analysieren, indem zum Beispiel eine fundierte Literaturanalyse durchgeführt wird. Zudem sind die erarbeiteten Ergebnisse in der industriellen Praxis durch Befragung von Experten des Technologie- und Nachhaltigkeitsmanagements zu validieren und zu optimieren. So wird sichergestellt, dass die Methodik den Anforderungen von produzierenden Unternehmen im Kontext der Transformation zur Kreislaufwirtschaft gerecht wird.

Literatur

- [Ald09] ALDINGER, L. A.: Methode zur strategischen Leistungsplanung in wandlungsfähigen Produktionsstrukturen des Mittelstandes. Dissertation, Fakultät für Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Universität Stuttgart, 2009
- [BB23] BERGS, T.; BRIMMERS, J.: Fertigung für eine Kreislaufwirtschaft. In: Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium (Hrsg.): Empower Green Production, 2023, S. 126–150

- [BK96] BINDER, V. A.; KANTOWSKY, J.: Technologiepotentiale – Neuausrichtung der Gestaltungsfelder des Strategischen Technologiemanagements. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 1996
- [Bul94] BULLINGER, H.-J.: Einführung in das Technologiemanagement – Modelle, Methoden, Praxisbeispiele. B. G. Teubner, Stuttgart, 1994
- [CKW17] CHUNG, W.-H.; KREMER, G. E. O.; WYSK, R. A.: A dynamic programming method for product upgrade planning incorporating technology development and end-of-life decisions. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 34(1), 2017, S. 30–41
- [DIN21] Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen – DIN EN ISO 14040-4, 2021
- [Dos82] DOSI, G.: Technological paradigms and technological trajectories – A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, 11, 1982, S. 147–162
- [Dud-ol] DUDENREDAKTION: "Technologie". Unter: <https://www.duden.de/synonyme/Technologie#close-cite>, 5. Juli 2024
- [Dur05] DURAND, T.: The Strategic Management of Technology and Innovation. In: Durand, T. (Hrsg.): Bringing technology and Bringing technology and innovation into the boardroom – Strategy, innovation and competences for business value. Palgrave Macmillan London, 2005
- [Ell13] ELLEN MACARTHUR FOUNDATION: Towards the Circular Economy – Economic and business rationale for an accelerated transition, 2013
- [Ell24-ol] ELLEN MACARTHUR FOUNDATION: Circular economy introduction. Unter: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>
- [Eur23] EUROPEAN COMMISSION, DIRECTORATE-GENERAL FOR INTERNAL MARKET, INDUSTRY, ENTREPRENEURSHIP AND SMEs, GROHOL, M., VEEH, C.: Study on the critical raw materials for the EU 2023 – Final report, 2023
- [Ger13] GERPOTT, T.J. (Hrsg.): Strategisches Technologie- und Innovationsmanagement. 2. Auflage, Schäffer-Poeschel Verlag, 2013
- [Gom07] GOMERINGER, A.: Eine integrative, prognosebasierte Vorgehensweise zur strategischen Technologieplanung für Produkte. Dissertation, Fakultät Maschinenbau, Universität Stuttgart, 2007
- [GPP+20] GEISSDOERFER, M.; PIERONI, M. P.; PIGOSSO, D. C.; SOUFANI, K.: Circular business models: A review. *Journal of Cleaner Production*, 277, 2020
- [HL13] HO, J. C.; LEE, C.-S.: A typology of technological change: Technological paradigm theory with validation and generalization from case studies. *Technological Forecasting & Social Change*, 97, 2013, S. 128–139
- [KHF+23] KOLAR, G.; HOLLY, F.; FLIEßER, N.; BERGER, M.: Zukunft Kreislaufwirtschaft – Relevanz & Herausforderungen am Weg zu einem zirkulären Geschäftsmodell, 2023
- [KT81] KIRSCH, W.; TRUX, W.: Perspektiven des strategischen Managements. In: Kirsch, W. (Hrsg.): Unternehmenspolitik. von der Zielforschung zum strategischen Management. München, 1981, S. 290–396
- [Küh16] KÜHN, A. T.: Systematik zur Release-Planung intelligenter technischer Systeme. Dissertation, Fakultät Maschinenbau, Universität Paderborn, 2016
- [Lan17] LANGE, U.: VDI ZRE Kurzanalyse 18: Ressourceneffizienz durch Remanufacturing – Industrielle Aufarbeitung von Altteilen, 2017

- [LR16] LIEDER, M.; RASHID, A.: Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 115, 2016, S. 36–51
- [MBE+14] MAURER, M.; BAUER, W.; ELEZI, F.; CHUCHOLOSWKI, N.: Methodik zur Erstellung zyklenge-rechter Modul- und Plattformstrategien. In: Vogel-Heuser, B.; Lindemann, U.; Reinhart, G. (Hrsg.): *Innovationsprozesse zyklenorientiert managen – Verzahnte Entwicklung von Produkt-Service Systemen*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2014, S. 139–154
- [Pat82] PATZAK, G.: *Systemtechnik — Planung komplexer innovativer Systeme – Grundlagen, Methoden, Techniken*. Springer Berlin, Heidelberg, 1982
- [RC20] RÖMPH, T. J. DE; CRAMER, J. M.: How to improve the EU legal framework in view of the circu-lar economy. *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 38:3, 2020, S. 245–260
- [Ros10] ROSENBLOOM, J. A.: Technology Evolution. In: Narayanan, V. K.; O'Connor, G. C. (Hrsg.): *Encyclopedia of Technology & Innovation Management*, 2010, S. 9–19
- [SAA13] SCHUH, G.; ALEKSIC, S.; ARNOSCHT, J.: Module Based Release Planning for Technical Changes. RWTH Aachen University WZL. *Proceedings of PICMET*, 2013
- [Sch21] SCHOLZ, P.: Methodik zur potenzial- und risikobasierten Technologiebewertung. Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 2021
- [Sch95] SCHMITZ, W. J.: Methodik zur strategischen Planung von Fertigungstechnologien – Ein Beitrag zur Identifizierung und Nutzung von Innovationspotentialen. Dissertation, Fakultät für Maschi-nenwesen, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 1995
- [Ser86] SERVATIUS, H.-G.: Methodik des strategischen Technologie-Managements – Grundlage für er-folgreiche Innovation. 2. Auflage, *Technological Economics* Band 13, Erich Schmidt Verlag, 1986
- [SHR16] SCHIMPF, S.; HEUBACH, D.; RUMMEL, S.: Technologieentwicklung als Innovationstreiber in be-stehenden disruptiven Märkten - von der Beobachtung zur Umsetzung. In: Abele, T. (Hrsg.): *Die frühe Phase des Innovationsprozesses – Neue, praxiserprobte Methoden und An-sätze*. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2016, S. 31–49
- [SKK+23] SCHUH, G.; KUHN, M.; KEUPER, A.; PATZWALD, M.; SCHENK, L.; GUO, D.; FEUCHT, M.; KAN-TELBERG, J.; ROSSMAIR, G.; SCHROTH, H.; VIETHEN, U.; ZELLER, P.: Neue Modularität und Technologie-Roadmapping. In: *Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium* (Hrsg.): *Empower Green Production*, 2023, S. 96–123
- [SKO11] SCHUH, G.; KLAPPERT, S.; ORILSKI, S.: Technologieplanung. In: Schuh, G.; Klappert, S. (Hrsg.): *Technologiemanagement – Handbuch Produktion und Management* 2. 2. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, S. 171–222
- [SKS+11a] SCHULTE-GEHRMANN, A.-L.; KLAPPERT, S.; SCHUH, G.; HOPPE, M.: Technologiestrategie. In: Schuh, G.; Klappert, S. (Hrsg.): *Technologiemanagement – Handbuch Produktion und Ma-nagement* 2. 2. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, S. 55–88
- [SKS+11b] SCHUH, G.; KLAPPERT, S.; SCHUBERT, J.; NOLLAU, S.: Grundlagen zum Technologiemanage-ment. In: Schuh, G.; Klappert, S. (Hrsg.): *Technologiemanagement – Handbuch Produktion und Management* 2. 2. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, S. 33–54
- [SR15] SCHIMPF, S.; RUMMEL, S.: Bewertung von technologischen Entwicklungen. In: Warschat, J.; Schimpf, S.; Korell, M. (Hrsg.): *Technologien frühzeitig erkennen, Nutzenpotenziale systema-tisch bewerten*. Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 2015

- [Ste13] STEPHAN, M.: Theorien der Industrieevolution – Discussion Papers on Strategy and Innovation, 2013
- [TB09] TIDD, J.; BESSANT, J.: Managing Innovation – Integrating Technological, Market and Organizational Change. 4. Auflage, Wiley, 2009
- [Ulrich81] ULRICH, H.: Die Betriebswirtschaftslehre als anwendungsorientierte Sozialwissenschaft. In: Geist, M.; Köhler, R. (Hrsg.): Die Führung des Betriebes – Curt Sandig zu seinem 80. Geburtstag gewidmet. Pöschel, Stuttgart, 1981, S. 1–25
- [Unt08] UNTIEDT, D. B. J.: Technologie Rating – Modell zur Bewertung der technologischen Leistungsfähigkeit produzierender Unternehmen. Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 2008
- [Utt96] UTTERBACK, J. M.: Mastering the Dynamics of Innovation. Harvard Business School Press, 1996
- [Ves20-ol] VESCHI, B.: ETYMOLOGY OF TECHNOLOGY. Unter: <https://etymology.net/technology>
- [Wal16] WALL, M.: Systematik zur technologie-induzierten Produkt- und Technologieplanung. Dissertation, Fakultät Maschinenbau, Universität Paderborn, 2016
- [Wec22] WECK, O. L. DE: Technology Roadmapping and Development – A Quantitative Approach to the Management of Technology. Springer International Publishing, 2022
- [WJZ+23] WU, B.; JIANG, Z.; ZHU, S.; ZHANG, H.; WANG, Y.: A customized design method for upgrade remanufacturing of used products driven by individual demands and failure characteristics. Journal of Manufacturing Systems, 68, 2023, S. 258–269
- [Zer07] ZERNIAL, P.: Technology Roadmap Deployment – Eine Methodik zur Unterstützung der integrierten strategischen Planung technologischer Innovationen. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 2007

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh leitet den Lehrstuhl für Produktionssystematik an der RWTH Aachen. Des Weiteren ist er Direktor des FIR e. V., Mitglied des Direktoriums des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen und des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT.

Johanna Jacobi, M.Sc. studierte Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau an der Technischen Universität Braunschweig und an der University of Rhode Island, USA. Seit 2021 promoviert sie an der RWTH Aachen zum Dr.-Ing. und ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT in Aachen in der Abteilung Strategisches Technologiemanagement.

Session II

Transformation gestalten in unsicheren Zeiten: Ansätze für resiliente Innovationsstrategien

Florian Roth¹, Benjamin Scharte²

¹ Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, florian.roth@zhaw.ch

² Universität Tübingen, benjamin.scharte@uni-tuebingen.de

Zusammenfassung

Resilienz erscheint als das strategische Gebot der Stunde. Insbesondere Schocks wie die COVID-19-Pandemie oder die russische Invasion in der Ukraine und die damit zusammenhängenden Störungen im Welthandel und in den Lieferketten haben das Resilienzdenken in Politik und Wirtschaft befördert. Die wachsende Popularität von Resilienzstrategien wird von der Annahme getragen, dass globale Dynamiken immer komplexer und unvorhersehbarer werden. Entsprechend gewinnen generische Systemeigenschaften wie Robustheit und Anpassungsfähigkeit an Bedeutung, während Vorausschau und Vorausplanung in den Hintergrund zu rücken scheinen. Dies stellt auch etablierte Strategien zur Bewältigung transformativer Herausforderungen in Frage, die typischerweise ein hohes Maß an Direktionalität und Planbarkeit voraussetzen.

Der vorliegende Beitrag untersucht die Implikationen der Resilienzwende für die Formulierung, Umsetzung und Bewertung transformativer Innovationsstrategien. Hierzu hinterfragen wir zunächst zentrale Annahmen, die zur wachsenden Bedeutung von Resilienzansätzen beitragen, im Besonderen die wahrgenommene Zunahme an systemischer Komplexität und damit einhergehend die Diagnose der Unsicherheitszunahme. Darauf aufbauend werden alternative Resilienzstrategien diskutiert, wobei zwischen absorptiven (*bounce back*), adaptiven (*bounce forward*) sowie transformativen (*bounce beyond*) Resilienzansätzen unterschieden wird. Dabei wird der Schwerpunkt auf die Frage gelegt, ob sich das Ziel der Resilienzsteigerung und der Anspruch der Antizipationsfähigkeit gegenseitig ergänzen oder eher entgegenstehen. Abschließend formuliert der Beitrag Ansatzpunkte, um die Resilienz transformativer Innovationsstrategien zu fördern.

Schlüsselworte

Resilienz, Innovation, Transformation, Komplexität, Unsicherheit

Shaping transformation in times of uncertainty: Approaches for strengthening the resilience of innovation strategies

Abstract

Resilience appears to be the strategic imperative of the hour. In particular, shocks such as the COVID-19 pandemic or the Russian invasion of Ukraine and the associated disruptions of global trade and supply chains have promoted resilience thinking in politics and business. The growing popularity of resilience strategies is based on the assumption that global dynamics are becoming increasingly complex and unpredictable. Accordingly, generic system characteristics such as robustness and adaptability are gaining in importance, while foresight and forward planning seem to be receding into the background. This also calls into question established strategies for coping with transformative challenges, which typically require a high degree of directionality and predictability.

This article examines the implications of the resilience turn for the formulation, implementation, and evaluation of transformative innovation strategies. To this end, we first challenge central assumptions that contribute to the growing importance of resilience approaches, particularly the perceived increase in systemic complexity and the associated diagnosis of the increase in uncertainty. Building on this, alternative resilience strategies are discussed, whereby we distinguish between absorptive (*bounce back*), adaptive (*bounce forward*) and transformative (*bounce beyond*) resilience approaches. The focus is placed on the question of whether the goal of increasing resilience and the requirement to be able to anticipate complement or rather counteract each other. Finally, the article formulates starting points for promoting the resilience of transformative innovation strategies.

Keywords

resilience, innovation, transformation, complexity, uncertainty

1 Transformation und Schock

In den vergangenen Jahren haben zahlreiche Studien den Umgang mit Schockereignissen und deren komplexe Folgewirkungen untersucht. Im Fokus standen dabei unter anderem die COVID-19-Pandemie und die daraus resultierenden Störungen internationaler Wertschöpfungsketten sowie die russische Invasion in der Ukraine, die weitreichende politische und wirtschaftliche Desintegrationsprozesse auslösten. Diese Arbeiten haben gezeigt, wie in Zeiten wahrgenommener Perma- oder Polykrisen Entscheidungen zunehmend im Krisenmodus getroffen werden [LHJ+24]. Für Krisenbewältigung gibt es per definitionem keine Blaupause, stattdessen wird zumeist „auf Sicht gefahren“. Statt großer Visionen und Pläne sind vor allem Flexibilität und Improvisationskunst gefragt [BHK18]. Unter diesen Bedingungen ist das Konzept der Resilienz zunehmend zum Gebot der Stunde geworden, was sich gleichermaßen in Regierungsdokumenten und Unternehmensstrategien niederschlägt [Eur12], [PSS22].

Weitestgehend unerforscht ist hingegen bislang, inwiefern sich die Ausrichtung auf Resilienzziele mit etablierten Innovationsansätzen in Einklang bringen lässt [SG24], [WBR22]. Schließlich basiert die wachsende Popularität von Resilienzstrategien zumindest teilweise auf der Annahme, dass globale Dynamiken immer komplexer und unvorhersehbarer werden. Demnach zeichnen sich resiliente Systeme durch die Fähigkeit aus, sich auf ein breites Spektrum möglicher Szenarien vorzubereiten. Entsprechend gewinnen generische Systemeigenschaften wie Robustheit und Anpassungsfähigkeit an Bedeutung, während Vorausschau und Vorausplanung in den Hintergrund zu rücken scheinen. Stehen resilienzzentrierte Strategien damit notwendigerweise im Widerspruch zu etablierten Innovationskonzepten, beispielsweise den sogenannten missionsorientierten Innovationsansätzen, die typischerweise ein hohes Maß an Direktionalität und Planbarkeit voraussetzen [EB18], [LDB+16]? Oder können Resilienzansätze dazu beitragen, Innovationsprozesse gegenüber Schocks und Disruptionen zu schützen und damit letztlich erfolgreicher zu machen [RLH+21]? Die Adressierung dieser Fragen erscheint insbesondere relevant im Kontext übergreifender gesellschaftlicher Transformationsprozesse. Dazu zählt etwa die Notwendigkeit, die ökologischen und ökonomischen Grundlagen unserer Wirtschafts- und Gesellschaftssysteme in Zeiten des Klimawandels langfristig nachhaltig zu entwickeln. Auch die erfolgreiche Gestaltung der dazu parallel ablaufenden digitalen Transformation, inklusive des adäquaten Umgangs mit Herausforderungen wie sie beispielsweise aus Fortschritten im Bereich der Künstlichen Intelligenz erwachsen, gehört dazu [Fag18], [GKR+21], [KEF24].

Der vorliegende Beitrag untersucht die Implikationen der Resilienzwende für die Formulierung, Umsetzung und Bewertung transformativer Innovationsstrategien. Wir konzentrieren uns dabei auf die Systemebene, gleichzeitig sind einige unserer Schlussfolgerungen auch der Ebene einzelner Unternehmen anwendbar, die sich in einem komplexen und unsicheren Kontext nachhaltig erfolgreich aufstellen wollen. Wir hinterfragen zunächst zentrale Annahmen, die zur wachsenden Bedeutung von Resilienzansätzen beitragen, im Besonderen die wahrgenommene Zunahme an systemischer Komplexität und damit einhergehend die Diagnose der Unsicherheitszunahme. Darauf aufbauend werden alternative Resilienzstrategien diskutiert, wobei zwischen absorptiven (*bounce back*), adaptiven (*bounce forward*) sowie transformativen (*bounce*

beyond) Resilienzansätzen unterschieden wird. Dabei wird der Schwerpunkt auf die Frage gelegt, ob sich das Ziel der Resilienzsteigerung und der Anspruch der Antizipationsfähigkeit gegenseitig ergänzen oder sich eher entgegenstehen. Abschließend formuliert der Beitrag Ansatzpunkte, um die Resilienz transformativer Innovationsstrategien zu fördern.

2 Umgang mit Komplexität und Unsicherheit als strategischer Schlüssel

In einer Welt, in der globale Dynamiken in Politik und Wirtschaft immer komplexer, unsicherer und damit störungsanfälliger werden, braucht es Resilienz als „neue“ Handlungsstrategie. Denn das klassische, „alte“ Planungs- und Risikodenken kommt einfach nicht mehr hinterher.

So oder so ähnlich lauten häufig die motivierenden Einführungssparagrafen von politischen wie wissenschaftlichen Texten, die sich um Resilienz drehen [Sch21]. Damit werden zu Beginn derartiger Texte bereits zwei Annahmen getroffen, die den weiteren Inhalt stark beeinflussen. Nämlich erstens, dass die Welt tatsächlich immer komplexer und unsicherer wird. Und zweitens, dass Resilienz eine sinnvolle und wünschenswerte Möglichkeit darstellt, mit diesen Entwicklungen umzugehen. Inwiefern letzteres zutrifft ist fraglich, denn das Resilienzkonzept wird aus unterschiedlichen Disziplinen heraus sehr kritisch gesehen [BEK+16], [DKS15], [ER14]. Auf unterschiedliche Verständnisse von Resilienz gehen wir im nächsten Kapitel detaillierter ein. Aber auch die erste Annahme sollte nicht einfach unhinterfragt als Teil einer „feststehenden Kausalkette“ verstanden werden, die keiner weiteren Begründung bedarf [BEK+16]. Vielmehr halten wir es für notwendig, einen Schritt zurückzutreten und zunächst zu hinterfragen, inwiefern Komplexität und Unsicherheit tatsächlich zunehmen und ob Resilienz eine strategische Antwort auf die hieraus resultierenden Herausforderungen bieten kann.

2.1 Komplexität, Emergenz, Anpassungsfähigkeit

In der Komplexitätstheorie wird generell zwischen einfachen, komplizierten und komplexen Systemen unterschieden [GS08], [Urr05]. Einfache Systeme folgen deterministischen, kausal eindeutigen Regeln. Komplizierte Systeme bestehen aus einer sehr großen Anzahl an Elementen mit schwierigen, aber nach wie vor linearen Kausalitäten. Kompliziert sind sie daher im Sinne von unübersichtlich oder auch praktisch schwer zu verstehen. Holland nennt mechanische Uhren als Beispiel für ein kompliziertes System [Hol14]. Im Gegensatz zu einfachen und komplizierten lassen sich komplexe Systeme gerade nicht deterministisch erklären. Ihr zentrales Charakteristikum ist Emergenz [Mit09, SB20]. Eine emergente Eigenschaft eines Systems lässt sich nicht durch Betrachtung seiner Elemente erklären, sondern nur auf Systemebene. Komplexe Systeme bestehen aus sogenannten „Agenten“, die über Anpassungsfähigkeit verfügen, welche sie dazu nutzen, mit anderen Agenten im System und mit der Umwelt des Systems zu interagieren [AEH05], [Hol14]. Selbst wenn die individuellen Verhaltensregeln der Agenten einfach sind, folgt aus der Kombination vieler autonom entscheidender Agenten im System dessen Komplexität, da diese ständig aufeinander reagieren und so Feedback produzieren [Ban02], [Lem02], [NMS+07]. Der Komplexitätstheorie folgend führt die ständige Anpassung

zu Systemen mit großer Vielfalt, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass sich alle Agenten in gleicher Weise anpassen. Holland argumentiert mit Adam Smith, wonach die Arbeitsteilung innerhalb eines Systems dessen Produktivität erhöht, weil Spezialisten ihre spezifische, kleinteilige Aufgabe besser erfüllen können als Generalisten und durch die Kooperation vieler Spezialisten eine höhere Systemleistung erzielt werden kann als durch die Kooperation vieler Generalisten [Hol14]. Ceteris paribus führt eine stärkere Spezialisierung zu einer zunehmenden Notwendigkeit der Zusammenarbeit mit anderen Akteuren im System, zu einer stärkeren Vernetzung, wodurch komplexe Systeme über die Zeit immer komplexer werden.

2.2 Von der Unsicherheit zur Disruption

Aus der Komplexitätstheorie folgt unmittelbar eine inhärente Unsicherheit als Grundeigenschaft komplexer Systeme [Ban02], [Urr05]. Mit Luhmann sprechend ließe sich hier die „Kontingenz“ solcher Systeme anführen, was letztlich heißt, dass die Zukunft nicht determiniert ist, sie könnte sich in eine bestimmte Richtung entwickeln oder in eine andere und es ist theoretisch unmöglich im Voraus zu wissen, welche es letztlich sein wird [KN93], [Luh95]. Daher gilt auch, dass negativ disruptive Ereignisse nicht zwangsläufig auf ein Versagen oder eine Fehlfunktion des Systems zurückzuführen sind. Sie können vielmehr auch die unbeabsichtigte Folge der Interaktion von Agenten in komplexen Systemen sein, die versuchen, ihr Verhalten angesichts begrenzter Informationen zu optimieren [MVG+06], [SA11]. Es gibt in komplexen Systemen also nicht nur epistemische, sondern auch ontologische Grenzen des Wissens, sozusagen Grenzen des Wissbaren [Cha14]. Unsicherheit kann demzufolge nicht überwunden werden, weder mit technischen noch mit rechtlichen, politischen oder sozialen Mitteln. Und Unsicherheit setzt der Antizipation, insbesondere der Antizipation disruptiver Ereignisse, Grenzen – wobei die genaue Ausgestaltung dieser Grenzen eine mit schillernden Metaphern von schwarzen Schwänen und Drachenkönigen geführte Diskussion umfasst [SO12], [Tal10]. Schwarze Schwäne sind demnach extreme, überraschend auftretende Ereignisse, die sich mithilfe unseres aktuellen Wissensstands nicht sinnvoll vorhersagen lassen [Ave13]. Diese wirkmächtige Metapher kann zwar dabei helfen, die inhärente Unsicherheit komplexer Systeme zu akzeptieren. Sie könnte aber auch zu einer Art systemischer Verantwortungslosigkeit verleiten [SO12]. Die Metapher der Drachenkönige beschreibt dagegen Ereignisse, die innerhalb einer bestimmten Art von Ereignissen kategorisch anderen Regeln folgen. Damit lassen sie sich nicht mittels der bekannten Regeln für „normale“ Ereignisse erklären. Das bedeutet aber nicht, dass sie sich gar nicht erklären – oder zumindest teilweise vorhersagen – lassen. Unter Ausnutzung von Erkenntnissen aus der Komplexitätstheorie, etwa über Feedbackmechanismen, Kipppunkte, Kaskadeneffekte, etc., lässt sich Unsicherheit teilweise formalisieren und quantifizieren [SO12].

Damit beinhaltet auch eine komplexe Welt eine, wenn auch inhärent limitierte, Antizipationsmöglichkeit. Trotzdem bleibt Kontrolle im Sinne einer sicher prognostizierbaren Zukunft und darauf basierender Auswahl von Handlungsoptionen illusorisch. Deshalb bedarf es anderer Strategien. Angesichts von Komplexität und Unsicherheit den Kopf in den Sand zu stecken, erscheint hierbei nicht als Lösung. Der kurze Hinweis auf Methoden zur Quantifizierbarkeit extremer, unsicherer Ereignisse hat bereits gezeigt, wie Komplexität und Unsicherheit proaktiv adressiert werden können. Im nächsten Kapitel zeigen wir, inwiefern Resilienzansätze helfen können, Komplexitätskompetenz und Unsicherheitstoleranz zu entwickeln.

3 Resilienz als neues Leitbild

Resilienz hat in den letzten beiden Jahrzehnten Einzug in unterschiedlichste Bereiche von Politik und Wirtschaft gehalten. Nur leicht übertreibend ließe sich festhalten, dass jeder, jede und alles resilient sein oder zumindest werden möchte. Dass bereits diese unhinterfragte normative Setzung von Resilienz als etwas unbedingt Wünschenswertem wissenschaftlich mindestens fragwürdig ist, steht nicht im Fokus unseres Beitrags. Wir möchten an dieser Stelle aber zumindest darauf hinweisen, dass Resilienz keinesfalls unkritisch gesehen werden sollte. Das gilt vor allem dann, wenn im Sinne einer sogenannten „Verantwortlichmachung“ (Responsibilization) Resilienz auf die Forderung beschränkt wird, einzelne Akteure im System (beispielsweise kleine Unternehmen, Forschungsinstitutionen sowie deren Mitarbeitende) in die Verantwortung zu nehmen, ohne die hierfür notwendigen Ressourcen bereitzustellen [ER14], [Jos18], [Kru19]. Zudem gibt es auch Situationen, in denen die Resilienz bestehender Systeme gesellschaftlich gewünschte Transformationsprozesse verhindert oder zumindest verlangsamt [SG24]. Aber auch abseits von Fragen der normativen Erwünschtheit von Resilienz gibt es eine zentrale Schwierigkeit im Umgang mit dem Begriff. Während jeder, jede und alles resilient sein oder werden möchte, bleibt häufig unklar, was damit gemeint ist. Es gibt weder in der Politik noch in der Wissenschaft Einigkeit darüber, was Resilienz bedeutet oder bedeuten sollte. Gerade die Abgrenzung zu anderen Begriffen, etwa Robustheit, Widerstandsfähigkeit, Anpassungsfähigkeit und auch Antizipationsfähigkeit bleibt herausfordernd [CLQ+18], [TPF21]. Für unsere Diskussion fokussieren wir uns im Folgenden auf drei so einflussreiche wie unterschiedliche Konzeptionen von Resilienz. Zunächst zeigen wir auf, warum ein absorptives Resilienzverständnis unzureichend für komplexe, soziotechnische Systeme ist. Dann gehen wir auf adaptive Resilienz als komplexitätsinformierte Strategie ein. Im dritten Schritt verweisen wir auf die Chancen von transformativer Resilienz für ein nachhaltiges Innovationsverständnis.

3.1 Absorptive Resilienz – *bounce back*

Ursprünglich war die vorherrschende Bedeutung von Resilienz das „Zurückspringen“ (*bounce back*) nach einer Störung [Ale13]. Dabei geht es um die Rückkehr in den vorherigen, ursprünglichen Gleichgewichtszustand [ABD+18]. Diese Rückkehr soll möglichst schnell erfolgen und mit einem möglichst geringen Leistungsverlust verknüpft sein [Ave11], [CAH+17], [UZ14]. Die Resilienz eines Systems lässt sich folglich messen, indem die Leistung über die Zeit aufgetragen und der Leistungsverlust aufsummiert wird, den das System nach Eintritt einer Störung erleidet bis es wieder zu seiner ursprünglichen Funktionsfähigkeit zurückkehrt [BCE+03]. Ein derartig „mechanisches“ Verständnis von Resilienz hat unbestritten Vorteile, nicht zuletzt da es so möglich ist, das abstrakte Konzept messbar zu machen [ST16]. Deshalb ist das absorptive Resilienzverständnis nach wie vor einflussreich, etwa in den Ingenieurwissenschaften [ABD+18], [LNS+21]. Wenn es darum geht, die Leistungsfähigkeit klar begrenzter, einfacher (oder komplizierter) technischer Systeme nach Eintritt einer Störung zu bewerten, ergibt es Sinn, Resilienz so zu verstehen [TSH+16]. Wenn es aber um komplexe, soziotechnische Systeme geht, die durch inhärente Unsicherheit gekennzeichnet sind, erscheint absorptive Resilienz unzureichend [Sch21]. Denn komplexe Systeme kehren nach Störungen nicht in einen Ursprungszustand zurück. Als lernende Systeme entwickeln sie sich fortlaufend weiter [Wal20].

Da Innovationsstrategien unzweifelhaft komplex sind, müssen wir Resilienz für unsere Zwecke anders verstehen.

3.2 Adaptive Resilienz – *bounce forward*

In Disziplinen wie etwa der psychologischen Organisationsforschung oder der sozialökologischen Resilienzforschung wird die Komplexität und Unsicherheit realer Systeme explizit zur Grundlage von Resilienz gemacht und damit versucht, die Spezifika von Resilienz stärker herauszustellen und Unterschiede zwischen Resilienz und anderen Begriffen und Konzepten, etwa Risikomanagement, Robustheit und Widerstandsfähigkeit zu betonen [LBC+14]. Demnach ist die Steigerung der Anpassungsfähigkeit komplexer Systeme in einer durch Unsicherheit (Kontingenz) charakterisierten Welt an überraschend und unerwartet auftretende, widrige Ereignisse das zentrale Merkmal von Resilienz oder anders gesagt die entscheidende Fähigkeit resilenter Systeme [Fol06], [FCE+02], [Hol73], [Hol11], [HWL06], [Wal20], [Woo19].

Um dieses adaptive Resilienzverständnis von absorptiver Resilienz unterscheiden zu können, wird immer wieder von *bounce forward* gesprochen, im Sinne einer aktiven Vorbereitung auf eine unsichere Zukunft mittels der Fokussierung auf ereignisunabhängige Kapazitäten, Kompetenzen und Systemprinzipien. Dazu zählen Diversität, Dezentralität, Modularität, aber auch skalenübergreifende Redundanzen, die es komplexen Systemen ermöglichen, auf vormals unbekannte, überraschend auftretende Störungen adäquat zu reagieren [Sch21], [Sch24]. Adaptive Resilienz ist beispielsweise im Bereich des *Resilience Engineering* zentral, dem es darum geht, die Funktionsweise komplexer Organisationen und der in ihnen handelnden Menschen besser zu verstehen. Resilienz ist dann ein Set an Handlungsweisen, die der Organisation dabei helfen, trotz der durch Komplexität und Unsicherheit definierten Situation sicher zu operieren [HWL06]. Dazu benötigen Organisationen – und komplexe Systeme an sich – vier Fähigkeiten: *responding*, *monitoring*, *learning* sowie *anticipating*. *Responding* umfasst die Fähigkeit, auf bekannte, reguläre und häufig auftretende Bedrohungen zu reagieren, hauptsächlich durch die Entwicklung standardisierter Lösungsmöglichkeiten. Beim *monitoring* geht es um die Beobachtung möglicher Bedrohungen, die in naher Zukunft zum Problem werden können. *Learning* ist die Fähigkeit, die richtigen Lehren aus den richtigen Erfahrungen zu ziehen [Hol09]. Und schließlich gehört im *Resilience Engineering* die Fähigkeit zur Antizipation als Kernelement zu Resilienz dazu. Hier geht es um Wissen über das, was zu erwarten sein könnte, also um Entwicklungen oder Bedrohungen, die weiter in der Zukunft liegen und sowohl in ihren Auswirkungen als auch Eintrittswahrscheinlichkeiten sehr viel unsicherer sind. Resiliente Systeme rechnen nicht nur mit regulären, sondern auch mit irregulären, bislang unbekannten Ereignissen und versuchen, die wahrscheinlichsten unwahrscheinlichen Ereignisse zu identifizieren [Hol09]. Dazu bedarf es der Fähigkeit, sich unterschiedliche Zukünfte vorzustellen und so mögliche künftige Systemzustände zu identifizieren, die es zu verhindern oder vermeiden gilt. Es stellt sich aber die Frage, was sich in komplexen Systemen wirklich antizipieren lässt und welche Konsequenzen die Antizipation unwahrscheinlicher, irregulärer Ereignisse für die Verteilung knapper Ressourcen zur Steigerung der Resilienz von Systemen hat? Unsicherheit heißt in diesem Zusammenhang nicht, dass die Zukunft gänzlich chaotisch und unabsehbar sein wird. Es heißt lediglich, dass sie sich nicht deterministisch bestimmen lässt. Antizipation als Teil von

Resilienz ist also sinnvoll und notwendig, wenn sie gleichzeitig ein Bewusstsein für ihre eigenen Grenzen umfasst. Punktgenaue Prognosen sind in komplexen Systemen nutzlos, stattdessen sollte mit Szenarien gearbeitet werden – die wiederum selbst nur ein Anstoß zur szenariounabhängigen Systemoptimierung sein können und sollen [Koh21]. Resilienz in komplexen Innovationsstrategien besteht demzufolge zum einen darin, wahrscheinliche und unwahrscheinliche Zukünfte zu antizipieren. Auf diese Weise entsteht sowohl eine Vorstellung davon wie die Zukunft aussehen könnte, als auch ein Bewusstsein dafür, dass es auch anders kommen könnte. Zum anderen bedeutet Resilienz genau deshalb, angesichts der inhärent unsicheren Zukunft gezielt die Anpassungsfähigkeit von Innovationsstrategien zu stärken. Diese Strategie lässt sich auch auf die Ebene der Organisation übertragen: Eine Antizipation der wahrscheinlichsten Zukünfte ist für jedes Unternehmen überlebenswichtig. Resilienz erfordert aber darüber hinaus auch ein aktives Bewusstsein – idealerweise auf Vorstandsebene – dafür, dass es auch anders kommen könnte. Ein solches Bewusstsein drückt sich dann in der Zuweisung knapper Ressourcen an Unternehmensbereiche aus, die nicht unmittelbar zu dessen Effizienz beitragen, sondern beispielsweise Pufferkapazitäten für unerwartete Ereignisse bereitstellen und Innovationen durch experimentelles Lernen ermöglichen.

3.3 Transformative Resilienz – *bounce beyond*

Für manche Herausforderungen könnte allerdings selbst eine ausgeprägte Anpassungsfähigkeit des Systems unzureichend sein. Deshalb wird Resilienz etwa in der sozialökologischen Resilienzforschung nicht nur im Hinblick auf Anpassungsfähigkeit, sondern auch als Werkzeug für, Bestandteil von oder sogar als Transformation selbst umfassend diskutiert [FCW+10], [Hol73]. Wenn Systeme sich anpassen, verändern sie zwar ihre erbrachte Systemleistung, behalten dafür aber den Kern ihrer Identität bei, der unter anderem in den Beziehungsmustern und Regeln der Interaktion zwischen den Systemelementen besteht [Fol06], [Wal20]. Allerdings kann eine reine Anpassung zu wenig sein, wenn das System an sich nicht nachhaltig tragbar ist. Anpassung läuft dann darauf hinaus, eine sich ständig verschlechternde Situation zu perpetuieren und so eine negative Transformation hervorzurufen [FCW+10]. Resilienz beinhaltet daher der sozialökologischen Forschung zufolge das Wissen darüber, wann eine bewusste Transformation des Systems in ein neues, weiterentwickeltes System notwendig ist, das die Leistungen zu erbringen im Stande ist, die vom ursprünglichen System so oder so ähnlich erbracht wurden [Wal20]. In diesem Sinne geht es bei transformativer Resilienz um ein *bounce beyond* dessen, was bisher im System möglich und vorstellbar war.

Transformationsfähigkeit geht also über Anpassungsfähigkeit hinaus. Es geht nicht „nur“ um das Vermögen eines Systems, sich selbst angesichts von Veränderungen zielgerichtet weiterzuentwickeln. Es geht vielmehr darum, aus dem bestehenden System heraus etwas völlig Neuartiges zu kreieren [Fol06], [WHC+04]. Die Komplexität von Systemen führt dazu, dass die Unterscheidung zwischen der Anpassung an Veränderungen, die noch innerhalb eines Systems erfolgt und der Anpassung an Veränderungen durch Transformation in ein neues System nicht immer eindeutig ist. Die Unterscheidung zwischen Anpassung und Transformation erfolgt zum Beispiel auch auf einer zeitlichen Ebene, auf der Anpassung als kurzfristige Reaktion und Transformation als langfristige Strategie verstanden wird [Lor13].

Wenn Resilienz auch ein Wissen über die Notwendigkeit zur Transformation beinhaltet, lässt sich unmittelbar eine Verbindung zur Antizipationsfähigkeit erkennen. Wissen über die dem System möglicherweise bevorstehende negative Transformation zu erlangen, versetzt das System erst in die Lage, dieser mit einer bewussten Transformation zu begegnen und so den negativen Wandel zu verhindern. Das prominenteste Beispiel dafür findet sich in der gesellschaftlichen Debatte zum Klimawandel, wenn es um die Frage geht, ob eine Anpassung an dessen Folgen innerhalb bestehender Systeme langfristig tragfähig ist oder ob es tiefgreifender Transformation hin zu einem neuen System bedarf [SSM+19]. Allerdings ist es bei diesem Beispiel wie auch generell schwierig, das zur Rechtfertigung einer Transformation notwendige Wissen in komplexen Systemen mit hinreichender Sicherheit zu erlangen. Es stellt sich die Frage, mit welchem Grad an Unsicherheit eine Vorhersage versehen sein darf, um einen radikalen Wandel hin zu einem System mit veränderter Identität, wie er definitionsgemäß einer Transformation zugrunde liegt, zu rechtfertigen. Transformative Resilienz kann daher für Innovationsstrategien sinnvoll und vielleicht sogar notwendig sein. Sie erfordert aber eine übergreifende Einbeziehung aller relevanten Stakeholder sowie transparente und faire Aushandlungsprozesse darüber, welche Herausforderungen mit welchem Grad an Unsicherheit Transformation rechtfertigen. Das gilt auch für die Innovationsfähigkeit auf Unternehmensebene. Als Beispiele sei auf Unternehmen verwiesen, deren Geschäftsmodell mit Produktion, Ausnutzung und/oder Verkauf von auf fossilen Rohstoffen basierender Energie zu tun hat. Für deren langfristigen Erfolg scheint eine transformative Veränderung unabdingbar. Während transformative Resilienz auf gesellschaftlicher Ebene darin bestehen kann, dass solche Unternehmen durch andere ersetzt werden, ist das für die betroffenen Unternehmen selbst offensichtlich keine sinnvolle Strategie. Hier wird also deutlich, dass unterschiedliche Ausprägungen von Resilienz auf unterschiedlichen Ebenen sich durchaus widersprechen können, jedenfalls nicht automatisch widerspruchsfrei zueinander sind.

4 Schritte in Richtung einer resilienten Innovationsstrategie

Die empirischen Befunde zur Wirksamkeit transformativer Innovationsstrategien sind insgesamt eher ernüchternd [HNB+22]. Nur in wenigen Fällen gelingt es, mittels wohldosierter Maßnahmen Innovationen so zu fördern und zu lenken, dass sie den zuvor postulierten transformativen Effekt entfalten. Eine zentrale Herausforderung, die dabei immer wieder ins Auge sticht, sind die komplexen Wechselwirkungen zwischen technologischen, ökonomischen und soziopolitischen Faktoren, die die beabsichtigten Wirkungen unterlaufen und nichtbeabsichtigte Nebenwirkungen nach sich ziehen können. Hinzu kommen in vielen Fällen externe Störfaktoren und Schocks, die transformative Innovationsprozesse verlangsamen, aufweichen oder gänzlich blockieren. Dies können sowohl ökonomische Schocks sein (beispielsweise eine unerwartete Rezession), als auch unvorhergesehene geopolitische Ereignisse (Regierungswechsel, bewaffnete Konflikte) oder technologische und ökologische Schocks (zum Beispiel disruptive Technologien, Extremwetterereignisse, Pandemien) [Cas22]. Diese Beschreibung der empirischen Realität entspricht in augenfälliger Weise den theoretischen Ausführungen zu Komplexität und Unsicherheit aus Kapitel 2. Ausgehend vom begrenzten Erfolg steuerungsoptimistischer Innovationsansätze erscheint daher die Integration von Resilienzkomponenten in bestehende Innovationsstrategien zielführend und notwendig [RWN+21]. Wir konzentrieren uns im Folgenden

auf drei zentrale Voraussetzungen für erfolgreiche transformative Innovationsstrategien: die Formulierung der Strategieziele, die Implementierung der Maßnahmen zur Zielerreichung, sowie die Bewertung und Evaluation der getroffenen Maßnahmen, einschließlich der dadurch initiierten Lernprozesse [WHL+21].

4.1 Zielformulierung

Im Zentrum transformativer Innovationsstrategien steht zumeist die Bewältigung zentraler gesellschaftlicher Herausforderungen, sogenannter *Grand Challenges*. Hierzu zählen ökologische Probleme wie der Klimawandel oder der Verlust der Artenvielfalt ebenso wie technologische oder soziale Entwicklungen, beispielsweise im Bereich Künstliche Intelligenz oder Migration. Aufgrund ihrer starken Ausrichtung auf ein definiertes Ziel wird in Anlehnung an die US-amerikanische Mondlandemission *Apollo* auch von missionsorientierten Innovationsstrategien gesprochen [JTW+21], [Maz18], [WHL+21]. In der einschlägigen Forschung besteht weitgehend Konsens, dass sich solche umfassenden und vielschichtigen Herausforderungen nur durch Veränderungen auf der Ebene soziotechnischer oder sozioökologischer Systeme bewältigen lassen [Lun24, SS18]. Transformative Innovationsstrategien verfolgen entsprechend, implizit oder explizit, das Ziel, solche Systeme durch zielgenaue Maßnahmen über längere Zeiträume in eine bestimmte, politisch gewünschte Richtung zu lenken.

Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist ein hohes Maß an Systemverständnis. Das heißt, es braucht eine vertiefte Analyse der zentralen Themenbereiche und Akteure sowie der Beziehungen und Abhängigkeiten innerhalb des Systems. Eine wertvolle Methodik stellt hierfür das *System Mapping* dar. Hierbei handelt es sich um einen partizipativen Prozess, mit dessen Hilfe ein Themenkomplex möglichst holistisch beleuchtet wird. Dabei sollten im Idealfall politische Entscheidungsträger:innen, thematische Expert:innen und Interessenvertreter mit Fachwissen in potenziell relevanten Bereichen zusammengebracht werden [CRF+20]. Dies erlaubt die systemische Komplexität zu erfassen, indem nichtlineare Beziehungen zwischen Variablen, Kumulationen, Rückkopplungsschleifen, Auswirkungen von Zeitverzögerungen in Systemen und unbeabsichtigte Folgen bestimmter Handlungen berücksichtigt werden [AOK+15]. Im Hinblick auf die Vorbereitung auf mögliche Störungen und Disruptionen erscheint das *System Mapping* auch als Vorstufe zu einer Vulnerabilitätsanalyse wertvoll, mittels derer mögliche Schwachstellen in Innovationsstrategien identifiziert werden können.

Gleichzeitig sind, wie in Kapitel 2 ausführlich dargestellt, komplexe Systeme genuin durch ein hohes Maß an Unsicherheit gekennzeichnet, die sich auch durch elaborierte Methodiken wie das *System Mapping* nicht gänzlich kontrollieren lässt. Entsprechend sollten Innovationsstrategien so formuliert werden, dass die Zielerreichung auch unter schwer planbaren Umweltbedingungen realistisch erscheint. Mittel- bis langfristige Strategieziele, die bereits bei mäßigen Kontextveränderungen, zum Beispiel einem wirtschaftlichen Abschwung oder einem Regierungswechsel, zweifelhaft erscheinen, zeugen von wenig systemischer Resilienz. Stattdessen sollten Ziele flexibel formuliert werden, zum Beispiel in dem für unterschiedliche Szenarien konditionale Ziele definiert werden. Außerdem sollten gerade bei längerfristigen Strategieprozessen ausreichende Zwischenziele formuliert werden [WHL+21].

Zu einem besseren Systemverständnis können auch die oben diskutierten Methoden zur Quantifizierung extremer, unsicherer Ereignisse beitragen, wie sie etwa mithilfe der Metapher der Drachenkönige aufgezeigt werden. Beispielsweise wurde unter Expert:innen immer wieder intensiv diskutiert, ob die weltweite Finanzkrise ab 2007 eher ein schwarzer Schwan oder ein Drachenkönig war [Ave13], [SO12]. Unabhängig vom Ergebnis solcher Diskussionen zeigen beide Metaphern klar die Grenzen einfacher, probabilistischer Risikoabschätzungen auf. Diese sind aber nach wie vor der Standard in vielen Bereichen von Wirtschaft und Gesellschaft und bilden daher teils eine unhinterfragte Grundlage auch für Innovationsstrategien. Demgegenüber zeigt unsere Diskussion klar eine Notwendigkeit, Unsicherheit auch methodisch, formal und mathematisch in die Entwicklung von langfristigen Innovationsstrategien mit aufzunehmen.

4.2 Implementierung

Wenn wir davon ausgehen müssen, dass unser Verständnis komplexer Innovations- und Transformationsprozesse stets beschränkt bleiben muss und wir zudem jederzeit mit externen Störungen und Disruptionen rechnen müssen, stellt dies auch hohe Anforderungen an die Umsetzungsebene der Innovationsförderung. Gefragt ist vor allem ein hohes Maß an Flexibilität und Anpassungsfähigkeit. Wichtig erscheint hierfür zunächst ein umfassendes und detailliertes Monitoring, um die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen verfolgen und Fehlentwicklungen frühzeitig erkennen zu können. Dieser Ansatz erfordert eine erhebliche Menge an Daten, die gesammelt und analysiert werden müssen.

Ein besonderes Augenmerk sollte dabei auf der Erkennung und Adressierung möglicher unbedachtigter negativer Nebenwirkungen liegen. Solche *unintended consequences* sind bei Eingriffen in komplexe Systeme eher der Normalfall als die Ausnahme, auch wenn sie bislang nur wenig Aufmerksamkeit in der Innovationsforschung erhalten haben [Mer36], [SGS+09]. Empirisch zeigt sich häufig, dass Akteure dabei versagen, zielgerichtet in komplexe Systeme einzugreifen. Allerdings treten dabei wiederholt dieselben Fehlermechanismen auf, etwa die Unfähigkeit, bestimmte Annahmen in dynamischen Systemen über die Zeit anzupassen oder die Nichtbeachtung zeitverzögerter Reaktionen des Systems [DW10], [SO12]. Um negative Nebenwirkungen zu minimieren, braucht es effektive Feedback-Mechanismen, um Informationen über beobachtete Nebenwirkungen schnell über die unterschiedlichen Hierarchieebenen hinweg weiterzuleiten und korrigierende Maßnahmen einleiten zu können.

Einen alternativen Ansatzpunkt für flexible und anpassungsfähige Innovationsstrategien stellt das Prinzip der Selbstorganisation dar, auf dem viele adaptive und transformative Resilienzansätze basieren. Selbstorganisation ermöglicht die effektive Verarbeitung von Umweltsignalen (einschließlich schwacher Signale) und fördert experimentelle Lernprozesse unter den Bedingungen hoher Systemkomplexität und großer Unsicherheit [CWA+01], [FBC02]. Unter diesem Gesichtspunkt sind zum Beispiel Transformationslabore und Reallabore vielversprechend, welche die dezentrale Entwicklung von kreativen und innovativen Lösungen für gesellschaftspolitische Herausforderungen unterstützen können. Diese Freiheit für experimentelle Lern- und Innovationsprozesse kann eine wertvolle Ressource sein, insbesondere in Krisenzeiten, um sich schnell auf neue Herausforderungen einzustellen [PP21].

4.3 Bewertung

Schließlich bieten Resilienzansätze auch eine Chance, die gängigen Prinzipien bei der Bewertung von Innovationsstrategien zu hinterfragen. In den letzten Jahrzehnten waren Innovationsstrategien stark entlang von Effizienzkriterien ausgerichtet. Effizienz steht jedoch in einem Spannungsfeld zu Resilienz [Sch21], [Woo05]. Dieses Spannungsfeld besteht zum einen in der Fokussierung auf unterschiedliche Zeitskalen und zum anderen in der Entscheidung über den Einsatz knapper Ressourcen. Ein effizienzzentriertes Vorgehen orientiert sich häufig an relativ kurzfristigen Erfolgsfaktoren sowie daran, den Output bei einem gegebenen Input zu maximieren. Resilienz hingegen erfordert einen Fokus auf die mittlere und lange Sicht und darauf, dass inhärent unsicher ist, was in diesem Zeitraum passieren wird [Woo05]. Um dem System einen Leistungserhalt bei Unsicherheit zu ermöglichen, braucht es Spielräume in Form ungenutzter Ressourcen, die flexibel zum Einsatz kommen können, wenn das Eintreten unerwarteter Ereignisse es erfordert [Sch23], [Sch21]. Wenn solche Spielräume aus einem Effizienzgedanken heraus bereits aufgebraucht wurden, steht das der systemischen Resilienz diametral entgegen. Gleichzeitig darf es auch kein Zuviel an ungenutzten Ressourcen geben, da ineffiziente Systeme langfristig ebenfalls nicht tragbar sind [Woo05]. Entscheidend ist es hier, eine sinnvolle Balance zwischen Effizienz und Resilienz zu finden, die aber wiederum – aufgrund der Komplexität der Systeme – dynamisch ist und daher ebenfalls über die Zeit flexibel anpassbar bleiben muss.

In jüngerer Zeit wird bei der Bewertung von Innovationsstrategien zunehmend nicht nur auf ein hohes Maß an Effizienz beim Einsatz der verwendeten Mittel Wert gelegt, sondern darüber hinaus versucht, die Wirkung einzelner Maßnahmen auf die strategischen Ziele selbst zu messen und zu evaluieren. Diese *Impact*-Orientierung soll sicherstellen, dass Maßnahmen ein hohes Maß an Direktionalität entfalten, das heißt das System nachweislich in die gewünschte Richtung verändern [HNB+22]. Aus der Perspektive der Resilienzforschung erscheint eine einseitige Ausrichtung der Bewertung von Innovationsstrategien auf die Wirkungsebene, wie sie zunehmend zu beobachten ist, nicht unproblematisch. Wie oben diskutiert sind komplexe Systeme von Emergenz und Unsicherheit geprägt. Entsprechend bedeutet das Ausbleiben der erhofften Wirkung einer Maßnahme nicht notwendigerweise, dass ein Fehler vorliegt. Stattdessen sollte stärker die Frage ins Zentrum der Bewertung rücken, inwiefern es Fördermaßnahmen gelingt, Potentiale für Innovationen zu schaffen. Wichtig ist hierfür in erster Linie der Aufbau diverser Kompetenzen, Ressourcen und Fähigkeiten, aus denen sich Anpassung und experimentelles Lernen nähren können. Darüber hinaus braucht es auch *Governance*-Strukturen, die es ermöglichen, Erfahrungen in die Weiterentwicklung von Innovationsstrategien einfließen zu lassen. Die Fähigkeit, aus Erfahrungen zu lernen, ob sie nun angenehm sind oder nicht, beruht auf einer offenen Kultur der Risikobereitschaft, die auch das Scheitern einzelner Instrumente und Aktivitäten zulässt. Eine ehrliche und transparente Bestandsaufnahme dessen, was funktioniert und was nicht, ist in diesem Zusammenhang unabdinglich.

5 Ausblick

Der vorliegende Artikel hat untersucht, inwiefern unterschiedliche Ansätze der Resilienzforschung helfen können, Innovationsstrategien weiterzuentwickeln und weniger anfällig für externe Störungen und Disruptionen zu gestalten. Wie dargelegt zielen heutige Innovationsstrategien in großen Teilen auf die Transformation komplexer soziotechnischer beziehungsweise sozioökologischer Systeme. Aus Komplexitätstheoretischer Perspektive erscheint es jedoch fraglich, inwieweit die Entwicklung solcher Systeme und deren Rahmenbedingungen über längere Zeiträume (innovationspolitische Strategien versuchen oft, Zeiträume von zehn bis zwanzig Jahren oder mehr zu planen) präzise vorhergesagt werden können. Dies bedeutet nicht, dass es unmöglich ist, langfristige Ziele zu definieren und die Innovationspolitik darauf auszurichten; das Ziel der Klimaneutralität bis 2050 macht das sehr deutlich. Vielmehr erscheint es geboten, keinen zu starren Plänen zur Zielerreichung zu folgen, sondern Veränderungen und Anpassungen als notwendig zu akzeptieren. Der Resilienzansatz steht damit nicht grundsätzlich politischer Steuerung entgegen. Eingriffe ins System sollten aber zum einen so gestaltet werden, dass sie nicht unumkehrbar sind und dass sie stärker die Entwicklung szenariounabhängiger Problemlösungskompetenzen fördern. Und zum anderen braucht es ein grundlegendes Verständnis von Komplexität und eine grundlegende Akzeptanz der Grenzen von Kontrolle und Planbarkeit bei politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entscheidungsträger:innen [Cha14]. Aus der Diskussion ergeben sich daher zusammenfassend die folgenden Thesen zur Gestaltung resilenter Innovationsstrategien:

- Die Einführung von Werkzeugen wie *System Mapping* kann dazu beitragen, relevantes Wissen über nichtlineare Beziehungen, unintended Nebenwirkungen und Feedbackschleifen in komplexen Systemen als Voraussetzung für adaptive und transformative Resilienz zu erlangen.
- Innovationsstrategien sollten flexible, konditionale und über die Zeit veränderliche Zielformulierungen enthalten.
- Aktuelle wissenschaftliche Methoden zur Quantifizierung und Formalisierung von Unsicherheit sollten als Werkzeuge für ein besseres Verständnis von Dynamiken in komplexen Systemen bei der Formulierung von Innovationsstrategien genutzt werden.
- Um die Resilienz von Innovationsstrategien zu erhöhen, braucht es Mechanismen zur schnellen Erkennung negativer unintended Nebenwirkungen bei der Implementierung von Innovationsmaßnahmen.
- Adaptive und transformative Resilienz erfordern die Erhöhung der Selbstorganisationsfähigkeit komplexer Systeme, was beispielsweise durch Werkzeuge wie Reallabore unterstützt werden kann.
- Resiliente Innovationsstrategien erfordern ein dynamisches Austarieren zwischen effizientem Einsatz knapper Ressourcen und der notwendigen Vorhaltung von Spielräumen und Pufferkapazitäten zum erfolgreichen Umgang mit unerwarteten, disruptiven Ereignissen.
- Die Förderung der Lernfähigkeit in komplexen Systemen durch die Entwicklung einer offenen Fehlerkultur und die Vermeidung einer reinen Impact-Orientierung trägt zur Resilienz bei.

Diese Thesen können als Leitlinien für die Entwicklung resilenter(er) Innovationsstrategien dienen. Gleichzeitig ist uns bewusst, dass auch ein derartiger Resilienz-Ansatz Grenzen hat.

Etwa wenn flexible, konditionale Zielformulierungen drohen beliebig zu werden und damit keine handlungsleitende Wirkung mehr entfalten können. Oder wenn die Einführung komplexitätsinformierter Werkzeuge selbst die Komplexität innerhalb von Systemen oder Unternehmen soweit erhöht, dass die Handlungsfähigkeit abnimmt. Modellbasierte Vereinfachungen der überkomplexen Realität sind auch weiterhin so notwendig wie sinnvoll, könnten aber durch einen zu starken Fokus auf die hier geschilderten Resilienzansätze eine implizite Delegitimierung erfahren, die problematisch ist. Nicht zuletzt löst auch der reine Appell für das Vorhalten von Pufferkapazitäten nicht das Grunddilemma der Notwendigkeit einer möglichst sinnvollen – resilienten?, effizienten?, effektiven? – Nutzung definitionsgemäß knapper Ressourcen.

Im Hinblick auf die Verknüpfung zwischen Resilienz und Antizipation folgt daraus für uns, dass Fähigkeiten zur Vorausschau auch bei einer stärkeren Ausrichtung auf Resilienzzielen nicht an Bedeutung verlieren werden, selbst wenn wir auch für die nächsten Jahre eher mit einer weiteren Zunahme an systemischer Komplexität und Unsicherheit rechnen müssen. Antizipation ist ein wichtiger Baustein von Resilienz, zumindest wenn man kein rein absorptives Resilienzverständnis zu Grunde legt. Im Rahmen adaptiver und transformativer Resilienzansätze kann und muss Antizipation eine wichtige Rolle dabei spielen, langfristig tragbare, nachhaltige Innovationsstrategien zu entwickeln [KEF24]. Entsprechend sollten Vorausschau-Instrumente gestärkt und die daraus gewonnenen Erkenntnisse besser in den breiteren politischen Prozess integriert werden [RLH+21]. Auf diese Weise können vorausschauende Innovationsstrategien entwickelt werden, die einerseits zielgerichtet die großen Herausforderungen unserer Zeit adressieren, gleichzeitig aber auch die Komplexität der zu verändernden Systeme sowie unbeabsichtigte Wechselwirkungen und Nebeneffekte berücksichtigen und auch bei unvorhergesehenen Störungen und Disruptionen nicht aus der Bahn geworfen werden.

Literatur

- [ABD+18] ALTHERR, L. C.; BRÖTZ, N.; DIETRICH, I.; GALLY, T.; GEßNER, F.; KLOBERDANZ, H.; LEISE, P.; PELZ, P. F.; SCHLEMMER, P. D.; SCHMITT, A.: Resilience in Mechanical Engineering - A Concept for Controlling Uncertainty during Design, Production and Usage Phase of Load-Carrying Structures. *Applied Mechanics and Materials*, (885), 2018, S. 187–198
- [AEH05] AHMED, E.; ELGAZZAR, A. S.; HEGAZI, A. S.: On complex adaptive systems and terrorism. *Physics Letters A*, (337)1-2, 2005, S. 127–129
- [Ale13] ALEXANDER, D.: Resilience and disaster risk reduction: an etymological journey. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, (13)11, 2013, S. 2707–2716
- [AOK+15] ALLENDER, S.; OWEN, B.; KUHLBERG, J.; LOWE, J.; NAGORCKA-SMITH, P.; WHELAN, J.; BELL, C.: A Community Based Systems Diagram of Obesity Causes. *PloS one*, (10)7, 2015, e0129683
- [Ave11] AVEN, T.: On some recent definitions and analysis frameworks for risk, vulnerability, and resilience. *Risk analysis an official publication of the Society for Risk Analysis*, (31)4, 2011, S. 515–522
- [Ave13] AVEN, T.: On the meaning of a black swan in a risk context. *Safety Science*, (57), 2013, S. 44–51
- [Ban02] BANKES, S. C.: Tools and techniques for developing policies for complex and uncertain systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, (99 Suppl 3)Suppl 3, 2002, S. 7263–7266

- [BCE+03] BRUNEAU, M.; CHANG, S. E.; EGUCHI, R. T.; LEE, G. C.; O'ROURKE, T. D.; REINHORN, A. M.; SHINOZUKA, M.; TIERNEY, K.; WALLACE, W. A.; WINTERFELDT, D.: A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. *Earthquake Spectra*, (19)4, 2003, S. 733–752
- [BEK+16] BLUM, S.; ENDREß, M.; KAUFMANN, S.; RAMPP, B.: Soziologische Perspektiven. In: Wink, R. (Hrsg.): *Multidisziplinäre Perspektiven der Resilienzforschung*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2016, S. 151–177
- [BHK18] BOIN, A.; HART, P. '.; KUIPERS, S.: THE CRISIS APPROACH. In: Rodriguez, H.; Donner, W.; Trainor, J. E. (Hrsg.): *Handbook of Disaster Research. Handbooks of Sociology and Social Research*. Springer International Publishing, Cham, 2018, S. 23–38
- [CAH+17] CONNELLY, E. B.; ALLEN, C. R.; HATFIELD, K.; PALMA-OLIVEIRA, J. M.; WOODS, D. D.; LINKOV, I.: Features of resilience. *Environment Systems and Decisions*, (37)1, 2017, S. 46–50
- [Cas22] CASULA, M.: Implementing the transformative innovation policy in the European Union: how does transformative change occur in Member States? *European Planning Studies*, (30)11, 2022, S. 2178–2204
- [Cha14] CHANDLER, D.: Beyond neoliberalism: resilience, the new art of governing complexity. *Resilience*, (2)1, 2014, S. 47–63
- [CLQ+18] CAI, H.; LAM, N. S.; QIANG, Y.; ZOU, L.; CORRELL, R. M.; MIHUNOV, V.: A synthesis of disaster resilience measurement methods and indices. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, (31), 2018, S. 844–855
- [CRF+20] CAVILL, N.; RICHARDSON, D.; FAGHY, M.; BUSSELL, C.; RUTTER, H.: Using system mapping to help plan and implement city-wide action to promote physical activity. *Journal of public health research*, (9)3, 2020, S. 1759
- [CWA+01] CARPENTER, S.; WALKER, B.; ANDERIES, J. M.; ABEL, N.: From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? *Ecosystems*, (4)8, 2001, S. 765–781
- [DKS15] DUNN CAVELTY, M.; KAUFMANN, M.; SØBY KRISTENSEN, K.: Resilience and (in)security: Practices, subjects, temporalities. *Security Dialogue*, (46)1, 2015, S. 3–14
- [DW10] DEKKER, S. W.; WOODS, D. D.: The High Reliability Organization Perspective: Human Factors in Aviation. Elsevier, 2010, S. 123–143
- [EB18] EDLER, J.; BOON, W. P.: ‘The next generation of innovation policy: Directionality and the role of demand-oriented instruments’—Introduction to the special section. *Science and Public Policy*, (45)4, 2018, S. 433–434
- [ER14] EVANS, B.; REID, J.: *Resilient life: The art of living dangerously*. Polity, Cambridge, UK, 2014
- [Eur12] EUROPEAN COMMISSION: The EU approach to resilience: learning from food security crises. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council, COM (2012) 586 final, 2012
- [Fag18] FAGERBERG, J.: Mobilizing innovation for sustainability transitions: A comment on transformative innovation policy. *Research Policy*, (47)9, 2018, S. 1568–1576
- [FBC02] FOLKE, C.; BERKES, F.; COLDING, J. (EDS.): *Navigating social-ecological systems – Building resilience for complexity and change*. Cambridge University Press, Cambridge, 2002
- [FCE+02] FOLKE, C.; CARPENTER, S.; ELMQVIST, T.; GUNDERSON, L. H.; HOLLING, C. S.; WALKER, B.: Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. *Ambio*, (31)5, 2002, S. 437–440
- [FCW+10] FOLKE, C.; CARPENTER, S. R.; WALKER, B.; SCHEFFER, M.; CHAPIN, T.; ROCKSTRÖM, J.: Resilience Thinking. *Ecology and Society*, (15)4, 2010
- [Fol06] FOLKE, C.: Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, (16)3, 2006, S. 253–267

- [GKR+21] GHOSH, B.; KIVIMAA, P.; RAMIREZ, M.; SCHOT, J.; TORRENS, J.: Transformative outcomes: assessing and reorienting experimentation with transformative innovation policy. *Science and Public Policy*, (48)5, 2021, S. 739–756
- [GS08] GRABOWSKI, F.; STRZALKA, D.: Simple, complicated and complex systems — the brief introduction: 2008 Conference on Human System Interactions. IEEE, 2008, S. 570–573
- [HNB+22] HADDAD, C. R.; NAKIĆ, V.; BERGEK, A.; Hellsmark, H.: Transformative innovation policy: A systematic review. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, (43), 2022, S. 14–40
- [Hol09] HOLLNAGEL, E.: The Four Cornerstones of Resilience Engineering. In: Hollnagel, E.; Nemeth, C. P.; Dekker, S. (Hrsg.): *Resilience engineering perspectives*. Ashgate studies in resilience engineering, CRC Press, Boca Raton, Fla., 2009, S. 117–133
- [Hol11] HOLLNAGEL, E.: Prologue: The Scope of Resilience Engineering. In: Hollnagel, E.; Pariès, J.; Woods, D. D.; Wreathall, J. (Hrsg.): *Resilience engineering in practice: A guidebook*. Ashgate studies in resilience engineering, Ashgate, Farnham, 2011, -
- [Hol14] HOLLAND, J. H.: *Complexity: A Very Short Introduction*. Oxford University PressOxford, 2014
- [Hol73] HOLLING, C. S.: Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, (4)1, 1973, S. 1–23
- [HWL06] HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.D.; LEVESON, N. (HRSG.): *Resilience engineering: Concepts and precepts*. Ashgate, Aldershot, England, 2006
- [Jos18] JOSEPH, J.: *Varieties of Resilience: Studies in Governmentality*. Cambridge University Press, 2018
- [JTW+21] JANSSEN, M. J.; TORRENS, J.; WESSELING, J. H.; WANZENBÖCK, I.: The promises and premises of mission-oriented innovation policy—A reflection and ways forward. *Science and Public Policy*, 2021
- [KEF24] KIMPELER, S.; ERDMANN, L.; FREUDENBERG, C.: *Transformative resilience: the key to governing Europe's sustainability transitions in the polycrisis*. Fraunhofer Society, 2024
- [KN93] KNEER, G.; NASSEHI, A.: *Niklas Luhmanns Theorie sozialer Systeme: eine Einführung*. Uni-Taschenbücher, W. Fink, München, 1993
- [Koh21] KOHLER, K.: *Strategic Foresight: Knowledge, Tools, and Methods for the Future*. ETH Zurich, 2021
- [Krü19] KRÜGER, M.: Building Instead of Imposing Resilience: Revisiting the Relationship Between Resilience and the State. *International Political Sociology*, (13)1, 2019, S. 53–67
- [LBC+14] LINKOV, I.; BRIDGES, T.; CREUTZIG, F.; DECKER, J.; FOX-LENT, C.; KRÖGER, W.; LAMBERT, J. H.; LEVERMANN, A.; MONTREUIL, B.; NATHWANI, J.; NYER, R.; RENN, O.; SCHARTE, B.; SCHEFFLER, A.; SCHREURS, M.; THIEL-CLEMEN, T.: Changing the resilience paradigm. *Nature Climate Change*, (4)6, 2014, S. 407–409
- [LDB+16] LINDNER, R.; DAIMER, S.; BECKERT, B.; HEYEN, N.; KOEHLER, J.; TEUFEL, B.; WARNKE, P.; WYDRA, S.: Addressing directionality: Orientation failure and the systems of innovation heuristic. Towards reflexive governance. *Fraunhofer ISI Discussion Papers - Innovation Systems and Policy Analysis*. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe, 2016
- [Lem02] LEMPERT, R. J.: A new decision sciences for complex systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, (99 Suppl 3)Suppl 3, 2002, S. 7309–7313
- [LHJ+24] LAWRENCE, M.; HOMER-DIXON, T.; JANZWOOD, S.; ROCKSTÖM, J.; RENN, O.; DONGES, J. F.: Global polycrisis: the causal mechanisms of crisis entanglement. *Global Sustainability*, (7), 2024
- [LNS+21] LEISE, P.; NIESSEN, P.; SCHULTE, F.; DIETRICH, I.; KIRCHNER, E.; PELZ, P. F.: Potentials and Challenges of Resilience as a Paradigm for Designing Technical Systems. In: Pelz, P. F.; Groche, P. (Hrsg.): *Uncertainty in Mechanical Engineering. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer International Publishing, Cham, 2021, S. 47–58

- [Lor13] LORENZ, D. F.: The diversity of resilience: contributions from a social science perspective. *Natural Hazards*, (67)1, 2013, S. 7–24
- [Luh95] LUHMANN, N.: *Social systems*. Stanford University Press, Stanford, 1995
- [Lun24] LUNDVALL, B.-Å.: Transformative innovation policy – lessons from the innovation system literature. *Innovation and Development*, (14)2, 2024, S. 297–314
- [Maz18] MAZZUCATO, M.: Mission-oriented innovation policies: challenges and opportunities. *Industrial and Corporate Change*, (27)5, 2018, S. 803–815
- [Mer36] MERTON, R.: The unintended effects of purposive social action. *American sociological review*, (1)6, 1936, S. 894–904
- [Mit09] MITCHELL, M.: *Complexity: A guided tour*. Oxford university press, 2009
- [MVG+06] MARTIN, D.; VOB, A.; GURR, C.; PROCTER, R.; SLACK, R.; HARTSWOOD, M.: Explicating Failure. In: Harper, R.; Diaper, D.; Sanger, C.; Clarke, K.; Hardstone, G.; Rouncefield, M.; Sommerville, I. (Hrsg.): *Trust in Technology: A Socio-Technical Perspective*. Computer Supported Cooperative Work, Springer Netherlands, Dordrecht, 2006, S. 123–145
- [NMS+07] NARZISI, G.; MINCER, J. S.; SMITH, S.; MISHRA, B.: Resilience in the Face of Disaster: Accounting for Varying Disaster Magnitudes, Resource Topologies, and (Sub)Population Distributions in the PLAN C Emergency Planning Tool. In: Mařík, V.; Vyatkin, V.; Colombo, A. W. (Hrsg.): *Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing*. Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2007, S. 433–446
- [PP21] PAUNOV, C.; PLANES-SATORRA, S.: Science, technology and innovation in the time of COVID-19, 99, 2021
- [PSS22] PACTHOD, D.; SCHIVE, M.; SMIT, S.: White Paper Resilience for sustainable, inclusive growth. McKinsey & Company, 2022
- [RLH+21] ROTH, F.; LINDNER, R.; HUFNAGL, M.; WITTMANN, F.; YORULMAZ, M.: Lessons for Future Mission-oriented Innovation Policies. Fraunhofer ISI, 2021
- [RWN+21] ROTH, F.; WARNEKE, P.; NIESSEN, P.; EDLER, J.: Systemische Resilienz: Einsichten aus der Innovationsforschung; Insights into systemic resilience from innovation research. Perspektiven - Policy Brief. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe, 2021
- [SA11] STEEN, R.; AVEN, T.: A risk perspective suitable for resilience engineering. *Safety Science*, (49)2, 2011, S. 292–297
- [SB20] SIEGENFELD, A. F.; BAR-YAM, Y.: An Introduction to Complex Systems Science and Its Applications. *Complexity*, (2020), 2020, S. 1–16
- [Sch21] SCHARTE, B.: *Resilience Engineering*. Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, 2021
- [Sch23] SCHARTE, B.: Resilience Misunderstood? Commenting on Germany's National Security Strategy. *European Journal for Security Research*, 2023
- [Sch24] SCHARTE, B.: Discussing trust and resilience: The need for a healthy dose of distrust. *Risk, Hazards & Crisis in Public Policy*, 2024, rhc3.12287
- [SG24] SCORDATO, L.; GULBRANDSEN, M.: Resilience perspectives in sustainability transitions research: A systematic literature review. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, (52), 2024, S. 100887
- [SGS+09] SVEIBY, K.-E.; GRIPENBERG, P.; Seggerantz, B.; Eriksson, A.; Aminoff, A.: Unintended and undesirable consequences of innovation. XX ISPIM conference The Future of Innovation Vienna, Wien, 2009
- [SO12] SORNETTE, D.; OUILLON, G.: Dragon-kings: Mechanisms, statistical methods and empirical evidence. *The European Physical Journal Special Topics*, (205)1, 2012, S. 1–26
- [SS18] SCHOT, J.; STEINMUELLER, W. E.: Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change. *Research Policy*, (47)9, 2018, S. 1554–1567

- [SSM+19] SACHS, J. D.; SCHMIDT-TRAUB, G.; MAZZUCATO, M.; MESSNER, D.; NAKICENOVIC, N.; ROCKSTRÖM, J.: Six Transformations to achieve the Sustainable Development Goals. *Nature Sustainability*, (2)9, 2019, S. 805–814
- [ST16] SCHARTE, B.; THOMA, K.: Resilienz – Ingenieurwissenschaftliche Perspektive. In: Wink, R. (Hrsg.): *Multidisziplinäre Perspektiven der Resilienzforschung*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2016, S. 123–150
- [Tal10] TALEB, N. N.: *The black swan: The impact of the highly improbable*. 2. Auflage, Random House Trade Paperbacks, New York, NY, 2010
- [TPF21] TARIQ, H.; PATHIRAGE, C.; FERNANDO, T.: Measuring community disaster resilience at local levels: An adaptable resilience framework. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, (62), 2021, S. 1–16
- [TSH+16] THOMA, K.; SCHARTE, B.; HILLER, D.; LEISMANN, T.: Resilience Engineering as Part of Security Research: Definitions, Concepts and Science Approaches. *European Journal for Security Research*, (1)1, 2016, S. 3–19
- [Urr05] URRY, J.: The Complexity Turn. *Theory, Culture & Society*, (22)5, 2005, S. 1–14
- [UZ14] UMMENHOFER, T.; ZINKE, T.: Nachhaltigkeit und Resilienz – Zukünftige Kriterien bei der integrativen Bewertung von Brücken. *Stahlbau*, (83)2, 2014, S. 74–82
- [Wal20] WALKER, B.: Resilience: what it is and is not. *Ecology and Society*, (25)2, 2020
- [WBR22] WALZ, R.; BODENHEIMER, M.; ROTH, F.: Zwei Jahre Corona-Pandemie: Lehren für gesellschaftliche Resilienz und die Nachhaltigkeitstransformation, 2022
- [WHC+04] WALKER, B.; HOLLING, C. S.; CARPENTER, S.; KINZIG, A. P.: Resilience, Adaptability and Transformability in Social-ecological Systems. *Ecology and Society*, (9)2, 2004
- [WHL+21] WITTMANN, F.; HUFNAGL, M.; LINDNER, R.; ROTH, F.; EDLER, J.: Governing varieties of mission-oriented innovation policies: A new typology. *Science and Public Policy*, (48)5, 2021, S. 727–738
- [Woo05] WOODS, D. D.: Creating Foresight: Lessons for Enhancing Resilience from Columbia. In: Starbuck, W. H.; Farjoun, M. (Hrsg.): *Organization at the limit: Lessons from the Columbia disaster*. Blackwell Pub, Malden, MA, 2005, S. 289–308
- [Woo19] WOODS, D. D.: Essentials of resilience, revisited. In: Ruth, M.; Goessling-Reisemann, S. (Hrsg.): *Handbook on Resilience of Socio-Technical Systems*. Edward Elgar Publishing, 2019, S. 52–65

Autoren

Dr. Florian Roth ist Senior Researcher an der Zürcher Hochschule für Angewandten Wissenschaften (ZHAW). Er hat Politikwissenschaft, Geschichte und Medienwissenschaft an der Universität Konstanz studiert. In seiner Promotion beschäftigte er sich mit der Frage, wie politische Akteure Entscheidungen unter Bedingungen hoher Komplexität und Unsicherheit treffen und diese kommunizieren. Anschliessend arbeitete er in unterschiedlichen Forschungsprojekten an der ETH Zürich sowie am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) in Karlsruhe. Der Fokus seiner Arbeit bildet die Verbindung von Resilienz, Innovation und Nachhaltigkeit.

Dr. Benjamin Scharte ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Internationalen Zentrum für Ethik in den Wissenschaften (IZEW) der Eberhard-Karls-Universität Tübingen. Er forscht zu Resilienz, ziviler Sicherheit, Bevölkerungsschutz und zum Schutz kritischer Infrastrukturen aus system- und komplexitätstheoretischer Sicht. Bis März 2022 leitete Benjamin Scharte das Risk and Resilience Team am Center for Security Studies (CSS) der ETH Zürich. Von 2012 bis 2019

war er Teil des strategischen Managements des Fraunhofer-Instituts für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut (EMI) in Freiburg, sowie von 2015 bis 2019 zusätzlich Leiter der Geschäftsstelle des Leistungszentrums Nachhaltigkeit Freiburg.

Generative künstliche Intelligenz in der Strategie – Eine retrospektive Betrachtung am Beispiel Miele Business Unit Laundry

**Dr.-Ing. Marvin Drewel^{1,*}, Dr. Dominik Fischer^{2,*}, Dr. Anna Gehring^{2,*},
Dr.-Ing. Christian Koldewey^{3,*}, Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu³**

¹ Miele & Cie. KG, marvin.drewel@miele.com

² UNITY AG, dominik.fischer@unity.de, anna.gehring@unity.de

³ Universität Paderborn & Fraunhofer IEM, christian.koldewey@hni.upb.de,
roman.dumitrescu@hni.upb.de

* die Autoren sind alphabetisch geordnet und haben gleichwertige Beiträge geleistet

Zusammenfassung

Eine gute Strategie ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor, um in der Wettbewerbsarena der Zukunft zu reüssieren. Die Entwicklung von Strategien ist ein intellektueller als auch gruppendifamischer Prozess. Durch das Aufkommen von generativer künstlicher Intelligenz (engl. generative artificial intelligence, GAI) – also von KI, die darauf trainiert ist, Inhalte zu erstellen – werden beide Perspektiven auf den Strategieprozess beeinflusst und es ergeben sich völlig neue Nutzenpotenziale.

In diesem Beitrag untersuchen wir ein Strategieprojekt als Case Study, welches wir gemeinsam für die Miele Business Unit Laundry durchgeführt haben. Wir analysieren retrospektiv, an welchen Stellen GAI signifikante Mehrwerte generiert, um zu zeigen, wie ein zweckmäßiger Einsatz von GAI zukünftige Strategieprozesse bereichern kann. Dazu vergleichen wir unsere Erkenntnisse aus dem Projekt mit Aussagen, die GAI-Tools, wie z.B. CHATGPT, generieren.

Die Case Study umfasst die Ausarbeitung konsistenter Strategieoptionen für die Etablierung eines Business Ecosystems, um Geschäft abseits des klassischen Kerngeschäfts aufzubauen. Zu diesem Zweck wurden Zukunftsszenarien ausgearbeitet, die Marktleistungen relevanter Wettbewerber untersucht und eine erfolgversprechende Zukunftsvision entwickelt. Zur Operationalisierung der Strategie wurde in einem workshopbasierten Vorgehen eine Organisationseinheit definiert. Es wurden Fragen der Organisationsstruktur, Prozesse und Entscheidungswege zur Erschließung des Neugeschäfts beantwortet. Die neue Organisationseinheit dient als Drehzscheibe für die Umsetzung von Innovationen und befasst sich u.a. gezielt mit der Integration von Partnerunternehmen in den Entwicklungs- und Produktionsprozess.

Unsere Analyse zeigt, dass GAI die Strategiearbeit in vergleichbaren zukünftigen Projekten sinnvoll unterstützen kann. Die GAI kann beispielsweise bei der Identifikation von Wettbewerbern helfen oder Impulse für die Identifikation strategischer Variablen liefern. Wir folgern, dass GAI in komplexen Arbeitsprozessen Effizienzgewinne und eine Verbesserung der Resultate

verspricht. Wir bestätigen damit vorangegangene Studien zu GAI am Beispiel der Strategiearbeit. Die Reflektion über das Strategieprojekt zeigt ferner, dass ein strukturierter, methodengeleiteter Strategieprozess wesentlich dazu beiträgt, GAI gezielt einzusetzen, Entscheidungen transparent zu machen und Legitimation für die entwickelte Strategie zu schaffen. Gleichzeitig zeigen sich aber auch die derzeitigen Limitationen der Technologie. Strategen müssen diese klar vor Augen haben, um auch bei GAI-Einsatz Entscheidungen von hoher Qualität ableiten zu können und nicht Opfer von strategischen Allgemeinplätzen, Falschinformationen oder Halluzinationen zu werden.

Schlüsselworte

Strategieentwicklung, Generative Künstliche Intelligenz (GAI), strategische Kompetenzen, Wettbewerbsanalyse, Wachstumsfelder, Effizienzgewinne

Generative Artificial Intelligence in strategy – A retrospective analysis using the case of the Miele Business Unit Laundry Care

Abstract

A good strategy is an essential success factor for excelling in the competitive arena of the future. Strategy development should be understood as both an intellectual and a group dynamic process. The advent of generative artificial intelligence (GAI) affects both perspectives on the strategy process, offering entirely new potential benefits.

In this article, we examine a strategy project as a case study, which we conducted together for the Miele Business Unit Laundry Care. We retrospectively analyze where GAI could have generated significant added value to demonstrate how the purposeful use of GAI can enrich future strategy processes. For this purpose, we compare our project insights with statements generated by GAI tools, such as CHATGPT.

The case study involves developing consistent strategy options for establishing a business ecosystem to build business beyond the traditional core operations. This included developing future scenarios, analyzing market performance of relevant competitors, and creating a promising future vision. To operationalize the strategy, an organizational unit was defined through a workshop-based approach. This addressed questions of organizational structure, processes, and decision-making paths to tap into new business opportunities. The new organizational unit serves as a hub for implementing innovations, specifically focusing on integrating partner companies into the development and production process.

Our analysis shows that GAI can usefully support strategy work in similar future projects by helping with the identification of competitors or provision of impulses for the identification of strategic variables. We conclude that GAI promises efficiency gains and improved results in complex work processes. We thus confirm previous studies on GAI using the example of strategy work. The reflection on the strategy project also shows that a structured, method-driven strategy process is crucial for effectively utilizing GAI, making decisions transparent, and legitimizing the developed strategy. However, the current limitations of the technology are also evident. Strategists must clearly recognize these limitations to derive high-quality decisions even when using GAI and avoid falling victim to strategic clichés, misinformation, or generative AI hallucinations.

Keywords

Strategy Development, Generative Artificial Intelligence (GAI), Strategic Capabilities, Competitive Analysis, Growth Fields, Efficiency Gains

1 Einleitung

Die heutige Geschäftswelt wird von rasanten technologischen Fortschritten und zunehmender Komplexität geprägt. Die Fähigkeit, zukunftsorientierte Entscheidungen zu treffen, wird daher immer wichtiger. Strategische Planung ist entscheidend, um im globalen Wettbewerb bestehen zu können. Sie gilt daher als „*Königsdiscipline*“ unter den Aufgaben eines Managers [GP14].

Eine fundierte Strategie ist der Schlüssel zur erfolgreichen Navigation durch die Unsicherheiten und Herausforderungen des modernen Geschäftsumfelds: Die altbekannte VUCA-Welt ist in ihrer Steigerung längst zur BANI-Welt geworden. Die Umfelder, in denen Manager entscheiden müssen, sind dem Akronym folgend *brittle*, *anxious*, *non-linear* und *incomprehensible*. Unternehmen müssen flexibler und anpassungsfähiger denn je sein, um auf unerwartete Veränderungen reagieren zu können [HM23]. Leider führt dies oftmals dazu, dass kurzfristiges Agieren langfristiger Planung vorgezogen wird [BMK+17]. Gleichwohl ist grade in derartigen Umfeldern eine gute strategische Planung entscheidend, um resilient und adaptiv agieren zu können. Unter strategischer Planung wird nach GLUECK die Summe der Entscheidungen und Handlungen zur Entwicklung einer effizienten Strategie verstanden [Glu76]. Die strategische Planung bringt die durch Umweltveränderungen induzierte Chancen und Gefahren mit den Stärken und Schwächen des Unternehmens unter Berücksichtigung des Wettbewerbs zusammen [Lem80]. Strategische Planung ist ein intensiver intellektueller Prozess und erfordert die Zusammenarbeit innerhalb der Organisation sowie die Einbindung bzw. Berücksichtigung externer Partner und Technologien. Es gilt die strategische Position zu definieren, Kompromisse auszuhandeln und Aktivitäten aufeinander abzustimmen [Por96].

Resultat der strategischen Planung ist die Strategie. Eine Strategie impliziert, dass eine wünschenswerte Zielposition durch das Treffen konzenterter Entscheidungen erreicht werden kann [Hin90]. Damit kann die Strategie wahlweise als Leitlinie des täglichen Handelns [PG88] oder als Weg zur unternehmerischen Vision [GP14] verstanden werden. Sie zeigt ausgehend von der Ist-Situation auf, wie die Erfolgspotenziale der Zukunft erschlossen und Bedrohungen vermieden werden können [GP14]. Strategien, die es wert sind, verfolgt zu werden, zeichnen sich besonders durch ihre Einzigartigkeit und eine schwierige Imitierbarkeit aus [Por97]. Die Auswirkungen der BANI-Welt auf Unternehmen stellen die strategische Planung vor neue Herausforderungen. Sie muss effizienter und effektiver werden. In dieser Welt hat künstliche Intelligenz (KI) das Potenzial, die Art und Weise, wie Strategien entwickelt werden, grundlegend zu verändern. Besonders generative KI (engl.: *generative artificial intelligence*, kurz: GAI), die darauf trainiert ist, Zusammenhänge zu verstehen und eigenständig Inhalte zu erstellen, bietet neue Möglichkeiten zur Unterstützung der strategischen Planung. GAI kann Daten schnell analysieren sowie Muster und Trends aufdecken, die zu wertvollen Erkenntnissen und schnelleren Entscheidungen beitragen. Erste Untersuchungen über die Arbeit von Unternehmensberatern deuten darauf hin, dass GAI (bzw. CHATGPT-4 im Speziellen) sowohl die Effizienz als auch die Qualität der Ergebnisse steigern kann. Dies betrifft jedoch nur bestimmte Aufgaben (z.B. das Finden von Produktideen). Es gibt auch Aufgaben außerhalb des Fähigkeitsprofils von GAI (z.B. komplexe strategische Empfehlungen); hier schnitten Berater, die CHATGPT nutzten,

schlechter ab als das Vergleichskollektiv ohne GAI [DMM+23]. Die Integration von GAI in die strategische Planung verspricht folglich erhebliche Effizienzgewinne und eine höhere Qualität der Entscheidungsfindung. Beispielsweise kann GAI schon jetzt wirksam bei der Erstellung von Zukunftsszenarien unterstützen, indem sie Einfluss und Schlüsselfaktoren analysiert, Projektionen entwickelt und schließlich auch die Interpretation der Szenarien unterstützt [FJT+23]. Sie kann zudem die Wettbewerbslandschaft skizzieren und potenzielle Chancen und Risiken ableiten. Nicht zuletzt können GAI-Tools Ideen und Ansätze vielfältigen Datenquellen extrahieren und rekombinieren, um neue Geschäftsmodelle zu entwickeln [JBH+24].

In diesem Artikel wird die retrospektive Analyse eines Strategieprojekts für die Miele Business Unit Laundry dargelegt. Ziel ist es, aufzuzeigen, an welchen Stellen GAI Mehrwerte generiert hätte und wie sie zukünftige Strategieprozesse bereichern kann. Die Case Study umfasste die Planung eines Business Ecosystems im Bereich der Wäschepflege. Retrospektiv wird analysiert, welche Antworten die GAI auf die im Projekt beantworteten Fragestellungen gegeben hätte. Durch einen Vergleich mit den Ergebnissen des Projektteams reflektieren wir die Einsatz- und Nutzenpotenziale von GAI in der Strategiearbeit. Gleichzeitig werden die derzeitigen Limitationen der Technologie deutlich, um ein realistisches Bild ihrer Einsatzmöglichkeiten und Grenzen zu zeichnen. Der Artikel leistet damit einen Beitrag zur vertieften Auseinandersetzung mit der Rolle von GAI in der strategischen Planung und gibt Hinweise darauf, wie Unternehmen diese Technologien gezielt nutzen können, um ihre Strategiekompetenz zu steigern.

Nachfolgend werden zunächst die Grundlagen und der Stand der Forschung zur strategischen Planung und zur Rolle von GAI darin erläutert. Anschließend wird die Case Study vorgestellt. In Kapitel 4 wird die Untersuchung geschildert, die in Kapitel 5 diskutiert und interpretiert wird. Der Beitrag schließt mit einem Fazit.

2 Grundlagen und Stand der Forschung

Nach GAUSEMEIER und PLASS wird in der Strategiearbeit der Kurs des Unternehmens bestimmt. Die Strategie steht jedoch nicht allein; gemäß dem 4-Ebenen-Modell zur zukunftsorientierten Unternehmensgestaltung folgt sie den Prämissen aus der Vorausschau und schafft Vorgaben für die Prozesse und die Systeme [GP14]. Auch findet die strategische Planung – insbesondere in diversifizierten Unternehmen – auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus statt [TS04]: Es gibt eine Strategie für das Gesamtunternehmen (Unternehmensstrategie), für jede Geschäftseinheit (Geschäftsstrategie) und für Funktionsbereiche in der Geschäftseinheit (Funktionalstrategien). Die Funktionalstrategien lassen sich weiter für einzelne operative Einheiten detaillieren, wie Märkte, Werke oder Abteilungen (Betriebsstrategie).

Unsere Case Study befasst sich mit Fragestellungen, die auf der Ebene einer Geschäftsstrategie zu verorten sind. Daher gehen wir nachfolgend auf jene Strategien ein. Im Wesentlichen beschreibt eine Geschäftsstrategie, wie ein Unternehmen in einem bestimmten Geschäft konkurrieren und sich positionieren will [And97]. Nach MARKIDES gilt es drei Kernfragen zu beantworten: „*Wer sind unsere Kunden?*“, „*Was sind unsere Marktleistungen?*“ und „*Wie gestalten wir die Geschäftsaktivitäten?*“ [Mar01].

Die strategische Planung kann dem Prozess der strategischen Führung folgend operationalisiert werden (Bild 1). Dieser kann in die fünf Phasen Analyse, Ermittlung von Strategieoptionen, Strategieentwicklung, Strategieumsetzung und Gestaltung des Prozesses der strategischen Führung untergliedert werden [GP14]. Die letzte Phase befasst sich weniger mit inhaltlichen als mit organisatorischen Fragen und wird daher hier nicht weiter betrachtet. Die ersten vier (inhaltlichen Phasen) werden nachfolgend eingeführt.

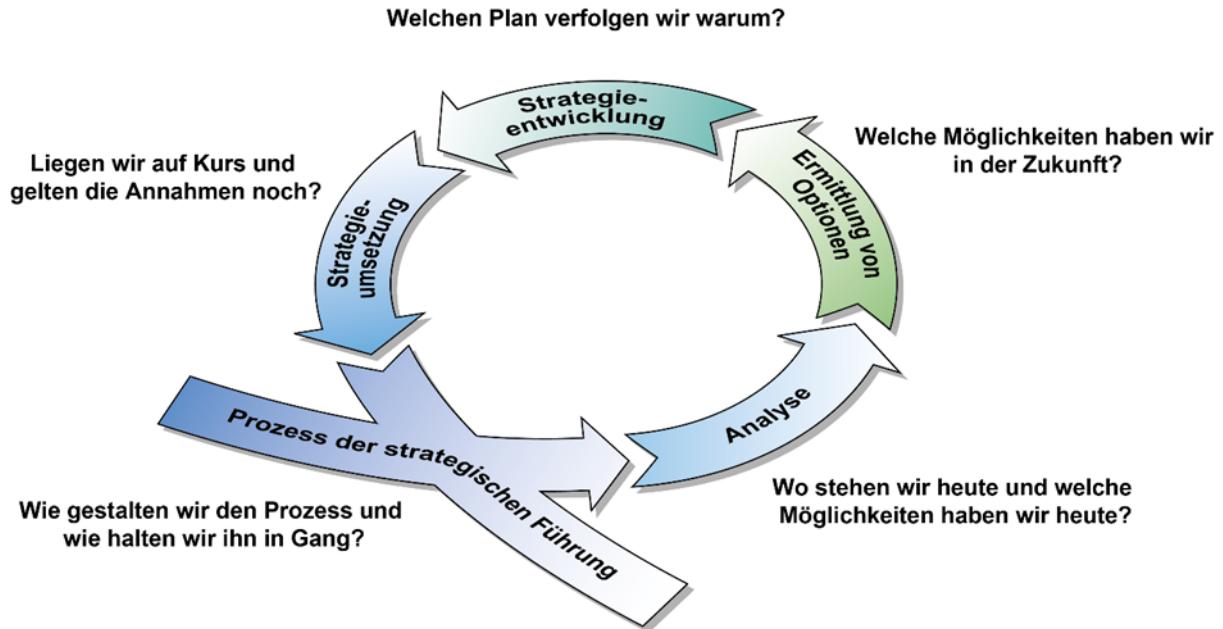


Bild 1: Prozess der Strategischen Führung [GP14]

Die **Analyse** bezieht sich nicht nur auf den Status Quo des zu betrachtenden Unternehmens, sondern auch auf sein Umfeld, und betrachtet beispielsweise den Markt und den Wettbewerb. Durch Stakeholder-Analysen, Kompetenz-Analysen oder die Strukturierung des Geschäfts wird ein umfassendes Bild über die Ausgangssituation des Unternehmens entwickelt [GP14]. Aufbauend auf den sich aus der Analyse ergebenden strategischen Stoßrichtungen werden im zweiten Schritt die **Strategieoptionen** entwickelt. Eine bewährte Methode für diesen Schritt ist das VITOSTRA-Verfahren nach BÄTZEL, das auf die Ableitung konsistenter Strategiealternativen zielt [Bät04]. Das Ergebnis der zweiten Phase sind Strategiealternativen, die die Basis für die **Strategieentwicklung** bilden. Die Strategieentwicklung besteht aus dem Entwurf eines Leitbildes, der Ermittlung strategischer Kompetenzen, der Beschreibung der strategischen Position und der Aufstellung von Programmen, Konsequenzen und Maßnahmen für die Strategieumsetzung. Ferner wird die angestrebte Kultur charakterisiert [GP14]. Die **Strategieumsetzung** beziehungsweise die Umsetzungsplanung setzt auf den definierten Programmen, Konsequenzen und Maßnahmen auf und übersetzt diese in einen Masterplan of Action, aus dem Transformationsprojekte abgeleitet werden. Um den Erfolg der Strategieumsetzung sicherzustellen, wird sie durch ein Umsetzungs-Controlling sowie ein Prämissen-Controlling begleitet [GP14].

Der beschriebene Standardablauf der Strategiearbeit wird in der vorliegenden Untersuchung als Rahmen genutzt, um die Nutzenpotenziale generativer künstlicher Intelligenz zu evaluieren. Unter dem Begriff **generative künstliche Intelligenz** werden Techniken verstanden, die in der

Lage sind, Inhalte wie Texte, Bilder oder Tondateien aus Trainingsdaten zu generieren [FHJ+24]. Darunter fallen beispielsweise CHATGPT-4 oder COPILOT. Neben der großen gesamtwirtschaftlichen Bedeutung dieser Entwicklungen [CHR+23] findet generative künstliche Intelligenz schon jetzt Anwendung in der Strategiearbeit sowie in angrenzenden Bereichen wie im Innovationsmanagement oder in der Szenariotechnik.

In der **Strategiearbeit** hat generative künstliche Intelligenz insbesondere Anwendungsfälle in der Phase der Analyse. Aus unstrukturierten Daten können vor allem für die Feststellung des Status Quo des Marktes und der Wettbewerber Informationen gesammelt und konsolidiert werden [CHR+23]. Auch in der Identifikation verschiedener Strategieoptionen kann generative künstliche Intelligenz unterstützen – analog zur Szenariotechnik können beispielsweise wichtige Stellhebel identifiziert werden [FJT+23]. Die Auswertung von Interviews und Exceltabellen, um eine komplexe strategische Empfehlung abzuleiten ist dagegen eine Aufgabe außerhalb des Fähigkeitsprofils von CHATGPT [DMM+23]. Studien zum Einsatz von generativer KI in der Strategiearbeit sind rar. Auch allgemeine Untersuchungen zum Einsatz von KI in der Strategiearbeit (z.B. [BEA+24]) greifen GAI nur unzureichend auf.

Im **Innovationsmanagement** wird der generativen künstlichen Intelligenz zukünftig eine entscheidende Rolle vorhergesagt, obgleich ihre Fähigkeiten derzeit noch als begrenzt betrachtet werden [KAK24]. In Zukunft soll generative künstliche Intelligenz insbesondere analytische Aufgaben in allen Phasen des Innovationsprozesses übernehmen, während sie heute für kreative und analytische Aufgaben zu etwa gleichen Teilen genutzt wird. Für kreative Impulse steht Unternehmen beispielsweise der Ansatz eines so genannten Prompt-a-thons zur Verfügung, bei dem Teilnehmende mit Hilfe von generativer künstlicher Intelligenz an einer Problemlösung arbeiten [BKM+23]. Aktuelle Hindernisse in der Nutzung von generativer künstlicher Intelligenz sollen sich nach der Untersuchung von KEICHER ET AL. zukünftig mit steigender technischer Reife vermindern [KAK24]. Einer Umfrage unter 67 Unternehmen zufolge wird künstliche Intelligenz insbesondere im Prototypenbau beziehungsweise im Testing hilfreich, übernimmt aber auch kreative Aufgaben im Produktdesign [WHB+21].

In der **Szenariotechnik** kann GAI ebenfalls unterstützen. Nach FISCHER ET AL. kann GAI z.B. bei der Identifikation von Einflussfaktoren oder der Erstellung von Projektionen unterstützen und besticht durch die eingesparte Zeit gegenüber dem traditionellen Prozess ohne GAI. Gleichzeitig weist die künstliche Intelligenz auch Grenzen auf – im Vergleich zu überprüften Expertenmeinungen konnten gravierende Abweichungen festgestellt werden, sodass die Qualität ihrer Ergebnisse in Frage zu stellen ist. Insgesamt zeigt sich jedoch, dass künstliche Intelligenz als Inspirator oder Experte unterstützen kann. [FJT+23]

Wenngleich sich ein gewisser Hype um generative künstliche Intelligenz aufgetan hat, so sind viele Anwendungsmöglichkeiten in der Strategiearbeit nur sporadisch untersucht und beschrieben. Experimentelle Untersuchungen lassen zudem den gruppendiffusiven Charakter der Strategiearbeit außen vor (z.B. gegenseitige Inspiration). Unsere Case Study bietet das Potenzial an realen Projektsituationen konkrete Nutzenpotenziale für GAI nachzuvollziehen.

3 Case Study

Gegenstand der Case Study ist ein Strategieprojekt im Bereich der Wäschepflege der Miele & Cie. KG (im Folgenden kurz Miele), an dessen Ende der Aufbau einer neuen Organisationseinheit stand. Der Prozess wurde in wechselnden Konstellationen von Miele mit der UNITY AG und dem Heinz Nixdorf Institut zusammen durchgeführt. Die resultierende neue Organisationseinheit heißt „*Strategic Partnerships & Innovation*“ und verantwortet das Geschäft abseits des klassischen Kerngeschäfts. Die neue Einheit setzt 1) gezielt auf die Integration von Partnerunternehmen in den Entwicklungs- und Produktionsprozess, um neue Geschäftsfelder zu adressieren und dient 2) als interne Drehscheibe für die Umsetzung neuer Geschäftsmodelle für die Etablierung eines *Business Ecosystems* im Bereich der Wäschepflege. Im Rahmen des Strategieprozesses wurden die Phasen der strategischen Führung systematisch durchlaufen. Das Besondere: Zur Operationalisierung der Strategie wurde in einem workshopbasierten Vorgehen die neue Organisationseinheit definiert. In den Workshops wurden Fragen der Organisationsstruktur, Prozesse und Entscheidungswege zur Erschließung des Neugeschäfts beantwortet.

Bild 2 fasst die zugrundeliegende Zukunftsvision zusammen. Miele ist bestrebt, neue Produkte, Services und Geschäftsmodelle sowie ein begleitendes Systemgeschäft zur Stärkung des Kerngeschäfts zu etablieren. Eine Besonderheit ist, dass die neuen Produkte gezielt gemeinsam mit OEM-Partnern entwickelt und produziert werden sollen. Hierdurch wird es möglich, in Geschäftsfelder vorzudringen, die aufgrund einer zu geringen Stückzahl oder nicht vorhandener Kompetenzen bisher wirtschaftlich nicht erschließbar waren.

Hierrunter fällt beispielsweise der Miele Aerium. Dabei handelt es sich um ein Produkt, das Wäsche sanft auffrischt und von unangenehmen Gerüchen befreit. Das Gerät ist eine perfekte Ergänzung zu Waschmaschine und Trockner. Es behandelt Kleidungsstücke, die zwar noch kein Fall für die Waschmaschine sind, aber eine Auffrischung gebrauchen könnten. Der Aerium eignet sich besonders für sensible Kleidung, die mit klassischen Wäschepflegeräten nicht gereinigt werden können und sonst professionell gereinigt werden müssten.



Bild 2: Zukunftsvision Wäschepflege+

Die Strategiearbeit im Anwendungsbeispiel untergliederte sich, analog zum oben diskutierten Prozess der strategischen Führung, in vier übergeordnete Aufgabenbereiche (Bild 3). Jedoch verlief der Prozess nicht wasserfallartig stringent, sondern mit Iterationen zwischen den Phasen.

- 1) Die **Analyse** der Ausgangssituation zur Realisierung eines Business Ecosystems Laundry umfasste mehrere Aspekte. Hier galt es zunächst ein gemeinsames Verständnis über Business Ecosystems zu schaffen. Es wurden zentrale Erfolgsfaktoren identifiziert und existierende Business Ecosystems als Referenzen beschrieben und analysiert. Ferner wurden Wettbewerber identifiziert und deren Leistungsangebot untersucht. Zudem wurde die Zukunft des Geschäfts durch Vorausschau antizipiert.
- 2) Zur **Ermittlung von Optionen** wurde das Geschäft mit Business Ecosystems anhand von Merkmalen und Ausprägungen charakterisiert. Es wurden konsistente Ausprägungsbündel gebildet, um ganzheitliche Strategiealternativen abzuleiten. Die zuvor identifizierten Wettbewerber wurden hinsichtlich ihrer verfolgten Strategien bewertet und den allgemeinen Strategiealternativen zugeordnet, um eine Erfolg versprechende Strategieoption für Miele auszuwählen.
- 3) Bei der **Strategieentwicklung** wurden zu erschließende Wachstumsfelder sowie eine zu erreichende Wachstumsambition definiert und konkretisiert. Es wurden ferner die notwendigen Rollen, Prozesse und strategische Kompetenzen zur Realisierung der Wachstumsfelder ermittelt.
- 4) Bei der **Strategieumsetzung** galt es, relevante Ideen zur Erreichung der Wachstumsambition zu identifizieren, zu priorisieren und ausgewählte Ideen umzusetzen. Ein weiteres Augenmerk lag auf dem stetigen Abgleich zwischen Wachstumsambition und Zielerreichungsgrad anhand der umzusetzenden Ideen.

In jeder der vier Aufgabenbereiche wurden durch das Projektteam Ergebnisse erarbeitet und Entscheidungen getroffen. Diese wurden transparent dokumentiert. Damit eröffnet die Case Study die Möglichkeit, anhand eines realen Strategieprojekts retrospektiv-reflektierend zu überprüfen, ob und welche Mehrwerte generative KI für derartige Projekte liefert. Aus Geheimhaltungsgründen können die Ergebnisse des Projekts nur anonymisiert dargelegt werden.

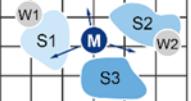
| Analyse | Strategieoptionen | Strategieentwicklung | Strategieumsetzung |
|--|---|--|--|
| <p>Analyse von Business Ecosystems und Wettbewerben sowie Vorausschau</p> <p>Ausgangssituation</p>  | <p>Bündelung konsistenter Ausprägungen sowie Ausgestaltung alternativer Strategieoptionen.</p> <p>Priorisierte Strategie</p>  <p>S: Strategieoption/W: Wettbewerber</p> | <p>Konkretisierung der zuvor ausgewählten Strategieoptionen inkl. Rollen, Prozesse und Capabilities und Wachstumsambition.</p> <p>Detaillierte Strategie</p>  | <p>Identifikation, Priorisierung und Auswahl von Ideen zur Erschließung der Wachstumsfelder.</p> <p>Wachstumsfelder und -phasen</p>  |

Bild 3: Aufgabenbereiche in der Case Study

4 Generative KI im Prozess der strategischen Führung

Entlang des in Kapitel 2 skizzierten Prozesses der strategischen Führung haben wir Tätigkeiten aus unserem Projekt ausgewählt, die sich potentiell durch generative künstliche Intelligenz unterstützen lassen. Nachfolgend beschreiben wir in jeder Phase beispielhaft, welche Tätigkeiten wir untersucht haben. Dazu gehen wir auf die Tätigkeit, die Projektsituation, die Methodik und die Ergebnisse der Untersuchung ein. Es wurden jeweils vier GAI in der Premiumversion (Stand: Juni/Juli 2024) genutzt: CHATGPT, COPILOT, PERPLEXITY und GEMINI.

4.1 Phase Analyse – Identifikation von Wettbewerbern

Die Betrachtung von Wettbewerbern ist essenziell für die Strategiearbeit, da sie Unternehmen ermöglicht, ihre Position im Markt zu verstehen und Differenzierungsmerkmale zu identifizieren. Durch die Analyse von Wettbewerbern können Stärken, Schwächen, Chancen und Bedrohungen besser bewertet werden, was zu fundierteren Entscheidungen führt. Dies ist insbesondere beim Eintritt in einen Markt oder bei der Erweiterung des Leistungsumfangs relevant.

Projektsituation: Im betrachteten Projekt prüfte Miele den Aufbau einer Business Ecosystems über den erweiterten Wäschezyklus. Hierzu wurden Wettbewerber über den gesamten Wäschezyklus hinweg identifiziert. Es galt sowohl die etablierten Wettbewerber als auch neue Markakteure zu finden und zu analysieren. Insbesondere sollten die vier Hauptwettbewerber im Ecosystem-Geschäft für eine Tiefenanalyse identifiziert werden.

Methode und Datenerhebung: CHATGPT, COPILOT, PERPLEXITY und GEMINI werden zunächst nach den Wettbewerbern von Miele im Geschäftsbereich Laundry gefragt. Die GAI soll die Wettbewerber in US-amerikanische, asiatische und europäische Wettbewerber sowie neue Markakteure einordnen. Es wird explizit nach der Anzahl der im Projekt identifizierten Wettbewerber je Kategorie gefragt. Anschließend wurden die GAI's nach vier Wettbewerbern aus der Liste der identifizierten Wettbewerber gefragt, die ein erweitertes Wäschepflegegeschäft (Business Ecosystem) betreiben. Die identifizierten Wettbewerber wurden anschließend mit den im Projekt identifizierten verglichen. Die Prompts (auch alle folgenden in den weiteren Analysen) sind auf Deutsch verfasst worden (Bild 4).

Ich mache eine Wettbewerbsanalyse für Miele, insbesondere für den Geschäftsbereich Wäsche/Laundry. Wer sind Mieles Wettbewerber? Bitte ordne die Wettbewerber in die Kategorien „US-amerikanische Wettbewerber“, „asiatische Wettbewerber“, „europäische Wettbewerber“ und „neue Markakteure“. Ich suche sechs us-amerikanische, sieben asiatische, vier europäische Wettbewerber und fünf neue Markakteure.



Für eine umfassende Wettbewerbsanalyse im Geschäftsbereich Wäsche/Laundry von Miele lassen sich die Wettbewerber wie folgt kategorisieren:

Bild 4: Erster Prompt für die Wettbewerbsanalyse

Ergebnisse: Tabelle 1 zeigt den Abgleich der Wettbewerbsrecherchen zwischen Projekt und generativen künstlichen Intelligenzen. Bei der Durchführung der Analyse fiel zunächst auf, dass COPILOT und PERPLEXITY zu wenige Wettbewerber nannten, obwohl im Prompt zum Zwecke der Vergleichbarkeit die jeweilige Anzahl hinterlegt war. Durch einen Prompt mit der Betonung der erforderlichen Anzahl konnten dann entsprechend viele Wettbewerber aufgelistet werden. Insgesamt erreichen alle GAI-Tools Übereinstimmungen mit dem Projekt von über 40%, wobei CHATGPT und COPILOT jeweils sogar 55% Übereinstimmung erreichen. Es fällt auf, dass einige Wettbewerber von keiner GAI genannt wurden (U5, A2, E2, E4). Darüber hinaus ist auffällig, dass in der Kategorie „Neue Markakteure“ keine Übereinstimmungen existieren. Werden diese nicht betrachtet steigt die Übereinstimmung mit den Projektergebnissen signifikant an.

Tabelle 1: Abgleich der Ergebnisse der Wettbewerbsrecherche

| Kategorie | Wettbewerber | CHATGPT | COPilot | PERPLEXITY | GEMINI |
|--------------------------|--------------|---------|---------|------------|--------|
| US-amerikanisch (U) | U1 | x | x | x | x |
| | U2 | - | x | - | - |
| | U3 | x | x | x | x |
| | U4 | x | x | x | x |
| | U5 | - | - | - | - |
| | U6 | x | x | - | x |
| Asiatisch (A) | A1 | x | x | x | x |
| | A2 | - | - | - | - |
| | A3 | x | x | x | - |
| | A4 | x | x | x | - |
| | A5 | x | x | x | x |
| | A6 | x | x | x | - |
| | A7 | x | - | x | x |
| Europäisch (E) | E1 | x | x | x | x |
| | E2 | - | - | - | - |
| | E3 | x | x | x | x |
| | E4 | - | - | - | - |
| Neue Markakteure (NM) | N1 | - | - | - | - |
| | N2 | - | - | - | - |
| | N3 | - | - | - | - |
| | N4 | - | - | - | - |
| | N5 | - | - | - | - |
| Übereinstimmung: | | 55% | 55% | 50% | 41% |
| Übereinstimmung ohne NM: | | 71% | 71% | 65% | 53% |

Auf die Frage nach den Fokuswettbewerbern für die weitere Analyse (Tabelle 2) kommen alle generativen künstlichen Intelligenzen auf hohe Übereinstimmungen mit dem Projektergebnis. CHATGPT schafft eine 100%ige Übereinstimmung, während COPILOT, PERPLEXITY und GEMINI jeweils 75% der relevanten Wettbewerber identifizieren.

Tabelle 2: Identifikation der vier Fokuswettbewerber für die weitere Analyse

| Fokuswettbewerber | CHATGPT | COPilot | PERPLEXITY | GEMINI |
|-------------------|---------|---------|------------|--------|
| F1 | x | x | x | x |
| F2 | x | x | - | - |
| F3 | x | x | x | x |
| F4 | x | x | x | x |
| Übereinstimmung: | 100% | 75% | 75% | 75% |

Fazit: Die Ergebnisse der ersten Phase sind sehr unterschiedlich. Allen GAI gelingt die Auflistung relevanter Marktbegleiter in den USA, Europa und Asien. Die Kategorie „Neue Marktteure“ liefert jedoch keine Überschneidung mit den Projektergebnissen. Für die Recherche nach etablierten Wettbewerbern sind die GAI also eine große Unterstützung und können als Ergänzung oder als Startpunkt zur Hilfe gezogen werden. Auch die Identifizierung von vier Fokuswettbewerbern auf Basis von formulierten Charakteristika lieferte gute Ergebnisse.

4.2 Ermittlung von Optionen – Strategische Variablen und Wettbewerbsarena

Bei der Ermittlung von Optionen werden zwei Aufgaben verglichen: die kreative Entwicklung von strategischen Variablen und die analytische Bewertung von Wettbewerbern hinsichtlich dieser Variablen.

4.2.1 Identifikation von Strategischen Variablen

Strategische Variablen sind die Stellhebel, die ein Unternehmen zur Gestaltung des Geschäfts hat. Sie hängen davon ab, in welchem Bereich sich ein Unternehmen positionieren will – der Geschäftsdefinition. Die strategischen Variablen können jeweils unterschiedlich ausgeprägt werden. Die Ausprägungen stellen alternative Handlungsoptionen dar. Durch die Analyse möglicher Kombinationen der Ausprägungen lassen sich Strategiealternativen bilden [Bät04].

Projektsituation: Im Projekt wurde das Business Ecosystem Laundry als Geschäftsdefinition gewählt. In diesem Bereich wurden in Interviews und Workshops die strategischen Variablen ermittelt und mögliche Ausprägungen definiert. Da es sich bei dem angestrebten Vorhaben um eine Geschäftsstrategie handelt, wurden die Variablen nach MARKIDES [Mar01] in den Kategorien „Wer?“, „Was?“ und „Wie?“ gesucht.

Methode und Datenerhebung: Um die strategischen Variablen zu identifizieren, werden CHATGPT, COPilot, PERPLEXITY und GEMINI über die Branche, den Geschäftsbereich und die Geschäftsdefinition unterrichtet. Auch die im Projekt verwendete Definition eines Business Ecosystems wird übergeben. Dann wird nach den strategischen Variablen in den Kategorien „Wer?“, „Was?“ und „Wie?“ gefragt, wobei jeweils explizit die im Projekt auch identifizierte Anzahl gefordert wird. Damit sollen die Ergebnisse vergleichbarer werden. Anschließend wird die Übereinstimmung mit dem Projektergebnis untersucht.

Ergebnisse: Tabelle 3 zeigt die Analyse der strategischen Variablen. In der Kategorie „Wer?“ können insgesamt nur zwei der strategischen Variablen aus dem Projekt von den GAIs gefunden werden. PERPLEXITY findet keine, COPILOT und GEMINI jeweils eine und CHATGPT zwei. In der Kategorie „Was?“ hingegen können alle strategischen Variablen gefunden werden; jede GAI kann mindestens drei identifizieren. In der Kategorie „Wie?“ zeigt sich ein ambivalentes Bild. Insgesamt liegt CHATGPT mit einer Übereinstimmung von 53% vor PERPLEXITY und GEMINI. COPILOT kommt in der Summe auf weniger als ein Drittel Übereinstimmungen.

Tabelle 3: Strategische Variablen für das Business Ecosystem

| Kategorie | Variable | CHATGPT | COPilot | PERPLEXITY | GEMINI |
|------------------|----------|---------|---------|------------|--------|
| Wer? | Wer1 | x | x | - | x |
| | Wer2 | - | - | - | - |
| | Wer3 | - | - | - | - |
| | Wer4 | - | - | - | - |
| | Wer5 | - | - | - | - |
| | Wer6 | x | - | - | - |
| Was? | Was1 | x | x | x | x |
| | Was2 | x | x | x | - |
| | Was3 | x | - | x | x |
| | Was4 | x | x | - | x |
| Wie? | Wie1 | x | - | x | x |
| | Wie2 | - | - | x | - |
| | Wie3 | x | - | x | - |
| | Wie4 | - | x | - | - |
| | Wie5 | - | - | - | - |
| | Wie6 | - | - | - | - |
| | Wie7 | x | - | x | x |
| Übereinstimmung: | | 53% | 29% | 41% | 41% |

Fazit: Die GAIs identifizieren größtenteils andere strategische Variablen als im Projekt ermittelt wurden. Insbesondere in der Kategorie „Wer?“ fällt die geringe Übereinstimmung auf; während in den Projektergebnissen verschiedene Dimensionen der Kundenzentrierung identifiziert wurden, schlagen die generativen künstlichen Intelligenzen Dimensionen verschiedener Stakeholder vor. Insgesamt zeigen die von den GAIs vorgeschlagenen strategischen Variablen eine Tendenz zu Allgemeinplätzen (z.B. Innovationsmanagement), während die strategischen Variablen aus dem Projekt deutlich spezifischer Aspekte der Gestaltung eines Business Ecosystems fokussieren. Zweifellos kann GAI hier als Inspiration genutzt werden, kann jedoch auf keinen Fall die harte Auseinandersetzung der Fachexperten mit dem Thema ersetzen.

4.2.2 Wettbewerbsarena

Um eine erfolgversprechende Strategie auswählen zu können ist es essenziell die Strategien der Wettbewerber zu kennen. Dies kann analysiert werden, indem ermittelt wird, wie die Konkurrenten die strategischen Variablen ausprägen. Damit kann ihre strategische Position aufgezeigt

und ins Verhältnis zu den generischen Strategiealternativen gesetzt werden. Es wird deutlich, welche Strategiealternativen vakant sind und wo die Wettbewerbsintensität hoch ist. [Bät04]

Projektsituation: Um die strategische Ausrichtung der Wettbewerber zu analysieren, wurden die strategischen Variablen der Fokuswettbewerber hinsichtlich ihrer Ausprägungen bewertet. Um dies differenzierte ausdrücken zu können, wurden sie auf einer Skala zwischen zwei Extrempositionen verortet, statt sie anhand der 2 bis 4 Merkmale je strategischer Variable zu bewerten. Zur Bestimmung der jeweiligen Positionen auf der Skala wurde eine umfassende Recherche zu den Aktivitäten der Wettbewerber durchgeführt.

Methode und Datenerhebung: Der Prompt setzt sich aus einer Beschreibung der zu untersuchenden strategischen Variablen, einer Beschreibung der Ausprägungen und dem zu bewertenden Unternehmen zusammen. Damit verbunden ist die Aufforderung die Ausprägung der Variablen auf einer Skala von 1 bis 10 für das Unternehmen zu bewerten und die Bewertung zu begründen. Für das Experiment werden für drei Wettbewerber jeweils fünf strategische Variablen jeweils dreimal abgefragt. CHATGPT, COPILOT, PERPLEXITY und GEMINI generieren damit 180 Datenpunkte. Jede Abfrage wurde in einem neuen Chatfenster gestellt. Für jede GAI wird die Anzahl der jeweiligen Bewertungen je Skalenwert in einem Histogramm verglichen. Ferner werden vier statistische Kennzahlen zur Bewertung der GAI-Ergebnisse im Vergleich zu Miele herangezogen: Die Differenz der Mittelwerte, der mittlere absolute Fehler, die Quadratwurzel des mittleren quadratischen Fehlers und die Standardabweichung.

Ergebnisse: Die Durchführung des Experiments liefert mehrere Erkenntnisse. Zunächst ließ sich die GAI in einigen Fällen nicht direkt dazu bewegen eine Bewertung abzugeben. In diesem Fall wurde der Prompt wiederholt. Jede der GAIs bis auf GEMINI hat ferner zumindest einmal eine Spannweite als Bewertung ausgegeben: “[...] liegt die Bewertung auf dieser Skala im hohen Bereich, etwa bei 8 bis 9”. In diesem Fall wurde der Mittelwert für die weitere Auswertung genutzt und ggfs. kaufmännisch gerundet. Das Histogramm (Bild 5) zeigt, dass die GAI eine starke Tendenz hat, eine Bewertung von 7 bis 9 vorzunehmen. Sie nimmt nur dreimal eine Bewertung im Wertebereich 1 bis 5 vor. Damit differiert sie stark von den Miele Ergebnissen, bei denen sich die Werte relativ gleichmäßig über den Wertebereich verteilen.

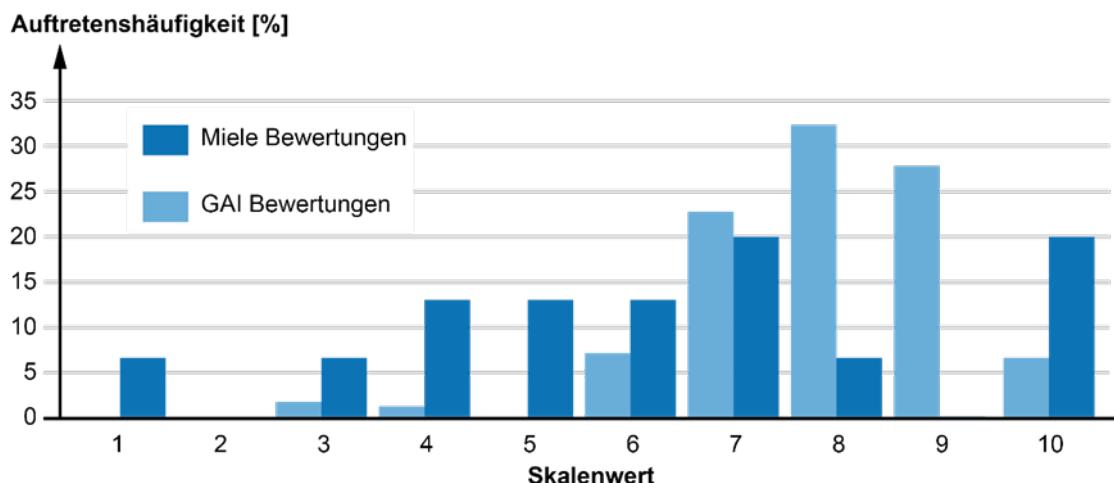


Bild 5: Histogramm der relativen Anzahl der Bewertungen für die Schlüsselvariablen in %

Bei der Betrachtung der statistischen Werte in Tabelle 4 wird deutlich, dass der Mittelwert aller Bewertungen aus den Workshops deutlich niedriger ist als bei den GAs. CHATGPT und PERPLEXITY weisen eine Differenz von etwa 2,4 auf, COPILOT von 1,36 und GEMINI ist mit einer Differenz der Mittelwerte von 0,73 am nächsten an den Workshopergebnissen.

Bei der Betrachtung der mittleren absoluten Fehler weicht PERPLEXITY am weitesten von den Miele Werten ab – im Mittel um 2,79. CHATGPT und COPILOT sind mit einem Fehler 2,66 bzw. 2,34 auch signifikant von den Miele Ergebnissen entfernt. Den geringsten mittleren absoluten Fehler weist GEMINI auf, aber auch hier beträgt er 1,67. D.h. durchschnittliche weicht die Bewertung durch Miele um 1,67 Punkte von GEMINI ab – auf einer Skala von 1 bis 10. Betrachtet wurde ferner die Quadratwurzel des mittleren quadratischen Fehlers. Es zeigt sich, dass die Werte dort deutlich höher liegen als beim mittleren absoluten Fehler, was auf einige größere Abweichungen hindeutet. Zudem wurde die mittlere Standardabweichung für jedes Tool berechnet. CHATGPT, PERPLEXITY und GEMINI weisen einen Wert von 0,3 auf und Copilot von 0,4. Damit zeigt sich, dass die GAI in ihren Bewertungen selbst konsistent ist, d.h. sie bewertet ein Unternehmen hinsichtlich einer Variable meist gleich oder nur mit kleinen Abweichungen.

Tabelle 4: Auswertung der Bewertung der Wettbewerber

| Metrik | Miele | CHATGPT | COPilot | PERPLEXITY | GEMINI |
|---|-------|---------|---------|------------|--------|
| Anzahl Bewertungen | 15 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| Mittelwert | 6,2 | 8,6 | 7,56 | 8,56 | 6,93 |
| Differenz zum Miele Mittelwert | x | 2,4 | 1,36 | 2,23 | 0,73 |
| Mittlerer absoluter Fehler | x | 2,66 | 2,34 | 2,79 | 1,67 |
| Quadratwurzel des mittleren quadratischen Fehlers | x | 5,5 | 5,2 | 5,8 | 3,9 |
| Mittlere Standardabweichung | x | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |

Fazit: Der Vergleich der Workshopergebnisse und der GAI Ergebnisse zeigt, dass die GAI Lösungen derzeit noch Probleme haben komplexe Sachverhalte wie die Ausprägung einer strategischen Variable differenziert zu bewerten. Es ist zu erkennen, dass die GAs im Zweifel eine “gute” Bewertung (7, 8, 9) vorschlagen. Die Antworten der GAI liefern zwar durchaus interessante Einblicke über die betrachteten Wettbewerber, die klare Einordnung bzw. Festlegung der Ausprägung sollte jedoch durch erfahrene Fachkräfte erfolgen. In ihrer Bewertung selbst sind die GAs konsistent, was auf die inhärente Logik ihrer Bewertungsweise schließen lässt.

4.3 Phase Strategieentwicklung – Strategic Business Capabilities

Strategien enthalten im Kern fünf Elemente: das Leitbild, die strategischen Kompetenzen, die Strategische Positionierung, den Plan zur Umsetzung (Strategische Programme, Konsequenzen und Maßnahmen) und Aussagen zur strategiekonformen Kultur [GP14]. In der heutigen dynamischen Geschäftswelt gewinnen insbesondere die strategischen Kompetenzen (auch: *Strategic Business Capabilities*) zunehmend an Bedeutung. Dies sind die Fähigkeiten, die zur Umsetzung der Strategie erforderlich sind. Sie öffnen die Türen zu den Märkten von morgen [FSG23] und ermöglichen es, im Wettbewerb zu reüssieren.

Projektsituation: Im vorliegenden Projekt wurden die strategischen Kompetenzen in Workshops und dazwischenliegenden Recherchephasen erarbeitet und sukzessive weiter konkretisiert. Im Projekt wurden im Wachstumsfeld 1 und 2 je fünf strategische Kompetenzen und im Wachstumsfeld 3 drei strategische Kompetenzen identifiziert.

Methode und Datenerhebung: CHATGPT, COPILOT, PERPLEXITY und GEMINI erhalten im Prompt zunächst den Namen des definierten Wachstumsfeldes sowie eine ausführliche, im Rahmen des Projekts erarbeitete Wachstumsfeld-Definition. Die GAI wird nun jeweils angewiesen, benötigte Strategic Business Capabilities für das Wachstumsfeldes zu nennen. Um die Güte der von der GAI vorgeschlagenen strategischen Kompetenzen bewerten zu können, wurde die GAI beauftragt, eine Priorisierung vorzunehmen und jeweils genauso viele Vorschläge wie im Projekt zu machen. So wird vermieden, dass bei der Ausgabe einer großen Anzahl von strategischen Kompetenzen durch die GAI Zufallstreffer entstehen. Ferner wurden die GAI gebeten, ihre Bewertungen mit einem Punktesystem zu begründen, um Transparenz zu schaffen.

Die Ergebnisse der vier GAI-Tools werden verglichen, um die Übereinstimmung mit den Projektergebnisse zu bestimmen. Für das erfolgreichste Tool wurde die Abfrage dreimal wiederholt, um den Jaccard-Koeffizienten der generierten Vorschläge zu berechnen. Diese misst die Ähnlichkeit und Diversität von Mengen und ist definiert als das Verhältnis der Schnittmenge zur Vereinigungsmenge zweier Mengen (A und B). Ein höherer Wert (näher an 1) bedeutet eine höhere Übereinstimmung, während ein niedrigerer Wert (näher an 0) eine geringere Übereinstimmung der GAI-Ergebnisse bedeutet. Mathematisch ausgedrückt:

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

Dabei sind:

- *A* die Menge der im Projekt erarbeiteten strategischen Kompetenzen
- *B* die Menge der von der GAI vorgeschlagenen Kompetenzen

Ergebnisse: Alle GAI-Tools geben sehr ähnliche Vorschläge zu den strategischen Kompetenzen, die für die Wachstumsfelder benötigt werden. Inhaltlich stehen diese Ergebnisse im Kontrast zu den Projektergebnissen. Beispielsweise wird von allen GAI-Tools eine Kompetenz im Bereich des *Supply Chain Managements* hervorgehoben, die in den Projektergebnissen nicht identifiziert wurde. Die bisherigen Erfahrungen in der Erschließung der Wachstumsfelder verdeutlichen, dass GAI eine Kompetenz identifiziert hat, die das Projektteam schlicht in dem erforderlichen Maße unterschätzt hat. Damit hätte die GAI die Projektergebnisse qualitativ aufgewertet. Umgekehrt gibt es wesentliche strategische Kompetenzen aus dem Projekt, die von keinem GAI-Tool genannt werden. Hierunter fällt das *unternehmensinterne Stakeholdermanagement*, welches aufgrund des hohen Neuheitsgrades unabdingbar für die Erschließung der Wachstumsfelder ist. Es handelt sich hierbei um eine unternehmensspezifische Kompetenz, die nur durch Informationen zur Ausgangssituation des Unternehmens hätte erfasst werden können. Insgesamt zeigt sich über die drei betrachteten Wachstumsfelder bei einem initialen Durchlauf mit vier GAI-Tools das folgende Bild (Tabelle 5).

Tabelle 5: Übereinstimmung bei den strategischen Kompetenzen je Wachstumsfeld (WF)

| Wachstumsfeld | CHATGPT | COPilot | PERPLEXITY | GEMINI | Mittelwert: |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| WF1 | 45% | 45% | 45% | 40% | 44% |
| WF2 | 35% | 35% | 65% | 70% | 51% |
| WF3 | 50% | 33% | 25% | 50% | 40% |
| Mittelwert: | 43% | 38% | 45% | 53% | |

Die GAI-Tools weisen auffällige Unterschiede bei ihren Vorschlägen zu strategischen Kompetenzen auf: GEMINI liefert die besten Ergebnisse. Zu 53 Prozent stimmen die Vorschläge im Mittel mit den Projektergebnissen überein. Im Wachstumsfeld 2 werden sogar 70 Prozent der strategischen Kompetenzen aus dem Projekt genannt. Die wenigsten Übereinstimmung haben die Antworten von COPilot: Im Mittel werden nur 38 Prozent der strategischen Kompetenzen aus dem Projekt genannt. Bemerkenswert ist, dass die von COPilot ausgegebenen Formulierungen äußerst generisch sind. Eine klare Zuordnung der Antworten zu den im Projekt herausgearbeiteten strategischen Kompetenzen ist hier aufgrund einer gewissen „Schwammigkeit“ nicht immer eindeutig möglich. Inhaltlich auffallend bei allen GAI-Tools ist zudem, dass sämtliche Vorschläge für strategische Kompetenzen auf den Markt und die Produktentwicklung ausgerichtet sind – sprich nach extern gerichtet. Nach Innen gerichtete strategische Kompetenzen, wie z.B. das bereits erwähnte Stakeholdermanagement, werden von der GAI nicht genannt.

Alle vier GAI-Tools sind in der Lage, ihre Entscheidungen anhand von selbstgewählten Kriterien zu begründen. CHATGPT beispielsweise begründet die Auswahl der strategischen Kompetenzen anhand von Kriterien wie *möglicher Wettbewerbsvorteil*, *Implementierbarkeit* oder *Kundenutzen*, die durch das Tool auf einer Skala von 1 bis 5 eingeordnet werden.

Da GEMINI in diesem Versuch am performantesten ist, wird das Tool exemplarisch genauer betrachtet: GEMINI wird in drei Durchläufen erneut angewiesen, Vorschläge für strategische Kompetenzen zu den Wachstumsfeldern auszugeben, wobei der Jaccard-Koeffizient berechnet wird (Tabelle 6).

Tabelle 6: Jaccard-Koeffizient für GEMINI

| Wachstumsfeld | Jaccard-Koeffizient GEMINI |
|--------------------|----------------------------|
| WF1 | 0,30 |
| WF2 | 0,57 |
| WF3 | 0,50 |
| Mittelwert: | 0,46 |

Ein durchschnittlicher Jaccard-Koeffizient von 0,46 über alle drei Wachstumsfelder zeigt eine moderate Übereinstimmung zwischen den von der GAI vorgeschlagenen und den im Projekt erarbeiteten strategischen Kompetenzen.

Fazit: Die Analyse der strategischen Kompetenzen für die drei Wachstumsfelder zeigt, dass die GAI nützliche Empfehlungen liefert, aber nicht an die Qualität der Projektergebnisse heranreicht. Der moderate Jaccard-Koeffizient bei GEMINI unterstreicht dies. Auffällig ist, dass auf

den Markt gerichtete strategische Kompetenzen stark betont werden, während der Aufbau interner Fähigkeiten vernachlässigt wird. Präzisere Kontextinformationen zum betrachteten Unternehmen und dessen strategischen Herausforderungen könnten die Güte der von GAI-Tools genannten Kompetenzen verbessern. Vielversprechend scheint die Nutzung von GAI-Tools insbesondere im Rahmen der initialen Sammlung möglicher strategischer Kompetenzen, um den Arbeitsaufwand in den Workshops zu reduzieren. Im Rahmen der Auswahl und Priorisierung der Kompetenzen kann insbesondere die Begründung zu den vorgeschlagenen Kompetenzen eine wertvolle Inspiration darstellen.

4.4 Phase Strategieumsetzung

Gegenstand der Strategieumsetzung ist es, die Strategie in konkret umsetzbare Programme, Konsequenzen und Maßnahmen zu überführen. Im Sinne des Umsetzungs-Controllings sind entsprechende Messgrößen für die Erreichung der strategischen und operativen Ziele und zur Überwachung der Maßnahmen zu definieren [GP14].

4.4.1 Identifikation von Wachstumsmaßnahmen / -ideen

Maßnahmen im Sinne der Strategieumsetzung können vielfältiger Natur sein. Sie können sich auf alle Aspekte eines Unternehmens beziehen, die im Rahmen der Strategie geändert werden müssen, z.B. Prozesse, Strukturen oder Marktleistungen.

Projektsituation: Um die Wachstumsfelder aufzubauen und die nächsten Schritte aufzuzeigen, wurden Marktleistungsideen unter Berücksichtigung der Wettbewerberideen identifiziert und ausgewählt. Dies geschah jeweils in Workshops. Die 17 ausgewählten Ideen wirken als spezifische Maßnahmen zum Aufbau des Geschäfts.

Methode und Datenerhebung: Die Prompts für CHATGPT, COPILOT, PERPLEXITY und GEMINI enthalten den Namen und eine kurze Beschreibung des Wachstumsfelds sowie zugehörige Trends. Weiterhin wird sichergestellt, dass der Prompt relevante Informationen zum Unternehmen enthält, sodass der Kontext klar ist. Die GAIs werden nach der jeweils im Projekt ausgewählten Anzahl an Ideen gefragt, um die Ergebnisse vergleichbarer zu machen. Sie werden mit dem gleichen Vorgehen ebenfalls gefragt, welche Ideen drei der relevanten Wettbewerber verfolgen. Die Ergebnisse werden mit den Projektergebnissen verglichen. Je generativer künstlicher Intelligenz wird zudem der Prozentwert der Übereinstimmungen berechnet.

Ergebnisse: Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse für die Identifikation von Ideen für die Wachstumsfelder. Insgesamt weist PERPLEXITY hier die meisten Übereinstimmungen auf und nennt in der Hälfte der Fälle dieselben Ideen, die im Projekt erarbeitet wurden. Auffällig ist der Unterschied zwischen den Wachstumsfeldern. Während in Wachstumsfeld A nur eine Projektidee identifiziert werden konnte, wurde in Wachstumsfeld C jede Idee mindestens einmal gefunden. PERPLEXITY konnte in diesem Wachstumsfeld sogar alle Ideen aus dem Projekt identifizieren.

Tabelle 8 zeigt den Abgleich der im Projekt recherchierten Ideen der Wettbewerber mit den Ergebnissen der vier generativen künstlichen Intelligenzen. In dieser Analyse liegt CHATGPT

mit großem Abstand vor COPILOT, PERPLEXITY und GEMINI und zeigt zu 50% Überschneidungen mit den Projektergebnissen. Die Ergebnisse von PERPLEXITY und GEMINI fielen bei der Analyse des Outputs im Wesentlichen dadurch auf, dass sie trotz entsprechendem Prompt vorrangig Ideen nannten, die nicht im Bereich des Geschäftsbereichs Wäsche lagen. Weiterhin war auffällig, dass COPILOT zunächst dieselbe Antwort wie auf den ersten Prompt gab. Nach einer Anpassung, die nicht inhaltlich, sondern nur strukturell war, konnten dann andere Ergebnisse generiert werden.

Tabelle 7: Abgleich der im Projekt entwickelten Ideen mit den von der GAI vorgeschlagenen

| Wachstumsfeld | Idee | CHATGPT | COPilot | PERPLEXITY | GEMINI |
|-------------------------|------|------------|------------|------------|------------|
| WFA | A1 | - | - | - | - |
| | A2 | - | x | x | x |
| | A3 | - | - | - | - |
| | A4 | - | - | - | - |
| | A5 | - | - | - | - |
| WFB | B1 | - | - | - | - |
| | B2 | - | - | - | - |
| | B3 | x | x | x | - |
| | B4 | x | - | - | - |
| WFC | C1 | - | - | x | - |
| | C2 | x | - | x | x |
| | C3 | - | x | x | x |
| | C4 | x | x | x | x |
| | C5 | x | - | x | - |
| Übereinstimmung: | | 36% | 29% | 50% | 29% |

Tabelle 8: Abgleich von im Projekt recherchierten Ideen der Wettbewerber mit von GAI recherchierten Ideen

| Wachstumsfeld | Wettbewerberideen | CHATGPT | COPilot | PERPLEXITY | GEMINI |
|-------------------------|-------------------|------------|------------|------------|-----------|
| WFA | AW1 | x | - | - | - |
| | AW2 | - | - | - | - |
| | AW3 | x | - | - | - |
| | AW4 | - | - | - | - |
| | AW5 | - | - | - | - |
| | AW6 | - | - | - | - |
| | AW7 | - | - | - | - |
| WFB | BW1 | x | - | - | - |
| | BW2 | x | - | - | - |
| | BW3 | x | - | - | - |
| WFC | CW1 | x | - | - | - |
| | CW2 | - | x | x | - |
| | CW3 | - | - | - | - |
| | CW4 | x | x | - | - |
| Übereinstimmung: | | 50% | 14% | 7% | 0% |

Fazit: Generative künstliche Intelligenzen scheinen gut bei der Ideenfindung unterstützen zu können. Die Qualität der Ergebnisse ist jedoch stark abhängig vom Themenfeld. Nimmt man das Projektvorgehen und die Ergebnisse der Case Study als Goldstandard, dann erreichen GAI nur bis zu 50% der gewünschten Qualität. Auch scheinen die GAI Ideen oftmals trivialer zu sein als diejenigen aus dem Projekt. Die Recherche von Wettbewerberideen weist geringe Überschneidungen auf, dies mag der zeitlichen Distanz zum Projekt geschuldet sein, aber auch hier konnten nur wenig überraschende Ideen ermittelt werden. Insgesamt fällt in dieser Phase auf, dass gleiche Prompts von verschiedenen GAI unterschiedlich verstanden werden. In diesem Beispiel hätte eine stärkere Betonung des Geschäftsbereichs Wäsche geholfen, um bessere Ergebnisse bei der Identifikation von Ideen der Wettbewerber zu erreichen.

4.4.2 Definition von Wachstumszielen

Für das Umsetzungs-Controlling können verschiedene Perspektiven herangezogen werden. Die klassische *Balanced Scorecard* verwendet beispielsweise die finanzielle Perspektive, die Kundenperspektive, interne Geschäftsprozesse und Lernen und Entwicklung [GP14].

Projektsituation: Die Prognosen von Ziel-Nettoumsätzen und Zielmargen repräsentieren die wirtschaftlichen Ziele, die mit den neuen Marktleistungen erreicht werden sollen. Sie sind die Messgröße für das Umsetzungs-Controlling und basieren auf der Einschätzung der Experten.

Methode und Datenerhebung: Hier wird die GAI nach ihren Einschätzungen zu den Kennzahlen Nettoumsatz als Intervall und Zielmarge befragt. Die Intervalle der Ziel-Nettoumsätze werden über eine Ähnlichkeitsanalyse miteinander verglichen. Dazu wird die Überschneidungslängen der Intervalle berechnet und normiert, sodass pro GAI eine Aussage zur prozentualen Ähnlichkeit mit dem Projektergebnis gemacht werden kann. Die Unterschiede zwischen den prognostizierten Margen werden als absolute Abweichung in Prozentpunkten dargestellt.

Ergebnisse: Tabelle 9 zeigt die Überschneidungen der Umsatz-Intervalle, die Abweichung der Nettoumsatzdurchschnittswerte (prozentual bezogen auf den Mittelwert des von Miele geschätzten Umsatz-Intervalls) und die Abweichungen der Zielmargen.

Tabelle 9: Abweichungen bei der Schätzung der finanziellen Prognosen

| Kennzahl | Wachstumsfeld | CHATGPT | COPilot | PERPLEXITY | GEMINI |
|--|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Überschneidung der Nettoumsatzintervalle | WFA | 13% | 21% | 60% | 31% |
| | WFB | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | WFC | 0% | 0% | 50% | 75% |
| | Mittelwert: | 4% | 14% | 37% | 35% |
| Abweichung der Nettoumsatzdurchschnittswerte | WFA | 74% | -2% | 50% | -35% |
| | WFB | 275% | 125% | 212% | 88% |
| | WFC | 463% | 313% | 50% | -13% |
| | Mittelwert: | 270% | 147% | 104% | 45% |
| Abweichung der Zielmarge | WFA | 7,5% | 10,5% | 0,5% | 20% |
| | WFB | 5% | 2% | -5% | -5% |
| | WFC | 5% | 5% | 5% | -5% |
| | Mittelwert: | 5,8% | 5,8% | 0,2% | 0,8% |

Die Einschätzungen der Umsatz-Intervalle unterscheiden sich deutlich voneinander. CHATGPT und COPilot weisen nur in einem Wachstumsfeld Überschneidungen zum Projekt auf, wenngleich diese mit ~13% bzw. ~21% sehr gering sind. PERPLEXITY und GEMINI können in zwei Wachstumsfeldern Ähnlichkeiten zum Projektergebnis aufweisen und erreichen Ähnlichkeiten von bis zu 75%. Es fällt auf, dass sich die von allen GAI prognostizierten Umsätze in Wachstumsfeld B gänzlich vom Projektergebnis unterscheiden. Beim Vergleich der Mittelwerte der Umsatzintervalle von Miele und von den GAI fällt auf, dass die GAI teilweise um mehrere Vielfache von den Miele Schätzungen abweicht – meist nach oben. Lediglich GEMINI hat gar keine Abweichungen über 100%. Betrachtet man die Zielmargen im Vergleich, fällt auf, dass es in jedem Fall Abweichungen vom Projektergebnis gibt, sowohl nach oben als auch nach unten. PERPLEXITY und GEMINI schätzen die Margen insgesamt geringer ein als CHATGPT und COPilot, wenngleich alle GAI im Durchschnitt über den Projektmarginen liegen. Alle GAIs begründen ihre Einschätzung mit Marktanalysen und Branchentrends und nennen auch Details.

Fazit: GAIs scheinen hilfreiche Anhaltspunkte für wirtschaftliche Einschätzungen geben zu können. Zwar weichen Intervalle der Nettoumsätze und insbesondere die Nettoumsatzdurchschnittswerte insgesamt stark von den Projektergebnissen ab, in einigen Fällen ist jedoch auch eine Überschneidung zu sehen. Bei Zielmargen sind die Abweichungen deutlich geringer, sodass GAIs hier beispielsweise als Plausibilitätscheck für die Einschätzungen von Experten einzusetzen sind. Auch sind die Begründungen in der Regel gut nachvollziehbar, wenn auch generisch. In jedem Fall können die GAI hier einen Beitrag zur Diskussion leisten.

5 Diskussion

In diesem Beitrag haben wir den Nutzen von generativer KI für die Strategiearbeit untersucht. Wir konnten zeigen, dass generative KI in den unterschiedlichen Phasen des Prozesses der strategischen Führung heterogene Nutzenpotenziale entfalten kann. Nachfolgend gehen wir zu-

nächst auf die jeweiligen Erkenntnisse in den einzelnen Phasen und ihre Interpretation ein, bevor wir unsere grundsätzlichen Schlüsse präsentieren. Ferner stellen wir den Bezug zum Stand der Forschung her, besprechen die Limitationen und zeigen zukünftigen Forschungsbedarf auf.

In der **Analysephase** konnten die Tools Fokuswettbewerber größtenteils und weitere relevante Marktbegleiter etwa zur Hälfte identifizieren. Insbesondere neue Marktakteure wurden durch die generative KI nicht erkannt. Bei der **Ermittlung von Optionen** kann GAI bei der Ermittlung von strategischen Variablen unterstützen, wenngleich hier nur zwischen 29% und 53% der im Projekt ermittelten Variablen identifiziert werden konnten. Die Bewertung der Wettbewerber hinsichtlich der strategischen Variablen stellt die GAI noch vor größere Probleme; hier sind große Abweichungen zur Miele-Bewertung mit teils starken Ausreißern zu erkennen. Gleichwohl ist die GAI in ihrem Bewertungsverhalten konsistent. Bei der Ermittlung der strategischen Kompetenzen im Rahmen der **Strategieentwicklung** zeigte sich, dass die GAI weniger als die Hälfte der im Projekt erarbeiteten strategischen Kompetenzen identifizieren konnte und dabei einen starken Fokus auf nach außen gerichteten strategischen Kompetenzen legt und interne vernachlässigt. Bei der **Strategieumsetzung** konnten die GAIs nur zwischen 29% und 50% der Projektideen replizieren, auch die Wettbewerberideen konnten nicht hinreichend erkannt werden. Bei der wirtschaftlichen Bewertung sind ebenso größere Abweichungen zu erkennen.

Bei der Reflexion über die Projektarbeit und den Aufwand zur Nutzung von ChatGPT kommen wir zu dem Schluss, dass generative künstliche Intelligenz gut geeignet ist, **Impulse** für die unterschiedlichen Tätigkeiten im Strategieprozess zu liefern. Sie kann den Prozess insbesondere durch ihre Recherche- und Ideation-Fähigkeiten **beschleunigen**, indem sie erste Ansatzpunkte für Diskussionen liefert. Auf Basis unserer Untersuchungen ist eine Abschätzung der Größenordnung jedoch noch schwierig. GAI kann ferner die Qualität der Ergebnisse marginal **verbessern**, indem sie Perspektiven einbringt, die das Projektteam sonst ggf. übersehen hätte. Gleichwohl braucht es die Fach bzw. Domänenexpertise der Mitarbeiter, um die Aussagen einordnen und validieren zu können. Auch der **Einsatz von Methoden** im Strategieprozess hat sich bei der Analyse als zweckmäßig herausgestellt, die Dokumentation in Templates und Canvases sorgt dafür Informationen strukturiert bereitzustellen und weiter verarbeiten zu können.

Besonderer Fokus der Antworten liegt auf der **Markt- und Wettbewerbsperspektive**. Aspekte, die aufgrund der Ausgangssituation des Unternehmens relevant sind, werden erst durch entsprechendes Prompting für die GAI berücksichtigbar. Hier gilt es gleichwohl abzuschätzen, ob die im Prompt offenbarten Interna tatsächlich einer GAI übergeben werden können. In der Regel stehen Geheimhaltungsinteressen entgegen. Negative Beispiele, wie das Leaken geheimer Daten von Samsung über CHATGPT [Eco23-ol] bestätigen diese Bedenken. Insbesondere für nicht-Experten ist zudem das Formulieren eines guten Prompts eine Herausforderung [ZWH+23]. Beim Prompting für die Strategiearbeit gilt gleichermaßen: systematisch Iterieren bis die GAI zufriedenstellend klare Aussagen liefern.

Zusammenfassend sehen wir derzeit den größten Nutzen der GAI dort, wo markt- bzw. wettbewerbsbezogene Fragestellungen durch einfach Recherchen oder Ideengenerierung beantwortet werden sollen. Dort wo interne Informationen benötigt werden oder komplexere Bewertungen angestellt werden sollen scheinen die GAIs dagegen noch nicht sonderlich hilfreich zu sein.

Unsere These ist daher, dass die GAI insbesondere in den frühen Phasen der Strategiearbeit (Analyse und Ermittlung von Optionen) oder bei einfachen Einschätzungen hilfreich sein kann.

Im Vergleich zu bisherigen Untersuchungen zum Einsatz von GAI bei der Strategiearbeit, z.B. [FJT+23] oder [DMM+23], betrachten wir beispielhafte Facetten des Prozesses der strategischen Führung im Querschnitt. Auch folgte der Prozess der strategischen Führung weniger einem deterministischen als einem iterativen Ablauf und weist daher große Freiheitsgrade auf.

Unsere Untersuchung unterliegt Limitationen. Zunächst ist sie schon allein vom Forschungsdesign her qualitativer Natur und liefert bestenfalls anekdotische Evidenz. Die Grundannahme, dass die im Projekt erarbeiteten Ergebnisse der Goldstandard sind, an der sich die GAI messen lassen müssen, ist ebenfalls eine Einschränkung. Es ist möglich, dass die GAI zweckmäßige Vorschläge oder Bewertungen vorgenommen hat, die das Projektteam in seiner Arbeit übersehen oder falsch vorgenommen hat. Damit sind die hier getroffenen Einschätzungen als tendenziell pessimistisch einzuordnen. Weitere Limitationen ergeben sich durch unsere Wahl der Prompts für die GAI. Wenngleich die Beteiligten sich mit der systematischen Generierung von Prompts befasst haben, kann es sein, dass anders formulierte Prompts bessere Ergebnisse geliefert hätten. Zuletzt ist auch die Anzahl der aufgenommenen Datenpunkte und deren Analyse eine Begrenzung; sie erlauben lediglich eine Indikation, keine statistische Repräsentativität.

Die Nutzung generativer KI für die Strategiearbeit steht noch am Anfang. Der weitere Forschungsbedarf ist daher enorm. Es gilt zu reflektieren, wie sich Methoden oder Ansätze durch generative KI ändern müssen, bspw. um Limitationen der Technologie zu mitigen. Zudem kann GAI auch neuen Ansätzen in der Strategiearbeit führen (z.B. Prompt-a-thon). Denkbar sind auch speziell für die Strategiearbeit trainierte GAI. Hier ergeben sich große Potentiale für gestaltungsorientierte Forschung und innovative Praktiker. Auch für qualitative Forschung im Bereich Strategie & GAI eröffnen sich mannigfaltige Perspektiven. Beispielsweise könnten Affordances (Erleichterungen) durch Befragungen der Nutzer herausgearbeitet oder Heuristiken in der Anwendung identifiziert werden. Zuletzt sind auch quantitativen Untersuchung in den unterschiedlichen Facetten der Strategiearbeit höchst spannend. Es könnten beispielsweise kontrollierte Experimente (analog zu DELL'ACQUA [DMM+23]) durchgeführt werden, um den Einfluss von GAI auf die Erarbeitung von Strategien tatsächlich messbar zu machen.

6 Fazit

In diesem Beitrag haben wir die Ergebnisse eines Strategieprojekts bei Miele mit den Aussagen und Empfehlungen von vier generativen künstlichen Intelligenzen verglichen. Dazu haben wir einzelne Aufgaben aus den vier inhaltlichen Phasen der strategischen Führung untersucht: Analyse, Ermittlung von Optionen, Strategieentwicklung und Strategieumsetzung. Es wird klar, dass GAI viele wertvolle Impulse für die Strategiearbeit liefern kann. Sie liefert erste Ansätze, auf denen beispielsweise in Workshops aufgebaut werden kann. Dadurch kann die strategische Planung sicherlich beschleunigt werden – insbesondere im Bereich Recherche und Ideenfindung. Allerdings sollte sie nie unreflektiert eingesetzt werden. Es braucht immer Fachexperten,

um die Ergebnisse zu bewerten und einzuordnen. In Summe kommen wir aufgrund der dargelegten Experimente zu dem Schluss, dass uns die generativen KIs bei unserem Projekt nutzenstiftend hätten unterstützen können; zumindest sehen wir einen Effizienzgewinn, wahrscheinlich sogar eine Verbesserung der Qualität durch eine zusätzliche Perspektive.

Wenngleich wir mit unserem Beitrag einen Einblick in die Möglichkeiten des Einsatzes von GAI in der strategischen Planung geben, bleiben noch viele wichtige Aspekte unbeleuchtet. Wir ermutigen den geneigten Leser kreativ weiterzudenken und den Spielraum zu erkunden. Dafür braucht es Mut, Kreativität und Reflexion – drei wahrlich *sehr menschliche* Eigenschaften.

Literatur

- [And97] ANDREWS, K. R.: The Concept of Corporate Strategy. In: Foss, N. J. (Hrsg.): Resources, firms, and strategies – A reader in the resource-based perspective. Oxford management readers, Oxford University Press, New York, Oxford, Athens, 1997, S. 52–60
- [Bät04] BÄTZEL, D.: Methode zur Ermittlung und Bewertung von Strategiealternativen im Kontext Fertigungstechnik. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlags-schriftenreihe, Band 141, Paderborn, 2004
- [BEA+24] BILOSLAVO, R.; EDGAR, D.; AYDIN, E.; BULUT, CAGRI BILOSLAVO, ROBERTO; BULUT, C.: Artificial intelligence (AI) and strategic planning process within VUCA environments: a research agenda and guidelines. Management Decision, ahead of print, 2024
- [BKM+23] BRACKEL-SCHMIDT, C. VON; KUČEVIĆ, E.; MEMMERT, L.; TAVANAPOUR, N.; CVETKOVIC, I.; BITTNER, E. A. C.; BÖHMANN, T.: A User-centric Taxonomy for Conversational Generative Language Models: ICIS 2023 Proceedings. Forty-Fourth International Conference on Information Systems, 10-13 Dezember, Hyderabad, 2023
- [BMK+17] BARTON, D.; MANYIKA, J.; KOLLER, T.; PALTER, R.; GODSALL, J.; ZOFFER, J.: Measuring The Economic Impact Of Short-Termism, 2017
- [CHR+23] CHUI, M.; HAZAN, E.; ROBERTS, R.; SINGLA, A.; SMAJE, K.; SUKHAREVSKY, A.; YEE, L.; ZEMMEL, R.: The economic potential of generative AI – The next productivity frontier. McKinsey & Company, 2023
- [DMM+23] DELL'ACQUA, F.; MCFOWLAND, E.; MOLICK, E. R.; LIFSHITZ-ASSAF, H.; KELLOGG, K.; RAJENDRAN, S.; KRAYER, L.; CANDELON, F.; LAKHANI, K. R.: Navigating the Jagged Technological Frontier: Field Experimental Evidence of the Effects of AI on Knowledge Worker Productivity and Quality. SSRN Electronic Journal, 2023
- [Eco23-ol] THE ECONOMIST: [Exklusiv] Bedenken werden Realität... Sobald Samsung Electronics ChatGPT entsperrt, geht der „Missbrauch“ weiter [Übersetzt mit Google]. Unter: <https://economist.co.kr/article/view/ecn202303300057?s=31>, 1. August 2024
- [FJH+24] FEUERRIEGEL, S.; HARTMANN, J.; JANIESCH, C.; ZSCHECH, P.: Generative AI. Business & Information Systems Engineering, (66)1, 2024, S. 111–126
- [FJT+23] FISCHER, D.; JOACHIM, V.; TRANAES, S.; JUNG, H. H.: KI in der Vorausschau – Kritische Evaluation der Anwendung von generativer KI am Beispiel von ChatGPT in der Szenario-Technik. In: Dumitrescu, R.; Hölzle, K. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 17. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, 14.-15. September 2023, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 413, 2023
- [FSG23] FISCHER, D.; SCHMIDT, D. R.; GASPERS, D.: OpportUNITY: Zukunftsrobuste Geschäftsplanung. 2. Auflage, Büren, 2023
- [Glu76] GLUECK, W. F.: Business policy – Strategy formation and management action. 2nd Edition, McGraw-Hill, New York, 1976

- [GP14] GAUSEMEIER, J.; PLASS, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. 2. Auflage, Hanser, München, 2014
- [Hin90] HINTERHUBER, H. H.: Wettbewerbsstrategie. 2. Auflage, De Gruyter Lehrbuch, De Gruyter, Berlin, 1990
- [HM23] HRYNCHAK, N.; MOTUZKA, O.: The Key Administrative Competencies of Managers Required for Company Development in the Bani World. *ECONOMICS*, (11)1, 2023, S. 289–305
- [JBH+24] JOOSTEN, J.; BILGRAM, V.; HAHN, A.; TOTZEK, D.: Comparing the Ideation Quality of Humans With Generative Artificial Intelligence. *IEEE Engineering Management Review*, (52)2, 2024, S. 153–164
- [KAK24] KEICHER, L.; ARDILIO, A.; KORELL, M.: Generative KI im Innovationsmanagement. Fraunhofer IAO, 2024
- [Lem80] LEMBKE, P. M.: Strategisches Produktmanagement – Organisation der Produktplanung als integrativer Bestandteil der Unternehmensplanung. De Gruyter, Berlin, 1980
- [Mar01] MARKIDES, C. C.: So wird Ihr Unternehmen einzigartig – Ein Praxisleitfaden für professionelle Strategieentwicklung. Campus-Verlag, Frankfurt/Main New York, 2001
- [PG88] PÜMPIN, C.; GEILINGER, U. W.: Strategische Führung – Aufbau strategischer Erfolgspositionen in der Unternehmenspraxis. 2. Auflage, Die Orientierung Band 76, Schweizerische Volksbank, Bern, 1988
- [Por96] PORTER, M. E.: What is strategy? *Harvard Business Review*, (74)6, 1996, S. 61–78
- [Por97] PORTER, M. E.: Nur Strategie sichert auf Dauer hohe Erträge. *Harvard Business Manager*, Heft 3, 1997, S. 42–58
- [TS04] THOMPSON, A. A.; STRICKLAND, A. J.: Strategic management – Concepts and cases. 13th Edition, McGraw-Hill/Irwin, Boston, Mass., 2004
- [WHB+21] WEIGAND, J.; HOFFMANN, S.; BRANTNER, Y.; MÜLLER, S.; EBNER, R.; KLENK, C.; RUZICIC, N.; GLÜCK, F.; ZYTHKE, P.: Künstliche Intelligenz im Innovationsmanagement. Fraunhofer IAO, 2021
- [WHB+21] WEIGAND, J.; HOFFMANN, S.; BRANTNER, Y.; MÜLLER, S.; EBNER, R.; KLENK, C.; RUZICIC, N.; GLÜCK, F.; ZYTHKE, P.: Künstliche Intelligenz im Innovationsmanagement. Fraunhofer IAO, 2021
- [ZWH+23] ZAMFIRESCU-PEREIRA, J. D.; WONG, R. Y.; HARTMANN, B.; YANG, Q.: Why Johnny Can't Prompt: How Non-AI Experts Try (and Fail) to Design LLM Prompts. In: Schmidt, A.; Väänänen, K.; Goyal, T.; Kristensson, P. O.; Peters, A.; Mueller, S.; Williamson, J. R.; Wilson, M. L. (Hrsg.): *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '23: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 23 04 2023 28 04 2023, Hamburg Germany, ACM, New York, NY, USA, 2023, S. 1–21

Autoren

Dr.-Ing. Marvin Drewel ist Head of Strategic Partnerships & Innovation bei der Miele & Cie. KG und damit für den Aufbau und Betrieb des OEM-Geschäfts im Bereich der Wäschepflege verantwortlich. Darunter fällt auch die Erschließung definierter Wachstumsfelder durch neue Geschäftsmodelle sowie die Aufgabe radikale Innovationen im Sinne einer Business-Case-Betrachtung zu untersuchen und unternehmensinterne Umsetzungsempfehlungen zu formulieren. Er promovierte bei Prof. Gausemeier zu den Auswirkungen digitaler Plattformen im produzie-

renden Gewerbe und leitete in der Zeit ein Team im Bereich Strategieentwicklung & Innovationsmanagement. Zuvor studierte er Wirtschaftsingenieurwesen in der Fachrichtung Maschinenbau an der Universität Paderborn.

Dr. Dominik Fischer ist Head of Strategy & Innovation und damit bei der UNITY AG standortübergreifend für die Themen Strategische Vorausschau, Strategie, Innovationsmanagement und Geschäftsmodellentwicklung verantwortlich. Seit 2010 hat er in diesen Bereichen über 100 Projekte zum Erfolg geführt. Neben mittelständischen Unternehmen sind DAX-Konzerne seine Kunden. Projekteinsätze führten ihn ins europäische Ausland sowie nach Brasilien, China, Israel, Jordanien und Singapur. Mit einem Stipendium der Konrad-Adenauer-Stiftung studierte er International Business an der Universität Paderborn sowie an der Ewha University in Seoul, Südkorea. Er promovierte an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg mit einer Arbeit zur Strategie der Daimler-Benz AG.

Dr. Anna Gehring ist Senior Consultant in den Themenfeldern Strategie und Customer, Sales and Service Excellence bei der UNITY AG in Büren. In ihren Projekten bringt sie ihre Erfahrungen aus verschiedenen Branchen ein, u.a. Maschinen- und Anlagenbau, Automotive, öffentlicher Sektor und Konsumgüter. Sie ist zudem Lehrbeauftragte für digitale Serviceinnovationen an der Universität Paderborn, wo sie mit einem Stipendium des Studienfonds OWL International Business und Betriebswirtschaftslehre studierte. Sie promovierte am Marketing-Department der Freien Universität Berlin zum Thema Customer-Success-Management im B2B-Marketing.

Dr.-Ing. Christian Koldewey ist Oberingenieur am Lehrstuhl für Advanced Systems Engineering (Prof. Dumitrescu) des Heinz Nixdorf Instituts der Universität Paderborn. Er promovierte bei Prof. Gausemeier zur Strategieentwicklung für datenbasierte Dienstleistungen im produzierenden Gewerbe. Zuvor studierte er Maschinenbau an der Universität Paderborn und der Fachhochschule Bielefeld. Ferner sammelte er Industrieerfahrung bei der Miele & Cie. KG und der Paul Hettich GmbH & Co. KG.

Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu ist Direktor am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM und Leiter der Fachgruppe Advanced Systems Engineering am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Produktentstehung intelligenter technischer Systeme. In Personalunion ist Prof. Dumitrescu Geschäftsführer des Technologienetzwerks Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe (it's OWL).

Session III

Leitfaden zur Planung von Datenanalysen zur Entscheidungsunterstützung im Produktmanagement

***Khoren Grigoryan¹, Lucas Martin¹, Timm Fichtler², Jannik Reinhold³,
Laban Asmar¹, Arno Kühn¹, Roman Dumitrescu^{1,2}***

¹ Fraunhofer Institut für Entwurfstechnik Mechatronik, khoren.grigoryan@iem.fraunhofer.de, lucas.martin@iem.fraunhofer.de, laban.asmar@iem.fraunhofer.de, arno.kuehn@iem.fraunhofer.de, roman.dumitrescu@iem.fraunhofer.de

² Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, timm.fichtler@hni.upb.de

³ WAGO GmbH & Co. KG, jannik.reinhold@wago.com

Zusammenfassung

In der heutigen digitalen Geschäftswelt gewinnen Datenanalysen zunehmend an Bedeutung für das Produktmanagement. Die systematische Auswertung von Daten ermöglicht es Unternehmen, produktrelevante Trends frühzeitig zu identifizieren, daraus Produktideen abzuleiten und fundierte Entscheidungen für ihre Produktstrategie zu treffen. Ein wesentlicher Treiber ist der rasante Fortschritt von Künstlicher Intelligenz in den letzten Jahren. Insbesondere durch den Einsatz von Large Language Models (LLMs) eröffnen sich neue Möglichkeiten zur Analyse natürlicher Sprache und anderer Datenquellen. Trotz der wachsenden Relevanz existiert bisher kein standardisiertes Verfahren zur Planung von Datenanalysen zur Entscheidungsunterstützung im Produktmanagement. Dieser Beitrag adressiert diese Lücke und entwickelt einen systematischen Ansatz, der eine effektivere Nutzung von Datenanalysen im Produktmanagement ermöglicht.

Das Ergebnis ist ein detaillierter Leitfaden, der konkrete Schritte zur Planung von Datenanalysen zur Entscheidungsunterstützung im Produktmanagement aufzeigt. Im Fokus steht die Unterstützung bei der Formulierung von Anforderungen an die Datenanalyse. Anhand des Use Cases „Social Media-Analyse“ des Industrieunternehmens WAGO, einem weltweit führenden Anbieter für elektrische Verbindungstechnik und Automatisierungstechnik, wird die Anwendung des Leitfadens genauer dargestellt. Der Leitfaden enthält unter anderem eine Kategorisierung von Social Media-Kanälen, geeignete Analysetypen und Visualisierungsmöglichkeiten zur Unterstützung von Entscheidungsprozessen. Die Anwendung zeigt, dass strukturierte Datenanalysen die Entscheidungsfindung im Produktmanagement erheblich verbessern können. Die Schlussfolgerungen unterstreichen die Praxisrelevanz des Leitfadens und betonen die Notwendigkeit weiterer Validierung durch zusätzliche Anwendungsfälle und Unternehmen.

Schlüsselworte

Produktmanagement, Produktmanager, Datenanalyse, Datenvisualisierung, Social Media-Analyse, Anforderungserhebung, Datenbasierte Entscheidungsunterstützung

Guideline for Planning Data Analytics for Decision Support in Product Management

Abstract

In today's digital business world, data analytics is becoming increasingly important for product management. Systematic data evaluation enables companies to identify product-relevant trends early, derive product ideas, and make informed decisions for their product strategy. A significant driver is the rapid advancement of artificial intelligence in recent years. In particular, the use of Large Language Models (LLMs) opens up new possibilities for analyzing natural language and other data sources. Despite the growing relevance, there is still no standardized procedure for planning data analytics to support decision-making in product management. This paper addresses this gap and develops a systematic approach that enables more effective use of data analytics in product management.

The result is a detailed guideline that outlines concrete steps for planning data analytics to support decision-making in product management. The focus is on assisting in the formulation of data analytics requirements. The application of the guideline is illustrated using the "Social Media Analysis" use case of the industrial company WAGO, a leading global provider of electrical connection and automation technology. The application shows that structured data analytics can significantly improve decision-making in product management. The conclusions emphasize the practical relevance of the guideline and the need for further validation through additional use cases and companies.

Keywords

Product Management, Product Manager, Data Analytics, Data Visualization, Social Media Analysis, Requirements Elicitation, Data-Driven Decision Support

1 Einleitung

Das Produktmanagement (PM) in produzierenden Unternehmen durchläuft derzeit einen tiefgreifenden Wandel. Dieser wird durch Megatrends wie Digitalisierung und Nachhaltigkeit vorangetrieben und erfordert eine schnelle Anpassung sowohl bestehender als auch zukünftiger Marktangebote, um den steigenden Anforderungen gerecht zu werden [HIÖ20]. Dabei spielt das Produktmanagement eine zentrale Rolle bei der Anpassung des aktuellen Produktpportfolios an diese sich verändernden Anforderungen und gleichzeitig bei der strategischen Auswahl von Zielen innerhalb der Grenzen begrenzter Ressourcen. Diese Zuständigkeit unterstreicht die Kernziele des Produktmanagements: langfristige Kundenzufriedenheit sichern, Wettbewerbsvorteile fördern und den Unternehmenserfolg maximieren [Ebe07], [Gor03]. Im Verlauf des Produktlebenszyklus fungieren Produktmanager als zentrale Koordinatoren, vergleichbar mit „Mini-CEOs“, die sowohl die Strategieentwicklung als auch die operative Umsetzung vorantreiben [Ebe07]. In dieser vielschichtigen Rolle ist der Zugang zu umfassenden Informationen über den Produktlebenszyklus von entscheidender Bedeutung. Die Analyse produktbezogener Daten stellt daher einen vielversprechenden Ansatz zur Wissensgenerierung dar [GHS+17-ol].

Die Verbreitung der Digitalisierung hat den Zugang zu Daten demokratisiert und Produktmanager mit einer Fülle von Informationen aus verschiedenen Quellen überhäuft, z. B. Feedback aus sozialen Medien, Markttrends und Produktnutzungsdaten. Durch die gezielte Analyse von Daten können Unternehmen aufkommende Marktbewegungen, Produktmängel und sich veränderndes Nutzerverhalten identifizieren und sowohl Produkt- als auch Kundeninformationen in Innovationstreiber und Wettbewerbsvorteile umwandeln [HSU+16], [MFK+22], [PH15], [SP22]. Inmitten dieser Datenfülle liegt jedoch eine Herausforderung: die Notwendigkeit, umsetzbare Erkenntnisse zu gewinnen und diese nahtlos in Entscheidungsprozesse zu integrieren. Gegenwärtig basiert die Entscheidungsfindung im Produktmanagement von Fertigungsunternehmen häufig auf der Erfahrung, dem Wissen und der Intuition einzelner Stakeholder, während die Datenintegration zurückbleibt [GFS+23]. Dies unterstreicht die dringende Notwendigkeit eines Übergangs zu datengetriebenen Entscheidungsprozessen sowie einem klaren Verständnis von relevanten Anwendungsfällen [FGK+23], [GFS+23].

Trotz zahlreicher potenzieller Ansatzpunkte für Datenanalysen im Produktmanagement [FGK+23] mangelt es Produktmanagern nach wie vor an umfassender Expertise darüber, wie Datenanalysen ihre strategischen und operativen Ziele unterstützen können [MPL+21]. Darüber hinaus fehlen klar definierte Richtlinien und Best Practices für die Formulierung von Anforderungen an die Datenanalyse, die spezifisch auf die Bedürfnisse und Herausforderungen des Produktmanagements zugeschnitten sind. Die meisten Misserfolge bei der Planung von Datenanalysen zur Entscheidungsunterstützung sind nicht auf technologische Mängel zurückzuführen, sondern auf nicht erfüllte Erwartungen oder unerwartete Anforderungen. Die Definition präziser Anforderungen bildet die Grundlage für eine erfolgreiche Planung und Entwicklung einer Entscheidungsunterstützung [She14]. Ein umfassender und systematischer Ansatz zur Erfassung und Strukturierung dieser Anforderungen ist daher entscheidend, um die Integration von Datenanalysen in Entscheidungsprozesse zu verbessern und die Effizienz und Effektivität des Produktmanagements zu steigern.

Zur Schließung dieser Forschungslücke wird folgende Forschungsfrage untersucht: *Wie können Anforderungen an die Datenanalyse zur Entscheidungsunterstützung im Produktmanagement systematisch erhoben werden?* Der folgende Beitrag ist wie folgt gegliedert: Abschnitt 2 skizziert das methodische Vorgehen, Abschnitt 3 präsentiert den Stand der Forschung, Abschnitt 4 fasst die Ergebnisse zusammen, Abschnitt 5 beschreibt Erfahrungen und Erkenntnisse aus der Anwendung mit dem Unternehmen WAGO und Abschnitt 6 schließt den Beitrag mit einem Resümee und einem Ausblick ab.

2 Methodisches Vorgehen

Für die Entwicklung einer Methode zur Planung von Datenanalysen, die Entscheidungen im Produktmanagement unterstützen, sind verschiedene Forschungsansätze in Betracht gezogen worden. Die wichtigsten Ansätze werden nachfolgend kurz beschrieben: **Design Science Research** (DSR) konzentriert sich auf die Schaffung und Bewertung von Artefakten, die zur Lösung von Problemen verwendet werden. DSR betont die iterative Entwicklung und Evaluation von Artefakten, um deren Nützlichkeit und Effektivität zu gewährleisten [HMP+04]. **Aktionsforschung** legt den Schwerpunkt auf die Zusammenarbeit zwischen Forschern und Praktikern, um praktische Probleme zu lösen und gleichzeitig theoretische Erkenntnisse zu gewinnen. Aktionsforschung beinhaltet iterative Zyklen von Planung, Handlung, Beobachtung und Reflexion. Der Fokus liegt dabei stark auf der praxisnahen Problemlösung [Lew46]. **Fallstudienforschung** untersucht ein Phänomen innerhalb seines realen Kontexts, oft durch detaillierte Analysen einzelner Fälle. Fallstudienforschung eignet sich besonders für explorative Forschung und das Verständnis komplexer Zusammenhänge [Yin09].

Action Design Research (ADR) wurde für diese Studie gewählt, da es die Vorteile von Design Science Research und Aktionsforschung kombiniert [SHP+11]. ADR integriert die Perspektiven von Wissenschaft und Praxis in den Forschungsprozess und fördert die Entwicklung und Evaluation von Artefakten in iterativen Zyklen. Diese Methode ermöglicht die Generierung wissenschaftlicher Erkenntnisse durch den direkten Austausch zwischen Forschern und Praktikern und besteht aus vier Phasen: 1) Problemformulierung, 2) Gestaltung, Intervention und Evaluation, 3) Reflexion und Schlussfolgerung sowie 4) Generalisierung der Schlussfolgerung (siehe Bild 1) [SHP+11]. Die vier Phasen werden im Folgenden erläutert und beinhalten verschiedene Prinzipien (Pr.), die die grundlegenden Annahmen und Voraussetzungen der Phasen enthalten.

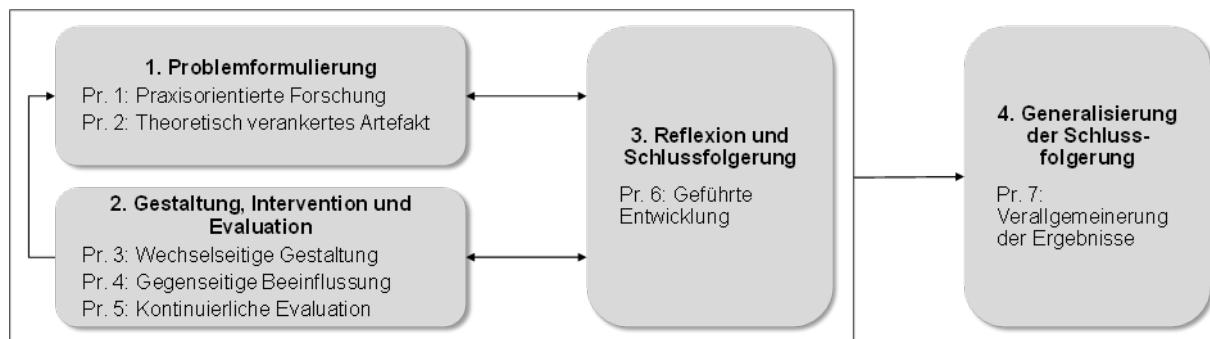


Bild 1: Methodisches Vorgehen: Action Design Research (Phasen und Prinzipien)

Die Forscher und Praktiker bilden das ADR-Team. Gemeinsam durchlaufen sie die ersten drei Phasen der Methode und arbeiten an einem spezifischen Problem, um eine Lösung zu entwickeln. Die Ergebnisse werden dann in der vierten Phase verallgemeinert.

Phase 1 (Problemformulierung): In dieser Phase wird das Forschungsproblem identifiziert und konzeptualisiert. Das Ziel dieser ersten Phase ist es, ein klares Forschungsziel zu definieren und ein geeignetes Anwenderunternehmen auszuwählen. Das Forschungsteam wird zusammengestellt, um die spezifischen Anforderungen und Ziele der Studie zu bestimmen. Das Forschungsziel umfasst die Planung von Datenanalysen zur Entscheidungsunterstützung im Produktmanagement. Danach erfolgt die Auswahl eines geeigneten Unternehmens, das bereit ist, aktiv an der Studie teilzunehmen. [SHP+11]

Phase 2 (Gestaltung, Intervention und Evaluation): In dieser Phase wird ein Leitfaden entwickelt und in der Praxis angewendet. Das Forschungsteam und die Praxispartner arbeiten eng zusammen, um den Leitfaden iterativ zu verbessern. Diese Phase umfasst die Prinzipien der wechselseitigen Gestaltung, der gegenseitigen Beeinflussung und der kontinuierlichen Evaluation. Die Inhalte und Methoden des Leitfadens werden basierend auf bestehenden Ansätzen aus der Literatur zusammengestellt, wobei spezifische Herausforderungen des Produktmanagements integriert werden. Der Leitfaden enthält strukturierte Anweisungen und Methoden zur Planung von Datenanalysen. Er wird iterativ entwickelt und umfasst verschiedene Aspekte der Datenanalyse, um eine umfassende Entscheidungsunterstützung zu gewährleisten. [SHP+11]

Phase 3 (Reflexion und Schlussfolgerung): Diese Phase dient der Reflexion über die bisherigen Erfahrungen und Erkenntnisse. Es wird analysiert, wie die Leitfäden und Methoden verbessert werden können und Anpassungsbedarf wird mittels moderierten Brainstormings identifiziert und festgehalten. Geführte Entwicklung ist ein zentrales Prinzip in dieser Phase. [SHP+11]

Phase 4 (Generalisierung der Schlussfolgerung): In der letzten Phase werden die gewonnenen Erkenntnisse formalisiert und verallgemeinert. Dies ermöglicht es, die Ergebnisse auf andere Kontexte zu übertragen und allgemeingültige Prinzipien abzuleiten. Der angepasste Leitfaden stellt sicher, dass zukünftige Analysen noch zielgerichteter und effizienter durchgeführt werden können. [SHP+11]

Tabelle 1: Zusammenfassung des ADR-Prozesses

| Phase 1: Problemformulierung | | |
|------------------------------|---|--|
| Pr. 1 | Die Forschung wurde durch die Notwendigkeit motiviert, einen Leitfaden für die Durchführung von Datenanalysen zur Entscheidungsunterstützung im Produktmanagement zu entwickeln. | Erkenntnis: Unternehmen fehlt ein standardisierter Ansatz zur Planung von Datenanalysen im Produktmanagement. |
| Pr. 2 | Die theoretische Basis ist die bestehende Literatur zu datenbasiertem Produktmanagement und Analysemethoden [She14], [GFS+23], [GFA+24]. Die Auswahl des Use Cases für die Datenanalyse | |

| | | |
|--|---|--|
| | ist orientiert an dem Vorgehen nach FICHTLER ET AL. [FKG+24]. | |
|--|---|--|

Phase 2: Gestaltung, Intervention und Evaluation

| | | | |
|-------|---|---|--|
| Pr. 3 | In enger Zusammenarbeit mit PM-Experten wurde iterativ ein Leitfaden entwickelt, der die spezifischen Herausforderungen im Produktmanagement adressiert. | Alpha-Version: Initialer Leitfaden zur Datenanalyse im Produktmanagement, basierend auf Literaturrecherche und ersten Experteninterviews. Beta-Version: Erweiterung des Leitfadens durch praktische Workshops zur Verbesserung und Validierung der Methoden. | |
| Pr. 4 | Das ADR-Team bestand aus Forschern des Fraunhofer- und Heinz Nixdorf Instituts und PM-Experten aus dem Unternehmen WAGO, um sowohl theoretische als auch praktische Perspektiven einzubeziehen. | | |
| Pr. 5 | Der Leitfaden wurde vom ADR-Team evaluiert und angepasst. | | |

Phase 3: Reflexion und Schlussfolgerung

| | | |
|-------|--|---|
| Pr. 6 | Die Gesamtnatur des Leitfadens und seine Anwendbarkeit wurden reflektiert. Zusätzlich wurden Elemente angepasst und unterstützende Designelemente hinzugefügt. | Realisierung: Neue Anforderungen und Detailverbesserungen des Leitfadens, basierend auf den Ergebnissen der Phase Gestaltung, Intervention und Evaluation sowie der praktischen Anwendung. |
|-------|--|---|

Phase 4: Generalisierung der Schlussfolgerung

| | | |
|-------|---|--|
| Pr. 7 | Basierend auf den Erkenntnissen wurde eine generalisierte Methode zur Planung und Durchführung von Datenanalysen im Produktmanagement entwickelt. | Ganzheitliche-Version: Optimierte und generalisierte Leitfaden für datengetriebene Entscheidungen im Produktmanagement. |
|-------|---|--|

Durch die Orientierung am ADR-Ansatz wird sichergestellt, dass der Forschungsprozess sowohl praxisrelevant als auch theoretisch fundiert ist. Dies ermöglicht eine kontinuierliche Verbesserung und Anpassung der entwickelten Lösungen, um den spezifischen Anforderungen des Produktmanagements gerecht zu werden.

3 Forschungsarbeiten zum datenbasierten Produktmanagement

In diesem Abschnitt wird der aktuelle Forschungsstand zum Thema datenbasiertes Produktmanagement erläutert. Es wird ein Überblick über die wichtigsten Konzepte und Ansätze gegeben, die die Grundlage für datenbasierte Entscheidungsprozesse im Produktmanagement bilden.

Die zunehmende Verfügbarkeit von Daten erfordert von Produktmanagern eine datengetriebene Denkweise. LIN betont, dass datenbasierte Entscheidungen im Produktmanagement zu höherer Produktivität und Profitabilität führen [Lin18]. Um dies zu erreichen, benötigen Unternehmen eine Strategie zur Generierung, Sammlung, Analyse und Verbesserung von Daten. DE & BAROI weisen darauf hin, dass Entscheidungen über die Entwicklung von Funktionen häufig auf Interviews, Feedback und der Intuition von Produktmanagern basieren, was nicht immer den Kundenanforderungen entspricht [DB22]. Entscheidungen, die auf analytischen Modellen und präzisen Zahlen aus Umfragen basieren, bieten bessere Einblicke und entsprechen mit höherer Wahrscheinlichkeit den Kundenanforderungen. GRIGORYAN ET AL. erweitern diese Idee und beschreiben eine Vision des datengetriebenen Produktmanagements, bei der alle relevanten Produktdaten gesammelt und kombiniert werden, um faktenbasierte Entscheidungen zu treffen [GFS+23]. FICHTLER ET AL. untersuchen in ihrer systematischen Literaturübersicht die Hauptkonzepte und Potenziale des datengetriebenen Produktmanagements und zeigen, dass diese auf verschiedenen Ebenen wirksam sind: Unternehmen, Prozesse und Produkte können durch datenbasiertes Produktmanagement verbessert werden [FGK+23]. Die Anwendungsgebiete sowie konkrete Use Cases für datenbasiertes Produktmanagement werden ebenfalls in Untersuchungen vertieft [FKG+24], [GFA+24].

Strategisches Produktmanagement: Im strategischen Produktmanagement stehen Aufgaben wie Innovationsmanagement, Management bereits eingeführter Produkte und Markenmanagement im Vordergrund [Eve10], [GRS+15], [Web15]. Verschiedene Prozessmodelle und methodische Werkzeuge unterstützen die Umsetzung erfolgreichen Produktmanagements. Traditionell werden Methoden der Marktforschung zur Analyse von Märkten, Bestimmung von Produktanforderungen und Prüfung von Produkten eingesetzt [Eve10]. Eine ganzheitliche, datenbasierte Sicht auf das Produkt und seine Betriebsphase fehlt jedoch bisher.

Vorgehensmodelle für Datenanalyse: Vorgehensmodelle für Datenanalysen bieten strukturierte Ansätze, um Daten systematisch zu sammeln, zu analysieren und zu interpretieren. Solche Modelle sind unerlässlich, um komplexe Datenanalyseprojekte effizient und zielgerichtet durchzuführen. Ein häufig genutztes Modell ist das KDD (Knowledge Discovery in Databases), welches den Prozess des Entdeckens nützlicher Informationen aus großen Datenbeständen beschreibt [FPS96]. CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining) ist ein sehr verbreitetes und praxisnahe Modell. CRISP-DM gliedert den Datenanalyseprozess in sechs Phasen: Geschäftsverständnis, Datenverständnis, Datenvorbereitung, Modellierung, Evaluation und Bereitstellung [Cha00]. Dieses Modell ist flexibel und kann an verschiedene Geschäftsprobleme und Datentypen angepasst werden. Trotz der breiten Akzeptanz und Anwendung von CRISP-DM in verschiedenen Industrien wird dieses Modell in der spezifischen Literatur zum Produktmanagement nur selten direkt adressiert. Es fehlen konkrete Anpassungen und Erweiterungen, die den spezifischen Anforderungen und Herausforderungen des Produktmanagements gerecht werden.

Analytics Software-Lösungen: Es gibt zahlreiche Werkzeuge für das Produktmanagement und die Datenanalyse. Diese lassen sich in spezialisierte Datenanalysewerkzeuge, Datenanalyse-Suiten und Business Intelligence-Pakete unterteilen. Während spezialisierte Werkzeuge Datenexploration, Modellierung und Bereitstellung unterstützen (z.B. Databricks, Alteryx, Jupyter), bieten Datenanalyse-Suiten umfangreiche Methoden und unterstützen die Kopplung

an Unternehmenslösungen (z.B. IBM SPSS Modeler, SAS, Knime, RapidMiner). Business Intelligence-Pakete verfügen über ausgereifte Berichts- und Visualisierungsfunktionen (z.B. PowerBI, Tableau, IBM Cognos, Teradata). Es fehlen jedoch umfassende Ansätze, die alle relevanten Daten integrieren und bewerten, um Produktmanagementaufgaben zu unterstützen und die Anforderungen für das Produktmanagement systematisch zu erheben [GFS+23].

Vorgehensmodelle zur Anforderungserhebung: Die Erhebung und Strukturierung von Anforderungen an die Datenanalyse ist entscheidend für eine erfolgreiche Integration von Datenanalysen in Entscheidungsprozesse. Ein systematischer Ansatz zur Anforderungserhebung ist das Quality Function Deployment (QFD), dass die Übersetzung von Kundenanforderungen in technische Spezifikationen ermöglicht [Aka90]. Ein weiteres Modell ist das Kano-Modell, das Anforderungen nach ihrem Einfluss auf die Kundenzufriedenheit klassifiziert [KST+84]. Im Kontext des Produktmanagements fehlt jedoch oft eine spezifische Anpassung dieser Modelle, die die einzigartigen Herausforderungen und Bedürfnisse der Datenanalyse in diesem Bereich berücksichtigt. Es fehlen speziell entwickelte Modelle und Methoden, die den spezifischen Anforderungen des Produktmanagements gerecht werden und eine systematische und umfassende Erhebung der Anforderungen ermöglichen.

Die aktuelle Literatur zeigt, dass trotz zahlreicher Ansätze und Lösungen kein umfassender Ansatz existiert, der die Erhebung von Anforderungen an die Datenanalyse zur Entscheidungsunterstützung im Produktmanagement fokussiert.

4 Entwickelter Leitfaden und Hilfsmittel

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse des in Abschnitt 2 vorgestellten Vorgehens präsentiert und erläutert. Das zentrale Ergebnis ist der in Bild 2 dargestellte Leitfaden. Der Leitfaden ist in acht Phasen gegliedert. Jeder Phase sind Resultate zugeordnet, welche zum Ende der jeweiligen Phase erreicht werden sollen. Hierfür werden bewährte Methoden in angepasster Form sowie gänzlich neu erstellte Hilfsmittel bereitgestellt. Das übergeordnete Ziel des Leitfadens ist es, Produktmanager zu befähigen, Anforderungen an ein Entscheidungsunterstützungssystem so zu formulieren, dass zuständige Unternehmensbereiche in der Lage sind, eine den Bedürfnissen des PMs entsprechende Lösung umzusetzen.

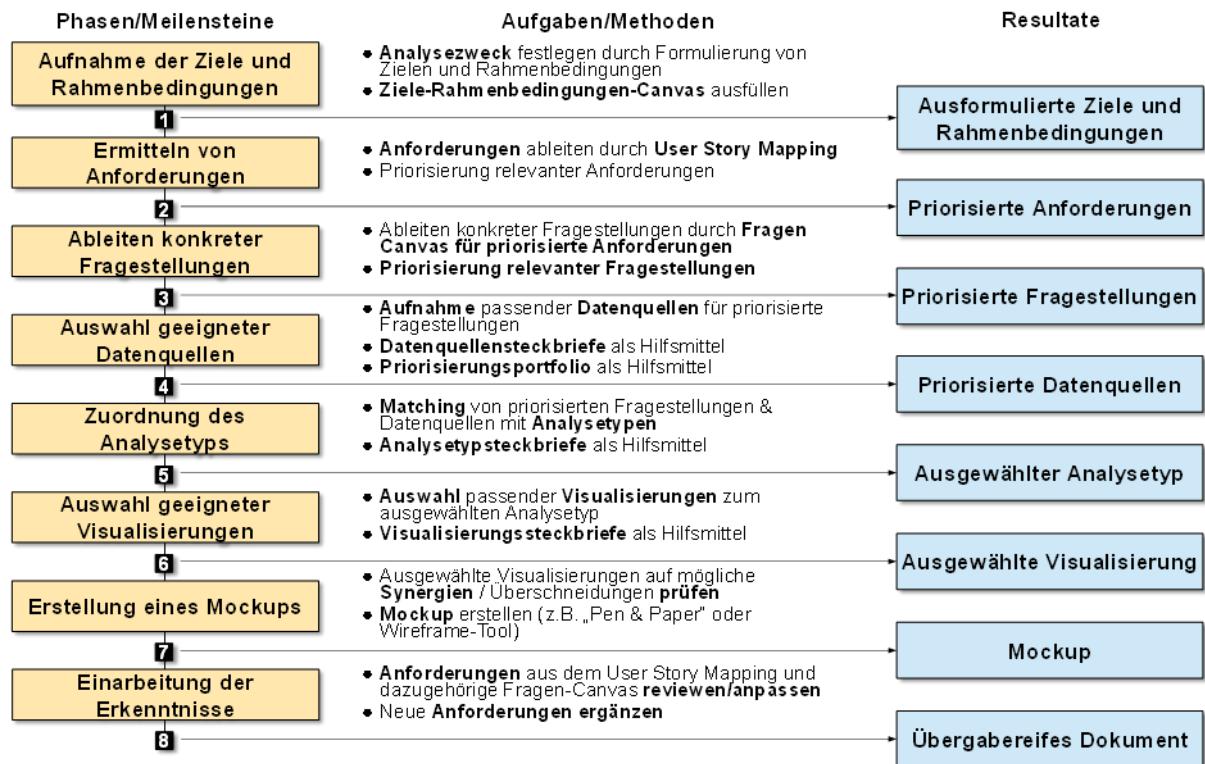


Bild 2: Leitfaden zur Planung von Datenanalysen zur Entscheidungsunterstützung im Produktmanagement

Der Leitfaden wurde im Rahmen des vom Spitzencluster it's OWL und dem Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIKE NRW) geförderten Forschungsprojekts „product.intelligence – Datenbasiertes Produktmanagement“ entwickelt und erprobt. Im Folgenden werden die einzelnen Phasen des Leitfadens sowie die verfügbaren Hilfsmittel beschrieben und anhand des Praxisbeispiels „Social Media-Analyse“ der Firma WAGO demonstriert.

4.1 Phase 1: Aufnahme der Ziele und Rahmenbedingungen

In der ersten Phase des Leitfadens soll das Zielbild des Use Cases entwickelt werden. Basierend auf der Arbeit von MEYER wurde hierzu eine Ziele-Rahmenbedingungen-Canvas (siehe Bild 3) als Hilfsmittel entwickelt [Mey24]. Die Canvas besteht aus den zwei Teilbereichen „Ziele“ und „Rahmenbedingungen“. In beiden Bereichen werden jeweils vier Fragen gestellt, durch deren Beantwortung sich ein klares zu erreichendes Zielbild ergibt sowie Beschränkungen und mögliche Hindernisse auf dem Weg dorthin aufgezeigt werden.

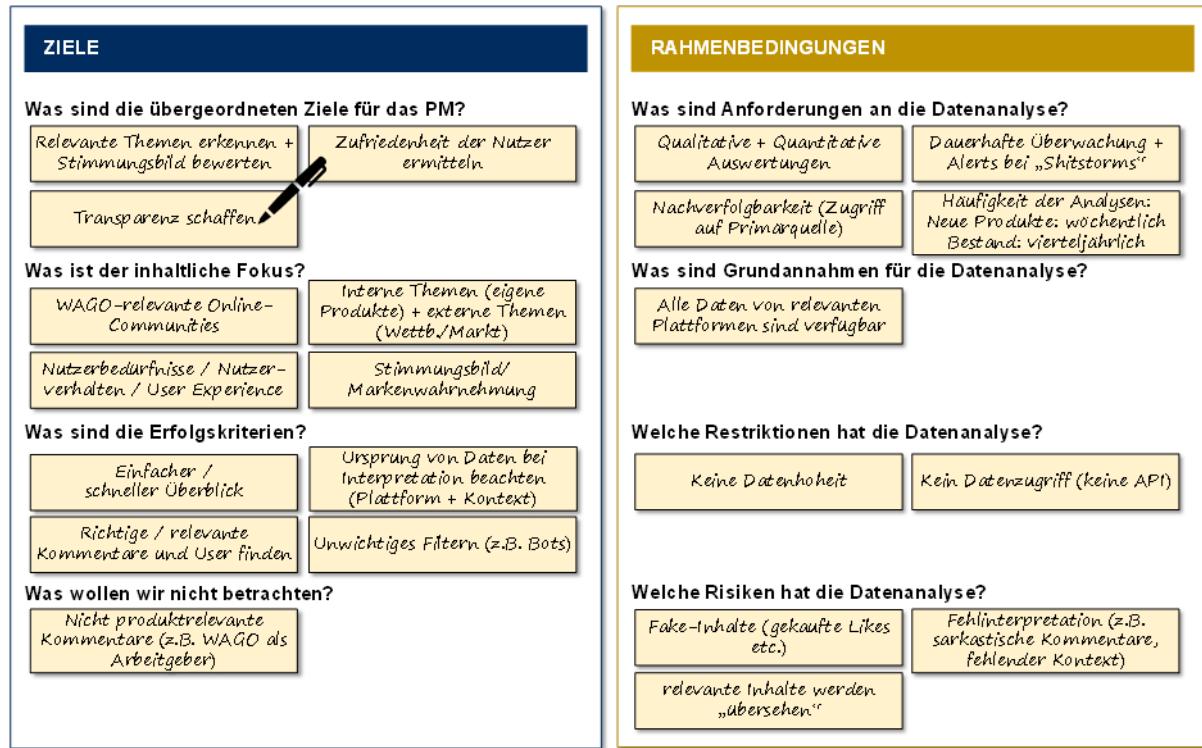


Bild 3: Ausgefüllte Ziele-Rahmenbedingungen-Canvas für den Use Case „Social Media-Analyse“

Auf der linken Seite der Canvas werden vier Fragen zu den Zielen der Datenanalyse gestellt:

„Was sind die übergeordneten Ziele für das PM?“: Hier soll durch das Produktmanagement geklärt werden, welcher Nutzen sich bei einer erfolgreichen Umsetzung der Datenanalyse für das Produktmanagement ergibt. Die übergeordneten Ziele liefern die Begründung für die Be- trachtung des spezifischen Anwendungsfalls.

„Was ist der inhaltliche Fokus?“: Diese Frage zielt darauf ab, die Themen zu sammeln mit denen sich der betrachtete Anwendungsfall befassen soll. Im Unternehmensbeispiel wurde hier festgelegt, dass Online-Communities, die für die Firma WAGO relevant sind, betrachtet werden sollen, um Erkenntnisse über Nutzerbedürfnisse und -verhalten zu erlangen.

„Was sind die Erfolgskriterien?“: Bei der Frage nach Erfolgskriterien soll beschrieben werden, wie die ideale Situation nach Umsetzung der Datenanalyse aussähe. Hierdurch werden direkt Anhaltspunkte für eine spätere Bewertung von Erfolg (oder Misserfolg) der finalen Anwendung gesammelt.

„Was wollen wir nicht betrachten?“: Ziel dieser Frage ist es, den Betrachtungsgegenstand einzugrenzen und thematisch verwandte, aber für den Anwendungsfall uninteressante Fragestellungen und Daten auszuschließen. Bei dem vorliegenden Praxisbeispiel liegt der Fokus der Datenanalyse auf Social Media-Inhalten mit Bezug zu WAGO-Produkten. Daher sollen Inhalte, die sich beispielsweise mit WAGO als Arbeitgeber befassen nicht betrachtet werden. Frühzeitig Inhalte gezielt auszuschließen, kann helfen, die Komplexität der Datenanalyse beherrschbar zu machen und die Anzahl notwendiger Iterationen zur Erreichung des finalen Ergebnisses zu reduzieren.

Der rechte Teil der Canvas betrachtet die Rahmenbedingungen der Datenanalyse. Die hier gestellten Fragen sollen das PM anleiten, erste Informationen über Faktoren, die die spätere Umsetzung der Datenanalyse beeinflussen, zu sammeln. Oftmals sind die hier gesammelten Informationen bereits implizit bekannt. Es ist allerdings hilfreich solche Informationen explizit auszuformulieren, um ein einheitliches Verständnis unter allen Beteiligten sicherzustellen.

„Was sind Anforderungen an die Datenanalyse?“: Das Ziel des gesamten Leitfadens ist es, eine vollumfängliche Sammlung von Anforderungen zu produzieren. Zu diesem Zweck werden durch diese Frage bereits in der ersten Phase des Leitfadens Anforderungen an die finale Implementierung des Anwendungsfalls gesammelt. Hier können vor allem allgemeine Anforderungen, die nicht an eine inhaltliche Fragestellung geknüpft sind, genannt werden. Beispiele hierfür sind funktionale Anforderungen wie Filterfunktionen (vgl. „Einstellbarer Zeithorizont“ in Bild 3) oder nicht-funktionale Anforderungen wie die Frequenz des Abrufs neuer Daten.

„Was sind Grundannahmen für die Datenanalyse?“: Im Vergleich zu den Anforderungen sind Grundannahmen nicht beeinflussbar. Grundannahmen beschreiben notwendige Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung der Datenanalyse. Die hier gesammelten Annahmen können als gegeben betrachtet werden, da eine Umsetzung des Anwendungsfalls andernfalls nicht möglich wäre.

„Welche Restriktionen hat die Datenanalyse?“: Restriktionen sind Einschränkungen der Datenanalyse, die bereits zum Zeitpunkt des Beantwortens vorhanden und bekannt sind. Ein Beispiel für eine Restriktion der Datenanalyse des Social Media-Anwendungsfalls ist, dass das Unternehmen keine Datenhoheit über den Großteil der zu analysierenden Daten hat, da die Inhalte auf unternehmensexternen Plattformen von Dritten veröffentlicht werden.

„Welche Risiken hat die Datenanalyse?“: Risiken sind ähnlich zu Restriktionen mit dem Unterschied, dass hier vor allem Szenarien betrachtet werden, die zukünftig zu Problemen für die Datenanalyse führen könnten. Darüber hinaus werden potenzielle Fehler, die bei der Datenanalyse auftreten könnten, aufgeführt. Im Praxisbeispiel wurde als Risiko genannt, dass Analyseergebnisse durch gekaufte Inhalte oder Fehlinterpretationen aufgrund von nicht erkanntem Sarkasmus verfälscht werden könnten.

4.2 Phase 2: Ermittlung von Anforderungen

Basierend auf den in der ersten Phase des Leitfadens definierten Zielen und Rahmenbedingungen der Datenanalyse sollen im zweiten Schritt konkrete Anforderungen erhoben werden. Um die Anforderungen möglichst präzise auf die Bedarfe des Produktmanagements abzustimmen, wird eine abgewandelte Form der Methode *User Story Mapping* nach PATTON genutzt [Pat14].

Hierzu werden in einem ersten Schritt alle Produktmanagementaufgaben gesammelt, die potenziell durch Erkenntnisse der Datenanalyse unterstützt werden können. Die Produktmanagementaufgaben wurden bereits im Rahmen einer Use Case-Identifikation nach FICHTLER ET AL. gesammelt und konnten daher direkt verwendet werden [FKG+24]. Die Aufgaben werden in einer Reihe im hellgrauen Bereich der *User Story Map* gesammelt (siehe Bild 4). Anschließend werden für alle identifizierten betroffenen Aufgaben Anforderungen gesammelt, die die finale Lösung erfüllen muss, um die jeweiligen Aufgaben zu bearbeiten. Die Anforderungen können

sich bereits auf konkrete Funktionen oder Visualisierungen beziehen, aber auch allgemeiner formuliert sein.

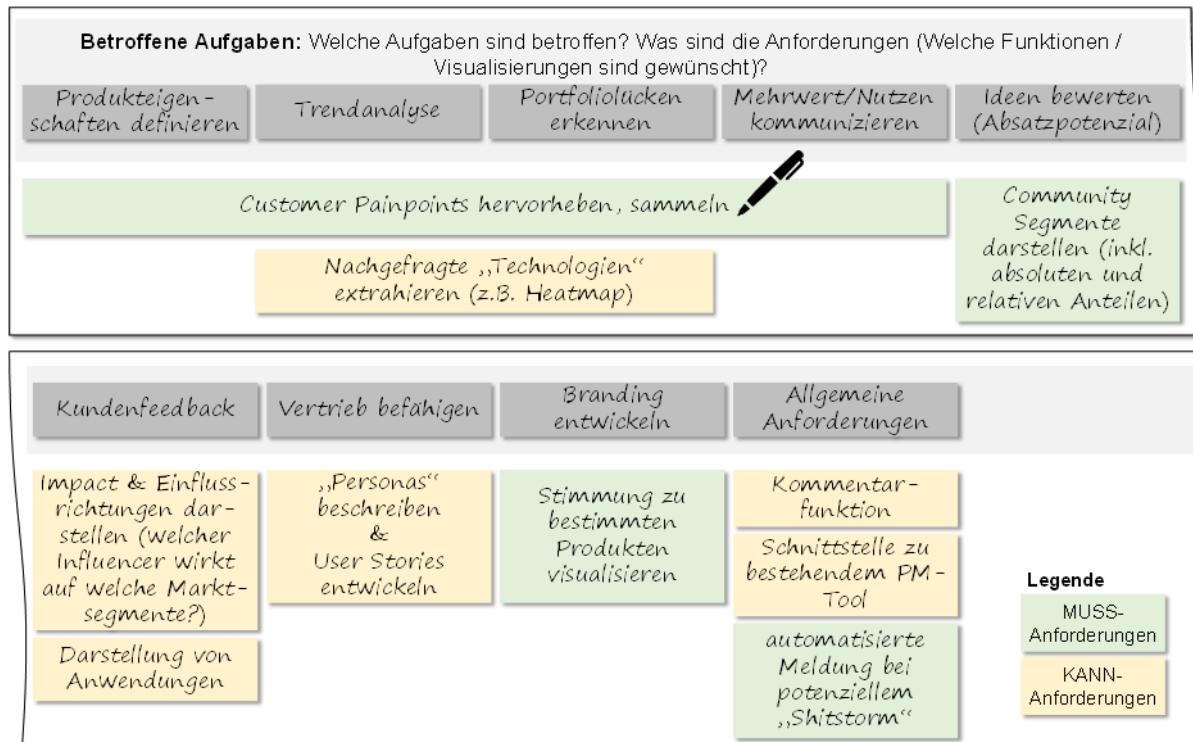


Bild 4: Ausgefüllte User Story Map

Um die zweite Phase des Leitfadens abzuschließen, werden die gesammelten Anforderungen priorisiert. Eine solche Priorisierung kann beispielsweise durch Punktekleben erfolgen, eine Methode, bei der jede beteiligte Person eine festgelegte Anzahl an Punkten bekommt und nach Belieben auf die gesammelten Anforderungen verteilen darf. Die Anforderungen können dann nach der Anzahl der Punkte sortiert werden. Im vorliegenden Fall wurde eine einfache Einteilung aller Anforderungen in „Kann“- und „Muss“-Anforderungen durchgeführt (vgl. Bild 3).

4.3 Phase 3: Ableiten konkreter Fragestellungen

In der dritten Phase werden für alle priorisierten Anforderungen (nacheinander) konkrete Fragestellungen abgeleitet, die das Produktmanagement beantworten möchte. Als Hilfsmittel dient hierzu eine *Fragen-Canvas* (siehe Bild 5), angelehnt an MEYER [Mey24].

| Fokussierte Anforderung: Customer Painpoints hervorheben | | | |
|---|-------|---------------------|---|
| Was wissen wir? | | Was vermuten wir? | |
| <ul style="list-style-type: none"> Painpoints werden indirekt mitgeteilt | | | <ul style="list-style-type: none"> Feedback meistens nicht auf Produktebene Großteil der Kommentare zu „der“ WAGO-Klemme Allgemeine Painpoints könnten z.B. in Elektriker-Foren zu finden sein Vermutung: Kommentare kommen von tatsächlichen Nutzern/Kunden Fans geben kein konstruktives Feedback → allgemein eher positive Kommentare |
| Was wissen wir nicht? | | | |
| Konkrete Fragestellung | Prio. | Datenquellen | Visualisierung(en) |
| Wie gut ist die Handhabung unserer Produkte? | | | |
| Welche Probleme hat der Elektriker beim Installationsprozess? | X | (siehe Abbildung 8) | Treemap, Balkendiagramm |
| Wie wird der Preis unseres Produkts wahrgenommen? | | | |
| Welche Funktionen wünschen sich Kunden? | | | |
| Wie nimmt der Kunde die Qualität unserer Produkte wahr? | | | |
| Werden unsere Produkte richtig genutzt? | | | |

Bild 5: Ausgefüllte Fragen-Canvas

Als Überschrift wird auf der *Frägen-Canvas* zunächst die ausgewählte Anforderung eingetragen. Anschließend werden die beiden Fragen „Was wissen wir?“ und „Was vermuten wir?“ beantwortet, um die Rahmenbedingungen der fokussierten Anforderung zu strukturieren und relevante Fragen abzuleiten. Für das Beispiel „Customer Painpoints hervorheben“ wissen die Produktmanager, dass solche „Painpoints“ üblicherweise indirekt mitgeteilt werden. Darüber hinaus wurden Vermutungen über mögliche Schwierigkeiten gesammelt, wie zum Beispiel, dass Feedback meist nicht direkt auf einzelne Produkte bezogen ist. Erste Annahmen über geeignete Datenquellen sind hier ebenfalls zu finden. Anschließend folgt der Übergang zu der Frage „Was wissen wir nicht?“. Hier werden konkrete Fragen gesammelt, deren Beantwortung dem Produktmanagement in Bezug auf die betrachtete Anforderung einen Mehrwert bieten würde.

Nachdem alle Fragen zu einer Anforderung gesammelt wurden, erfolgt wieder eine Priorisierung. Ergebnis der dritten Phase des Leitfadens sind die priorisierten Fragestellungen, welche im weiteren Verlauf des Leitfadens näher betrachtet werden. Die Spalten *Datenquellen* und *Visualisierungen* werden für diese priorisierten Fragestellungen in Phase 4 (vgl. Abschnitt 4.4) beziehungsweise Phase 6 (vgl. Abschnitt 4.6) ausgefüllt.

4.4 Phase 4: Auswahl geeigneter Datenquellen

Die vierte Phase des Leitfadens beschäftigt sich mit der Auswahl geeigneter Datenquellen für eine bestimmte Fragestellung. Die Phase wird daher für jede priorisierte Fragestellung (vgl. Abschnitt 4.3) individuell durchlaufen.

Das erste Hilfsmittel für diese Phase sind Datenquellen-Steckbriefe. Für das Beispiel der Social Media-Analyse wurden sechs Steckbriefe für verschiedene Kategorien von Social Media-Plattformen erstellt. Dabei wird zwischen *beruflichen Netzwerken*, *klassischen sozialen Netzwerken*,

*Microblogging-Netzwerken, Foren und Bewertungsportalen, Video-, Audio- und Fotoplattformen sowie Messaging-Diensten und -Plattformen unterschieden [WKJ+12]. Der Aufbau und Inhalt dieser Steckbriefe werden am Beispiel des Steckbriefs *Berufliche Netzwerke* (siehe Bild 6) beschrieben.*

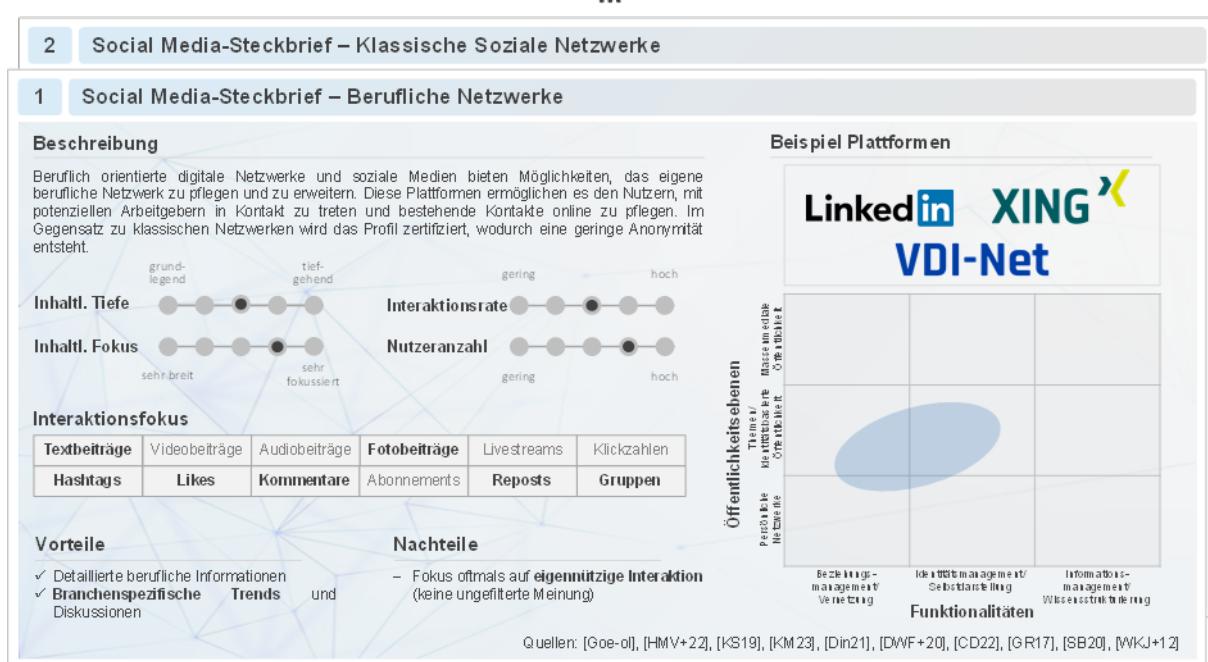


Bild 6: Datenquellen-Steckbriefe für den Anwendungsfall Social Media-Analyse (Auszug)

Die Steckbriefe enthalten eine Beschreibung mit einer kurzen prosaischen Charakterisierung des Plattformtyps (oben links). Darunter befinden sich die vier Attribute *Inhaltliche Tiefe*, *Inhaltlicher Fokus*, *Interaktionsrate* und *Nutzeranzahl*, welche jeweils auf einer fünfstufigen Skala ausgeprägt wurden, um die Plattformtypen und ihren jeweiligen Nutzen für Datenanalysen im Produktmanagement tiefergehend zu beschreiben. Für die Bewertung der *Inhaltlichen Tiefe* wurde der übliche Detailgrad der Beiträge auf den jeweiligen Plattformen herangezogen. Es wurde dabei betrachtet, ob die Beiträge sich oberflächlich mit einem Thema befassen und an ein breiteres Publikum gerichtet sind oder für Experten gedacht sind und eine hohe inhaltliche Tiefe aufweisen. Der *Inhaltliche Fokus* bezieht sich auf die Vielfalt und Streuung verschiedener Themen zwischen den verschiedenen Beiträgen auf einer Plattform. Plattformen mit einem klaren Themenfokus, die sich beispielsweise an eine bestimmte Berufsgruppe richten, wurden als sehr fokussiert bewertet. Bei der *Interaktionsrate* wurde bewertet, wie viel Interaktion zwischen Nutzern einer Plattform stattfindet, zum Beispiel durch die Anzahl von Reaktionen auf Beiträge. Die *Nutzeranzahl* ist eine relative Einordnung der Plattformtypen nach der Anzahl registrierter oder regelmäßiger Nutzer.

Für den Interaktionsfokus wurden zwölf grundlegende Arten der Interaktion identifiziert, die den Großteil der Interaktionsmöglichkeiten der betrachteten Social Media-Plattformen abdecken. Durch Hervorheben einzelner Kacheln wird dargestellt, in welcher Form die Kommunikation auf dem betrachteten Plattformtyp hauptsächlich stattfindet. Dazu wurde betrachtet, ob Beiträge Text, Fotos oder Videos beinhalten und ob auf diese Beiträge beispielsweise durch

Likes, Reposts oder Kommentare reagiert werden kann. Darüber hinaus bieten einige Plattformen die Möglichkeit, sich als Nutzer in Gruppen zusammenzuschließen oder Inhalte durch Hashtags zu strukturieren.

Außerdem sind auf den Steckbriefen Vor- und Nachteile der Plattformen und der dort veröffentlichten Inhalte mit Bezug auf die Beantwortung von Fragestellungen im Produktmanagement aufgeführt. Ein Nachteil beruflicher Netzwerke kann beispielsweise sein, dass dort im Vergleich zu anderen Plattformtypen weniger ungefilterte Meinungen geteilt werden.

Oben rechts befinden sich auf den Steckbriefen ausgewählte Beispiele für Plattformen der jeweiligen Steckbriefkategorie.

Zuletzt befindet sich auf den Steckbriefen eine Einordnung der Social Media-Plattformen in einem Funktionalitäten-Öffentlichkeitsebenen-Diagramm [WKJ+12]. Das Diagramm zeigt die Hauptfunktionen der Plattformkategorie sowie die Öffentlichkeitsebenen der dort stattfindenden Interaktionen. Die Skala der Öffentlichkeitsebenen, aufgetragen auf der Y-Achse, reicht dabei von „Persönliche Netzwerke“ über „Themen- / Identitätsbasierte Öffentlichkeit“ bis zu „Massenmediale Öffentlichkeit“ und gibt an, wie groß der Kreis der Adressaten auf diesen Plattformen üblicherweise ist. Die Dimension „Funktionalitäten“ gibt an, was der Hauptzweck der Plattformen ist, und enthält die Ausprägungen „Beziehungsmanagement, Vernetzung“, „Identitätsmanagement, Selbstdarstellung“ und „Informationsmanagement, Wissensstrukturierung“.

Mithilfe der Steckbriefe werden alle denkbaren Datenquellen zur Beantwortung der betrachteten Frage gesammelt. Die Auswahl beschränkt sich dabei nicht nur auf die Plattformen, sondern beinhaltet auch die spezifische Nennung geeigneter Inhalte für die Datenanalyse. Während sich für manche Fragestellungen eine quantitative Auswertung der Anzahl von Klicks, Reposts, Likes o.ä. anbietet, sind für andere Fragestellungen beispielsweise inhaltliche Auswertungen von Videos oder Textbeiträgen vielversprechender. Daher sollte als mögliche Datenquelle angegeben werden, um welche Plattform und um welche Inhalte auf dieser Plattform es sich handelt.

Anschließend findet eine Priorisierung der gesammelten potenziellen Datenquellen statt. Hierzu wird als Hilfsmittel ein *Priorisierungspotfolio* bereitgestellt. Zunächst sind die Datenquellen nach Nutzen für die Beantwortung der betrachteten Fragestellung sowie Aufwand für die Datenerhebung und -verarbeitung zu bewerten. Um den Nutzen einer Datenquelle zu bewerten kann beispielsweise betrachtet werden, wie hoch der Informationsgehalt ist. Für die im Beispiel betrachtete Fragestellung „Welche Probleme hat der Elektriker beim Installationsprozess?“ hat ein Textbeitrag in einem Fachforum vermutlich einen höheren direkten Informationsgehalt als die Anzahl von Klicks auf einem YouTube-Video. Weitere Anhaltspunkte für die Bewertung des Nutzens können die Relevanz der Quellen für die Fragestellung sowie die zu erwartende Datenmenge sein.

Zur Bewertung des Aufwands der Datenerhebung und -verarbeitung sollte zunächst die Zugänglichkeit der Daten betrachtet werden. Im Kontext der Social Media-Analyse befinden sich die zu analysierenden Daten im Normalfall außerhalb der direkten Kontrolle des Unternehmens. Die Zugänglichkeit hängt hier also maßgeblich von der Verfügbarkeit und den Kosten durch

den Plattformbetreiber bereitgestellter Schnittstellen ab. Weitere Einflussfaktoren, um den Aufwand zu bewerten sind die Datenart (unstrukturierte Daten wie Videos oder Text erfordern einen höheren Aufwand bei der Verarbeitung) und die Datenqualität.

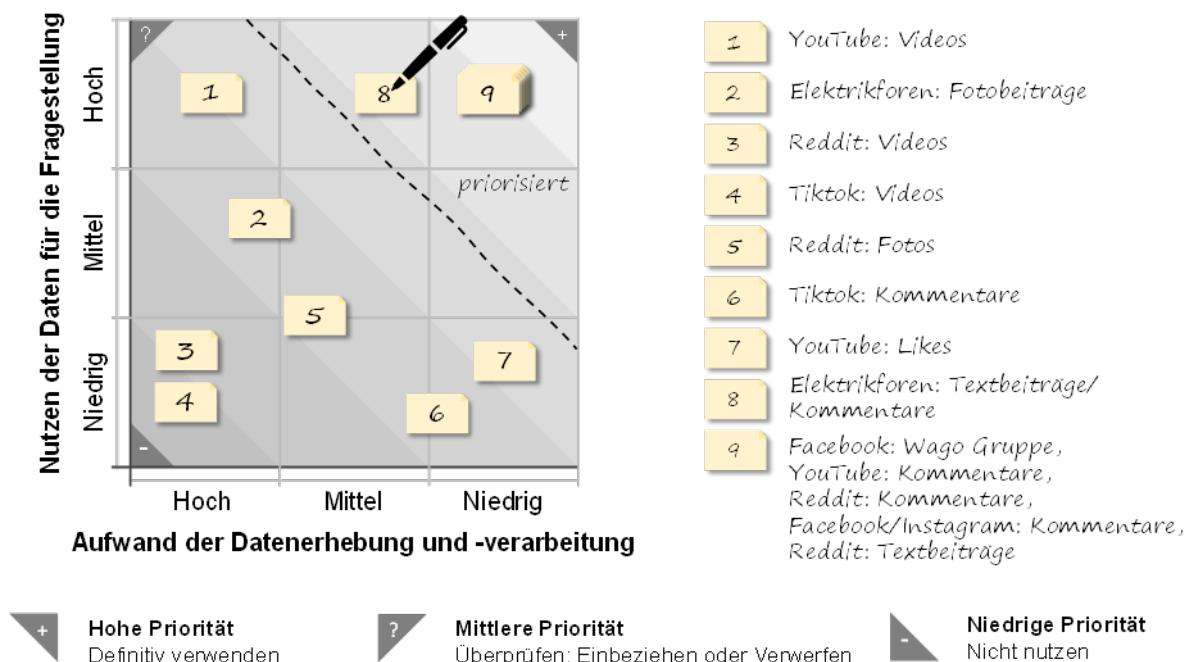


Bild 7: Ausgefülltes Priorisierungsportfolio

Basierend auf der Bewertung von Nutzen und Aufwand für alle identifizierten Datenquellen kann eine informierte (Vor)Auswahl für die betrachtete Fragestellung getroffen werden. Durch die Ausrichtung der beiden Skalen werden Datenquellen mit niedrigem Aufwand zur Datenerhebung und -verarbeitung sowie hohem Nutzen oben rechts platziert. Diese Quellen haben hohe Priorität, symbolisiert durch das Plus-Zeichen, und sollten in jedem Fall verwendet werden. Datenquellen mit hohem Nutzen aber ebenfalls hohem Aufwand werden oben links positioniert. Sie haben mittlere Priorität, was durch ein Fragezeichen dargestellt wird. Bei diesen Quellen sollte genauer geprüft werden, ob der potenzielle Nutzen der Daten für die betrachtete Fragestellung den Aufwand der Datenerhebung rechtfertigt. Unten links werden Datenquellen mit hohem Aufwand und niedrigem Nutzen eingesortiert. Sie haben niedrige Priorität und sollten nicht genutzt werden, was durch ein Minus-Zeichen repräsentiert wird.

Im Anwendungsbeispiel der Social Media-Analyse bei WAGO wurden für die Frage „Welche Probleme hat der Elektriker beim Installationsprozess?“ eine Reihe von Datenquellen mit demselben Nutzen und Aufwand bewertet (vgl. Kachel 9 in Bild 7). Schließlich wurden diese Quellen sowie Kachel 8 als Datenquellen für die Beantwortung der betrachteten Frage ausgewählt. Die ausgewählten Datenquellen werden zu jeder priorisierten Fragestellung auf der zuvor ausgefüllten *Fragen-Canvas* (siehe Bild 5) ergänzt.

4.5 Phase 5: Zuordnung des Analysetyps

In der fünften Phase des Leitfadens werden die priorisierten Fragestellungen und ausgewählten Datenquellen passenden Analysetypen zugeordnet. Basierend auf sechs grundlegenden Analysetypen nach SHERMAN wurden sechs Analytics-Steckbriefe als Hilfsmittel erstellt (vgl. Bild 8): *Vergleichend, Zeitreihen und Trends, Anteile und Beitrag, Korrelation, Verteilung und Geographisch* [She14].

2 Analytics-Steckbrief – Vergleichend

1 Analytics-Steckbrief – Zeitreihen, Trends

Beschreibung

Zeitreihenanalyse untersucht Datenpunkte, die zu bestimmten Zeitintervallen gesammelt oder aufgezeichnet wurden, um Muster, Trends und Zyklen im Laufe der Zeit zu identifizieren. Sie ist wichtig für die Vorhersage zukünftiger Leistungen, das Verständnis von Saisonalität und die Erkennung langfristiger Trends. Diese Analyse unterstützt die strategische Planung und Ressourcenallokation im Produktmanagement.

Geeignete Datentypen

| | | |
|-----------------------|-------------------|--------------|
| Kategorisch | Ordinal | Diskret |
| Kontinuierlich | Zeitreihen | Geographisch |

Ziele / Anwendungen

- Überwachung von Veränderungen wichtiger Kennzahlen im Laufe der Zeit
- Vorhersage zukünftiger Trends basierend auf vergangenen Daten
- Identifizierung von Mustern wie saisonalen Effekten oder langfristigen Trends
- Bewertung der Auswirkungen von Ereignissen im Laufe der Zeit
- Überwachung zyklischer Schwankungen in wirtschaftlichen Indikatoren

Beispielfragen

- Wie hat sich die Zahl der monatlich aktiven Nutzer im letzten Jahr entwickelt?
- Wie haben sich die Verkaufszahlen unseres Hauptprodukts in den letzten fünf Jahren entwickelt?
- Gibt es saisonale Muster in den Support-Tickets der Kunden?

Geeignete Visualisierungen

Liniendiagramme, Säulendiagramme, Flächendiagramme, Netzdiagramm

Quellen: [FKG+24], [GFA+24], [She14], [BD16]

Bild 8: Analytics-Steckbriefe (Auszug)

Die Analytics-Steckbriefe beginnen mit einer kurzen Beschreibung des Analysetyps, wofür die Analyse üblicherweise eingesetzt wird und wie sie das Produktmanagement potenziell unterstützen kann. Um den betrachteten Fragestellungen und jeweils ausgewählten Datenquellen passende Analysetypen zuzuweisen enthalten die Analytics-Steckbriefe darüber hinaus eine Auflistung von Zielen und Anwendungen, Beispielfragen und Datentypen, die für den jeweiligen Analysetyp besonders geeignet sind. Die Zuordnung kann also durch Vergleichen der betrachteten Fragestellung mit den Beispielfragen oder der ausgewählten Datenquellen mit den geeigneten Datentypen erfolgen. Die Steckbriefe werden vervollständigt durch die beispielhafte Nennung und Darstellung für den jeweiligen Analytics-Typ besonders geeigneter Visualisierungen.

4.6 Phase 6: Auswahl geeigneter Visualisierungen

Ausgehend von dem (oder den) gewählten Analysetyp(en) werden in der sechsten Phase des Leitfadens geeignete Visualisierungen für die betrachtete Fragestellung ausgewählt. Als Hilfsmittel dienen hierfür 16 Visualisierungssteckbriefe. Um den Aufbau und die Inhalte der Steckbriefe darzustellen, wird der Visualisierungs-Steckbrief *Liniendiagramm* (vgl. Bild 9) exemplarisch beschrieben.

2 Visualisierungs-Steckbrief – Flächendiagramm

1 Visualisierungs-Steckbrief – Liniendiagramm

Beschreibung

Ein Liniendiagramm stellt **Daten** in Form von **Linien unterschiedlicher Farbe** dar, die die **Veränderung** einer Variablen in Abhängigkeit von einer zweiten Variablen (z. B. über einen bestimmten Zeitraum) zeigen.

Verwendungszweck

- Darstellung von **Daten im Zeitverlauf**
- **Erkennen von Trends**
- **Vergleich** der relativen **Unterschiede zwischen Segmenten**

Datenanalyse-Typ

| Vergleichend | Zeitreihen, Trends | Anteile |
|--------------|--------------------|------------|
| Korrelation | Geographisch | Verteilung |

Vorteile

- ✓ **Trends** werden **insgesamt** und nicht nur in einzelnen Segmenten **untersucht**
- ✓ **Leichter Vergleich** zwischen Segmenten

Nachteile

- **Nicht ideal** bei **vielen Datenreihen**
- Vor allem geeignet für **Daten mit zeitlichem Verlauf**

Best Practices

- Bei mehreren Datenreihen sollte darauf geachtet werden, dass die Linien nicht übermäßig überlappen
- Identifizierung und Markierung von Ausreißern oder signifikante Trends, die für die Interpretation wichtig sein könnten.

Visualisierungsformen

Einfaches Liniendiagramm Mehrfaches Liniendiagramm
Gestapeltes Liniendiagramm

Quellen : [She15], [AC15], [AMS+23], [NKB+21]

Bild 9: Visualisierungs-Steckbriefe (Auszug)

Wie die bereits vorgestellten Datenquellen- (vgl. Abschnitt 4.4) und Analysetyp-Steckbriefe (vgl. Abschnitt 4.5), enthalten die Visualisierungssteckbriefe ebenfalls eine kurze Beschreibung der jeweiligen Visualisierung. Als nächstes folgt eine stichpunktartige Aufzählung möglicher Verwendungszwecke, beispielsweise können *Liniendiagramme* für die Darstellung von Daten in einem Zeitverlauf oder das Veranschaulichen von Trends genutzt werden. Jeder Visualisierungssteckbrief enthält außerdem eine Auflistung der sechs Analysetypen, mit einer visuellen Hervorhebung der Analysetypen, für welche diese Visualisierung üblicherweise geeignet ist. Darüber hinaus werden Vor- und Nachteile aufgeführt, zum Beispiel, dass Liniendiagramme bei der Darstellung vieler Datenreihen schnell unübersichtlich werden. Um solche Designfehler zu vermeiden, enthalten die Steckbriefe „Best Practices“, also bewährte Designrichtlinien, die bei der Gestaltung der Visualisierung beachtet werden sollten. Auf den Steckbriefen werden außerdem verschiedene mögliche Ausprägungen der Visualisierung genannt und beispielhaft dargestellt.

Nachdem eine oder mehrere Visualisierungen für eine Fragestellung und die ihr zugeordneten Datenquellen ausgewählt wurden, werden diese in der *Fragen-Canvas* (siehe Bild 5) eingetragen.

4.7 Phase 7: Erstellung eines Mockups

In der vorletzten Phase des Leitfadens sollen die bisher gesammelten Informationen als Input für das Erstellen erster Entwürfe genutzt werden. Aus der dritten Phase des Leitfadens (Abschnitt 4.3) liegt für jede priorisierte Anforderung (Ergebnis der zweiten Phase) eine *Fragen-Canvas* mit konkreten zu beantwortenden Fragestellungen vor. Diese *Fragen-Canvas* wurde in

den weiteren Phasen für alle priorisierten Fragen um mögliche Datenquellen und Visualisierungen ergänzt.

Als erster Schritt sollten die ausgewählten Visualisierungen und dazugehörigen Datenquellen von allen betrachteten Fragestellungen auf Überschneidungen geprüft werden. So können potenzielle Synergien zwischen Fragestellungen identifiziert und mögliche Redundanzen minimiert werden. Mit den noch übrigen Elementen wird dann ein Entwurf für eine Entscheidungsunterstützungsanwendung für den betrachteten Use Case erstellt. Bild 10 zeigt mögliche Ausprägungen eines solchen Entwurfs mit verschiedenen Detailstufen am Beispiel des Social Media-Anwendungsfalls.

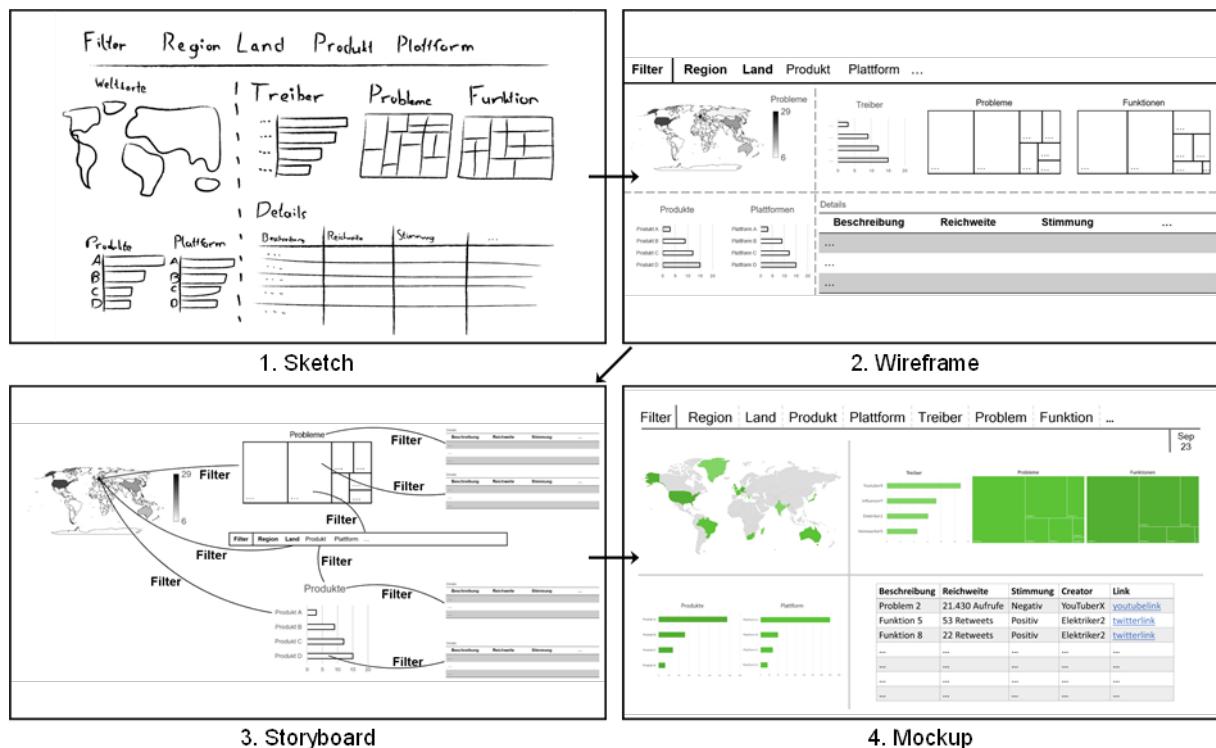


Bild 10: Entwurfsstufen einer Entscheidungsunterstützungsanwendung

Die Skizze (Bild 10, oben links) dient als erste visuelle Ideensammlung und kann von Produktmanagern genutzt werden, um grundlegende Konzepte in einfacher, handgezeichneter Form zu erfassen. Bereits in diesem Schritt kann das Hinzuziehen der für die spätere Implementierung der Entscheidungsunterstützungsanwendung zuständigen Experten hilfreich sein; für die darauffolgenden Schritte ist es je nach Kenntnisstand der Produktmanager sogar zwingend notwendig. Auf der Skizze aufbauend wird ein Wireframe (Bild 10, oben rechts) erstellt, welches die Struktur und die Platzierung der Benutzeroberflächenelemente festlegt, ohne visuelle Details zu enthalten. Im nächsten Schritt, dem Storyboard (Bild 10, unten links), werden die Elemente des Wireframes zu einem logischen Ablauf verbunden, um den Interaktionsfluss und die Nutzungsszenarien der Anwendung zu verdeutlichen. Abschließend dient das Mockup (Bild 10, unten rechts) der detaillierten Visualisierung des Designs inklusive Farben, Schriftarten und gegebenenfalls prototypischer Funktionen, um eine Vorstellung von der finalen Entscheidungsunterstützungsanwendung zu vermitteln. [She14]

4.8 Phase 8: Einarbeitung der Erkenntnisse

Im letzten Schritt des Leitfadens werden die gesammelten Anforderungen aus Phase 1 (vgl. Bild 3) und Phase 2 (vgl. Bild 4) überprüft und angepasst sowie neue Anforderungen, die sich gegebenenfalls aus der tiefergehenden Betrachtung des Anwendungsfalls in den Phasen 3 bis 7 ergeben haben, ergänzt. Das Endergebnis dieser Phase, und des gesamten Leitfadens, ist ein übergabereifes Dokument für die Umsetzung einer Entscheidungsunterstützungsanwendung, das der zuständigen Abteilung zur Verfügung gestellt werden kann.

Bei der Form des Dokuments sollten unternehmensinterne Richtlinien beachtet werden. Eine Möglichkeit wäre, alle gesammelten Anforderungen in tabellarischer Form darzustellen und die beim Durchlaufen des Leitfadens entstandenen Dokumente als Anhang zu ergänzen.

5 Erfahrungen und Erkenntnisse aus der Anwendung in der Praxis

Der in Abschnitt 4 vorgestellte Leitfaden zur Planung von Datenanalysen zur Entscheidungsunterstützung im Produktmanagement wurde mit dem Unternehmen WAGO erprobt. Im Folgenden werden die wesentlichen Erfahrungen und Erkenntnisse erläutert.

WAGO ist ein weltweit führender Anbieter von elektrischer Verbindungstechnik und Automatisierungstechnik. Die Marke WAGO genießt einen hohen Bekanntheitsgrad in der Elektrobranche. Insbesondere rund um die Installationsteckverbinder mit und ohne Hebel haben sich Elektriker und Elektroinstallateure zu einer **Community** zusammengeschlossen, die sich vermehrt im Internet über Social Media austauscht. Einzelne Tech-Influencer haben hier mitunter eine große Reichweite und entsprechenden Einfluss. Die **Herausforderungen** bestehen darin, die Community mit ihren aktuellen Painpoints und Needs sowie einflussreiche Einzelakteure, beeinflusste Segmente und entsprechende Themen besser zu verstehen und ggf. darauf reagieren zu können. Die Vielzahl von Plattformen und Kanälen führt zu einer großen **Heterogenität in Datenquellen**. Durch die „Social Media-Analyse“ soll das Feedback der Online-Community untersucht werden, um Rückschlüsse für Anpassungen im Produktportfolio oder für die strategische Produktplanung ziehen zu können. Zur Umsetzung dieses Anwendungsfalls ist zunächst die Planung von Datenanalysen zur Entscheidungsfindung anzugehen.

Durch die Anwendung des *Leitfadens zur Planung von Datenanalysen zur Entscheidungsunterstützung im Produktmanagement* konnten wesentliche **Erfahrungen und Erkenntnisse** gesammelt werden. Diese lassen sich sowohl für die spezifischen Phasen des Vorgehensmodells in Abschnitt 4 als auch übergeordnet formulieren.

Die **Aufnahme der Ziele und Rahmenbedingungen** (Phase 1) bildet die Grundlage für eine adäquate Planung der Datenanalyse zur Entscheidungsunterstützung im Produktmanagement. Gewissenhaftigkeit und Klarheit in der Ausarbeitung zahlen sich in der Bearbeitung der folgenden Phasen aus, wenngleich Iterationen und Rücksprünge in diese erste Phase unvermeidbar sind und dem Gesamtergebnis zugutekommen. In dieser Phase festgehaltene Restriktionen wie „*Kein Datenzugriff (keine API)*“ oder Risiken wie „*Fake-Inhalte (gekaufte Likes etc.)*“ helfen

bei späteren Bewertungen wie zur Auswahl geeigneter Datenquellen. Beim **Ermitteln von Anforderungen** (Phase 2) werden die allgemeinen sowie individuellen Aufgaben des Produktmanagements des betrachteten Unternehmens für die Ableitung von MUSS- und KANN-Anforderungen vorausgesetzt. Die beteiligten Personen müssen also alle Aufgaben abdecken. Im Anwendungsfall war darauf zu achten, dass sowohl Personen mit Verantwortung für das Produktportfolio als auch für die strategische Planung involviert waren. Das **Ableiten konkreter Fragestellungen** (Phase 3) zeichnete sich durch einen Schwerpunkt in der Formulierung deskriptiver Fragen aus. Darüber hinaus konnten wenig vorhandene Kenntnisse, aber umso mehr Hypothesen dokumentiert werden. Hierin spiegelt sich der Neuheitsgrad des Anwendungsfalls „Social Media-Analyse“ für das Produktmanagement bei WAGO wider. Für die **Auswahl geeigneter Datenquellen** (Phase 4) wurde auf ein Portfolio, das den *Aufwand der Datenerhebung und -verarbeitung* dem *Nutzen zur Beantwortung der Fragestellung* aus der vorherigen Phase gegenüberstellt, zurückgegriffen. Das Portfolio erleichtert die Auswahl von Datenquellen, wenngleich der Aufwand – insbesondere in der Datenverarbeitung – nur durch Hinzuziehen von entsprechender Fachexpertise zuverlässig abgeschätzt werden kann, beispielsweise durch Data Scientists. Mit der Aufbereitung von Analysetypen in Steckbriefen werden Produktmanagern nützliche Hilfsmittel an die Hand gegeben, um die **Zuordnung des Analysetyps** (Phase 5) vornehmen zu können. Die Steckbriefe zur Unterstützung bei der **Auswahl geeigneter Visualisierungen** (Phase 6) ermöglichen eine Abgrenzung unterschiedlicher Darstellungsarten analysierter Daten. Insbesondere die Unterscheidung von Diagrammtypen mitsamt ihrer Vorteile und Nachteile gelingt so auf Anhieb. Die **Erstellung eines Mockups** (Phase 7) macht die mitunter abstrakten Diskussionen und Ergebnisse der vorherigen Phasen greifbar und erklärbar. So gelingt auch die Erstellung eines übergabereifen Dokuments, das die **Einarbeitung der Erkenntnisse** (Phase 8) sowie Iterationen im Vorgehensmodell erfordert. Im Anwendungsbeispiel wurden insbesondere durch die ausgewählten Visualisierungen (Treemap, Balkendiagramm, Tabelle) sowie das anschließend erstellte Mockup Anforderungen ergänzt.

Übergeordnet ist festzuhalten, dass die bereitgestellten Hilfsmittel einen wesentlichen Anteil daran haben, dass das in Abschnitt 4 beschriebene Vorgehensmodell erfolgreich angewendet werden kann und der *Leitfaden zur Planung von Datenanalysen zur Entscheidungsunterstützung im Produktmanagement* Nutzen stiftet. Wenngleich die Anzahl der Phasen im Vorgehensmodell hoch ist, so profitieren Personen ohne fundierte Kenntnisse im datenbasierten Produktmanagement von der ausführlichen und kleinschrittigen Anleitung. Ein weiterer Erfolgsfaktor für eine erfolgreiche Anwendung des Leitfadens ist die frühzeitige Einbindung datenverarbeitender Bereiche im Unternehmen. Insbesondere die Erwartungshaltung an das Übergabedokument, das als Endresultat am Ende des Vorgehensmodells steht, sollte geklärt sein.

6 Resümee und Ausblick

Dieser Beitrag beschreibt einen Leitfaden zur Planung von Datenanalysen zur Entscheidungsunterstützung im Produktmanagement. Der entwickelte Leitfaden stellt eine systematische Vorgehensweise zur Planung von Datenanalysen dar und wird durch verschiedene praktische Hilfsmittel unterstützt. Das methodische Vorgehen basiert auf dem Action Design Research (ADR)

Ansatz, der eine enge Zusammenarbeit zwischen Forschern und Praktikern ermöglicht und iterative Zyklen der Problemlösung durchläuft. Die Ergebnisse des Leitfadens wurden in enger Zusammenarbeit mit dem Unternehmen WAGO erarbeitet und anhand des Use Cases „Social Media-Analyse“ vorgestellt.

Das **erste wesentliche Ergebnis** dieses Papers ist ein Leitfaden, der eine strukturierte Vorgehensweise zur Planung von Datenanalysen im Produktmanagement ermöglicht. Er bietet klare Schritte zur Formulierung und Detaillierung von Anforderungen an die Datenanalyse und unterstützt Produktmanager dabei, relevante Datenquellen, Analysetypen und Visualisierungsmöglichkeiten zu identifizieren. Zudem wird eine erste Ausarbeitung einer möglichen Umsetzung mit Hilfe eines Mockups fokussiert. Das **zweite wesentliche Ergebnis** sind die verschiedenen Hilfsmittel, die im Leitfaden integriert sind. Dazu gehören drei Arten von Steckbriefen, die mit Inhalten gefüllt sind, zwei Canvas-Modelle, eine User Story Map und ein Priorisierungssportfolio. Diese Hilfsmittel erleichtern die Planung und bieten konkrete Unterstützung im Entscheidungsprozess.

Trotz dieser Ergebnisse gibt es auch einige **Einschränkungen bei den Forschungsergebnissen**. Erstens, der qualitative Forschungsansatz und die begrenzte Stichprobengröße könnten die Generalisierbarkeit der Ergebnisse einschränken. Zweitens könnten die Workshops im Rahmen des ADR-Prozesses durch ihre künstliche Umgebung das Verhalten der Teilnehmer beeinflusst haben, was die Authentizität der Daten beeinträchtigen könnte. Drittens könnte die Auswahl der Workshop-Teilnehmer innerhalb des Unternehmens zu einer einseitigen Perspektive führen, die nicht die Vielfalt der relevanten Sichtweisen widerspiegelt.

Für die **zukünftige Forschung** bieten sich vielversprechende Perspektiven, um den entwickelten Leitfaden weiter zu verfeinern und seine Anwendung zu erweitern. Erstens könnte der Leitfaden in bestehende Produktmanagement-Prozesse integriert werden, um die Effektivität der Datenanalysen noch weiter zu steigern und eine regelmäßige Nutzung des Leitfadens im Produktmanagement-Alltag zu gewährleisten. Zweitens wäre es sinnvoll, den Leitfaden mit weiteren Unternehmen und verschiedenen Anwendungsfällen zu erproben, um seine Universalität und Anwendbarkeit in unterschiedlichen Kontexten zu validieren. Drittens könnten zusätzliche Datenquellensteckbriefe für PM-relevante Datenquellen entwickelt werden, um spezifischere Anwendungsfälle abzudecken und die Breite der Anwendungsmöglichkeiten zu erweitern. Diese zukünftigen Schritte werden dazu beitragen, datenbasierte Entscheidungen im Produktmanagement weiter zu verankern und die Praxisrelevanz des Leitfadens zu erhöhen, wodurch er zu einem noch wertvollereren Instrument für Unternehmen wird.

Literatur

- [AC15] APARICIO, M.; COSTA, C.J.: Data visualization. *Communication Design Quarterly Review*, Vol.3, Nr.1, 2015, S.7-11
- [Aka90] AKAO, Y.: Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design. 1990
- [AMS+23] AIGNER, W.; MIKSCH, S.; SCHUHMANN, H.; TOMINSKI, C.: Visualization of Time-Oriented Data. Springer Verlag, London, 2023
- [BD16] BROCKWELL, P.J.; DAVIS, R.A.: Introduction to Time Series and Forecasting. Springer Cham Verlag, 2016

- [Goe-ol] GOETHE UNIVERSITÄT: Berufliches Netzwerken – Ein Guide für internationale Studierende. Unter: <https://www.uni-frankfurt.de/112242019/connect-guide-berufliches-netzwerken.pdf>, 2. August 2024
- [CD22] CORTEZ, R.M.; DASTIDAR, A.G.: A longitudinal study of B2B customer engagement in LinkedIn: The role of brand personality. *Journal of Business Research*, Vol.145, 2022, S.92-105
- [Cha00] CHAPMAN, P.: CRISP-DM 1.0: Step-by-step data mining guide. 2000
- [DB22] DE, S.; BAROI, I.: Evolution of Analytics in Product Management for Data-driven Feature Prioritization. In 2022 Seventh International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC), 2022, S. 588–593
- [Din21] DINATH, W.: LinkedIn: a link to the knowledge economy. Proceedings of the European Conference on Knowledge Management; Kidmore End, 2021
- [DWF+20] DAVIS, W.; WOLFF, H.G.; FORRET, M.L.; SULLIVAN, S.E.; RUFFER, N.: Networking via LinkedIn: An examination of usage and career benefits. *Journal of Vocational Behaviour*, Vol.118, Nr.1, 2020
- [Ebe07] EBERT, C.: The impacts of software product management. *Journal of Systems and Software*, Vol.80, Nr.6, 2007, S.850–861
- [Eve10] EVELEENS, C.: Innovation management; a literature review of innovation process models. Working Paper HAN University of Applied Sciences, Vol. 23, 2010, S.112–121
- [FGK+23] FICHTLER, T.; GRIGORYAN, K.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: Towards a Data-Driven Product Management – Concepts, Advantages, and Future Research. In 2023 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions (ICTMOD), 2023, S. 1–6
- [FKG+24] FICHTLER, T.; KIRCHBERG, L.; GRIGORYAN, K.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: Application Areas and Challenges of Data-Driven Product Management. Proceedings of the Pacific-Asia Conference on Information Systems, Ho Chi Minh City, 2024
- [FKG+24] FICHTLER, T.; KIRCHBERG, L.; GRIGORYAN, K.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: A Method for Identifying Use Cases in Data-Driven Product Management. Proceedings of the 31st CIRP Conference on Life Cycle Engineering (LCE 2024), 2024
- [FPS96] FAYYAD, U.; PIATETSKY-SHAPIRO, G.; SMYTH, P.: From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. *AI Magazine*, Vol.17, Nr.3, 1996, S.37-54
- [GFA+24] GRIGORYAN, K.; FICHTLER, T.; ASMAR, L.; KÜHN, A.: 63 Use Cases for Analyzing Data in Product Management of Manufacturing Companies. Proceedings of the Thirtieth Americas Conference on Information Systems, Salt Lake City, 2024
- [GFS+23] GRIGORYAN, K.; FICHTLER, T.; SCHREINER, N.; RABE, M.; PANZNER, M.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.; KOLDEWEY, C.: Data-Driven Product Management: A Practitioner-Driven Research Agenda. *Procedia CIRP*, Vol.119, 2023, S.290–295
- [GHS+17-ol] GNANASAMBANDAM, C.; HARRISON, M.; SRIVASTAVA, S.; WU, Y.: Product managers for the digital world. McKinsey, 2017. Unter: <https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/product-managers-for-the-digital-world>, Letzter Zugriff: 30.07.2024
- [Gor03] GORCHELS, L.: Transitioning from Engineering to Product Management. *Engineering Management Journal*, Vol.15, Nr.4, 2003, S.40–47
- [GR17] GABRIEL, R.; RÖHRS, H.P.: Social Media Potenziale, Trends, Chancen und Risiken. Springer Gabler, Berlin Heidelberg, 2017
- [GRS+15] GAUBINGER, K.; RABL, M.; SWAN, S.; WERANI, T.: Innovation and Product Management – A Holistic and Practical Approach to Uncertainty Reduction. Springer Gabler, Wiesbaden, 2015
- [HMP+04] HEVNER, A. R., MARCH, S. T., PARK, J., & RAM, S.: Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, Vol. 28, Nr. 1, 2004, S. 75-105.

- [HIÖ20] HALLSTEDT, S. I.; ISAKSSON, O.; ÖHRWALL RÖNNBÄCK, A.: The Need for New Product Development Capabilities from Digitalization, Sustainability, and Servitization Trends. *Sustainability*, Vol. 12, Nr. 23, 2020, 10222
- [HMV+22] HAASE, I.; MUCKE, J.; VOSSEN, D.; KNITZA, J.; RUFFER, N.; ZEECK, M.; KRUSCHE, M.: Social Media- Chancen und Risiken für die Rheumatologie. *Zeitschrift für Rheumatologie*, 81, 2022, S.413-422
- [HSU+16] HOLLER, M.; STOECKLI, E.; UEBERNICKEL, F.; BRENNER, W.: Towards Understanding closed-loop PLM: The Role of Product Usage Data for Product Development enabled by intelligent Properties Bled. Slovenia, Juni 19-22, 2016, Association for Information, S. 479
- [KM23] KRÄMER, A.; MAUER, R.: Anwendungsfall E: Durchführung von Social Media-Kampagnen. In: Krämer, A.; Mauer, R. (Hrsg.): *Datenschutz für Entscheider in Marketing und Vertrieb*. Springer Gabler, Berlin Heidelberg, 2023
- [KS19] KAUFFELD, S.; SPURK, D.: *Handbuch Karriere und Laufbahnmanagement*. Springer Verlag, Heidelberg, 2019
- [KST+84] KANO, N.; SERAKU, N.; TAKAHASHI, F.; TSUJI, S.: Attractive Quality and Must-Be Quality. *The Journal of the Japanese Society for Quality Control*, Vol.14, Nr.2, 1984, S.39-44
- [Lew46] LEWIN, K.: Action Research and Minority Problems. *Journal of Social Issues*, Vol. 2, Nr. 4, 1946, S. 34-46.
- [Lin18] LIN, C.: Data driven product management. *IEEE Engineering Management Review*, Vol.46, Nr.1, 2018, S.16–18
- [Lin24-ol] LINKEDIN. Unter: <https://www.linkedin.com/>, Letzter Zugriff: 29. Juli 2024
- [Mey24] MEYER, M.: Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts Band 421, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, 2024
- [MFK+22] MEYER, M.; FICHTLER, T.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: Potentials and challenges of analyzing use phase data in product planning of manufacturing companies. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, Vol. 36, Nr.14, 2022
- [MPL+21] MEYER, M.; PANZNER, M.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: Towards Identifying Data Analytics Use Cases in Product Planning. *Procedia CIRP*, Vol.104, 2021, S1179–1184
- [NKB+21] NAZEMI, K.; KAUPP, L.; BELOW, M.; BURKHARD, D.: 5.4. Datenvizualisierung. In: Putnings, M., Neuroth, H., Neumann, J. (Hrsg.): *Praxishandbuch Forschungsdatenmanagement*. De Gruyter Saur, Berlin, 2021
- [Pat14] PATTON, J.: *User Story Mapping*. O'Reiley Media, Sebastopol, 2014
- [PH15] PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E.: How Smart, Connected Products Are Transforming Companies. *Harvard Business Review*, Vol.93, Nr.10, 2015, S.96–114
- [SB20] STAPF, T.; BRONOWICKA, J.: *Migration / Digital - Die Bedeutung der Sozialen Medien für Ankommen, Orientierung und Teilhabe von Neuzugewanderten in Deutschland*. Mensch und Buch Verlag, Berlin, 2020
- [She14] SHERMAN, R.: *Business Intelligence Guidebook Form Data Integration to Analytics*. Elsevier, Morgan Kaufmann, Amsterdam, 201420
- [SHP+11] SEIN, M.K.; HENFRIDSSON, O.; PURAO, S.; ROSSI, M.; LINDGREN, R.: Action Design Research. *MIS Quarterly*, Vol. 35, Nr. 1, 2011, S. 37-56
- [SP22] SINGH, S., PILLAI, S.: Facilitating decision making through IoT and Big Data in product development. In 2022 International Conference on Decision Aid Sciences and Applications (DASA), 2022, S.1300
- [Vdi24-ol] VDI. Unter: <https://www.vdi.de/netzwerke-aktivitaeten/vdi-net>, Letzter Zugriff: 29. Juli 2024
- [Web15] WEBER, T.: *CSR und Produktmanagement – Langfristige Wettbewerbsvorteile durch nachhaltige Produkte*. Springer Gabler, Berlin Heidelberg, 2015

- [WKJ+12] WASSMER, C., KÜNZLER, M., JARREN, O., PUPPIS, M.: Kategorisierung von Social Media. Forschungsbericht zuhanden des BAKOM - Bundesamt für Kommunikation vom 15.11.2012. IPMZ, Januar 2012.
- [Xin24-ol] XING. Unter: <https://www.xing.com/>, Letzter Zugriff: 29. Juli 2024
- [Yin09] YIN, R. K.: Case Study Research: Design and Methods. Sage Publications, 2009.

Autoren

Khoren Grigoryan, M.Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung „Corporate Innovation“ am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM in Paderborn. Nach dem Bachelor- und Masterstudium im Wirtschaftsingenieurwesen mit dem Schwerpunkt Maschinenbau an der Universität Paderborn widmet er sich der Leitung und Betreuung von Forschungs- und Industrieprojekten im Bereich strategischer Produktplanung und Innovationsmanagement. Seit Beginn seiner Promotion beschäftigt er sich intensiv mit dem datenbasierten Produktmanagement und der Integration von Datenanalysen in die Produktmanagementprozesse von Unternehmen.

Lucas Martin, M.Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung „Digital Engineering“ am Fraunhofer Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM in Paderborn. Er absolvierte ein Bachelorstudium in International Management an der Hochschule Düsseldorf und anschließend ein Bachelorstudium des Maschinenbaus sowie ein Masterstudium in Automatisierungstechnik an der RWTH Aachen, welches er mit Auszeichnung abschloss. Seit Januar 2024 ist er am Fraunhofer IEM in der Gruppe „Data-driven Engineering“ tätig, wo er vor allem Forschungs- und Industrieprojekte zum Einsatz generativer KI in Engineeringprozessen sowie zu Methoden der Datenanalyse für das Produktmanagement bearbeitet.

Timm Fichtler, M.Sc. ist Teamleiter in der Fachgruppe Advanced Systems Engineering (ASE) am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn. Er absolvierte sein praxisintegriertes Bachelorstudium des Wirtschaftsingenieurwesens an der Fachhochschule Bielefeld und setzte sein Masterstudium an der Universität Paderborn fort. Seit Dezember 2021 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Fachgruppe ASE unter der Leitung von Prof. Dumitrescu tätig und hat im Januar 2024 die Leitung des Business Engineering Teams übernommen. In dieser Rolle betreut und leitet er Forschungs- und Industrieprojekte. Sein Forschungsschwerpunkt liegt insbesondere im Bereich des datenbasierten Produktmanagements.

Dr.-Ing. Jannik Reinhold studierte Wirtschaftsingenieurwesen mit dem Schwerpunkt Elektrotechnik an der Universität Paderborn. Von 2018 bis 2022 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn in der Fachgruppe Advanced Systems Engineering und leitete das Team Strategische Planung. Unter der Betreuung von Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu promovierte er zum Thema "Systematik zur musterbasierten Transformation von Wertschöpfungssystemen für Smart Services". Seit Juli 2022 ist er bei WAGO im Produktmanagement tätig. Als Produktmanager ist er verantwortlich für das Partnermanagement im Bereich Cabinet Offerings und koordiniert weitere strategische Inhalte.

Laban Asmar, M.Sc. leitet die Abteilung „Corporate Innovation“ am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM in Paderborn. Die Abteilung umfasst die beiden Gruppen „Technologie- & Innovationsmanagement“ und „Lean Prototyping“. Er war Gründer eines IT-

Startups und begleitete weitere Ausgründungen als Business Developer. Seine Expertise spiegelt sich in einer Vielzahl von Industrie- und Forschungsprojekten wider, darunter die Transformation von Innovationseinheiten in Unternehmen, frühe Prototypenentwicklung und Validierung von Produktideen sowie andere Innovationsprojekte. Er koordiniert drei Innovationslabore in Deutschland und Malaysia. Darüber hinaus verfügt er über mehr als sechs Jahre Erfahrung in der Durchführung von Schulungen im Bereich Innovationsmanagement.

Dr.-Ing. Arno Kühn leitet den Forschungsbereich „Advanced Systems Engineering“ am Fraunhofer IEM in Paderborn. Darüber hinaus ist er als Leiter Strategie für das Spartencluster Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe (it's OWL) tätig. Nach seinem Studium des Wirtschaftsingenieurwesens an der Universität Paderborn promovierte er an der Fakultät Maschinenbau mit der Dissertation „Systematik zur Release-Planung intelligenter technischer Systeme“.

Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu ist Direktor am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM und Leiter der Fachgruppe Advanced Systems Engineering am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Produktentstehung intelligenter technischer Systeme. In Personalunion ist Prof. Dumitrescu Geschäftsführer des Technologienetzwerks Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe (it's OWL).

Beschreibungsmodell für die kontinuierliche Integration von strategischer Vorausschau in den Produktentstehungsprozess

**Carsten Thümmel¹, Carlos Rodrigo Urbina Puch¹, Sebastian Ebi¹,
Stefan Eric Schwarz¹, Maximilian Schmitz², Andreas Siebe¹, Albert Albers¹**

¹ IPEK – Institut für Produktentwicklung am KIT, {carsten.thuemmel; stefan.schwarz; andreas.siebe; albert.albers}@kit.edu, {carlos.puch; sebastian.ebi}@student.kit.edu

² Technische Universität Ilmenau, maximilian.schmitz@tu-ilmenau.de

Zusammenfassung

Die Schnelllebigkeit des Umfeldes nimmt signifikant zu, in dem die Komplexität steigt und die Anforderungen an die Entwicklung sich stetig verändern. Die Entwicklung zukünftiger Produkte erfordert das strategische Vordenken des Umfelds und dessen Randbedingungen sowie der Kunden und deren Anforderungen. Mittels Methoden der Vorausschau können alternative Zukünfte entwickelt und beschrieben werden. Durch schon bestehende, methodische Ansätze zur Verknüpfung der strategischen Vorausschau mit der Produktentstehung besteht die Möglichkeit zur Ableitung künftig relevanter Produkteigenschaften. Es fehlt jedoch bislang an Ansätzen, die den Entwickler dabei unterstützen, entlang des Produktentstehungsprozesses auftretende Umfeldveränderungen und deren Einfluss auf die zukünftigen Produkteigenschaft systematisch zu verknüpfen. Eine solche kontinuierliche Integration im Sinne eines Monitorings umfasst die frühzeitige Feststellung relevanter Abweichungen der erwarteten Randbedingungen und deren Einfluss auf die ursprünglichen Anforderungen, welche als Planungsgrundlage bei Entwicklungsbeginn gedient haben. Dieser Zusammenhang wird in diesem Beitrag durch die Entwicklung eines Beschreibungsmodells adressiert. Im Rahmen von Interviews mit zehn Experten der Vorausschau, Technologieplanung sowie Produktentwicklung wurden Zusammenhänge identifiziert und beschrieben. Anhand der daraus gewonnenen Erkenntnisse und Anforderungen wurde iterativ ein Modell zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Umfeld und Zielsystem erstellt. Dieses verknüpft geplante Eigenschaften des zu entwickelnden Produkts mit relevanten Informationen aus der strategischen Vorausschau. Durch Betrachtung unterschiedlicher Elemente im Zielsystem des PEP wird die Konkretisierung der Planungen während der Entwicklung abgebildet. Durch das Beschreibungsmodell wird eine kontinuierliche Verknüpfung zwischen der strategischen Vorausschau und der Produktentstehung vorgedacht. Hierauf sollen künftig methodische Ansätze des Monitorings aufbauen, um Änderungen und Abweichungen zu identifizieren und das frühzeitige Einleiten geeigneter Gegenmaßnahmen in der Planung und Entwicklung zu ermöglichen.

Schlüsselworte

Modell, Monitoring, Produktentstehungsprozess (PEP), Szenarien, Validierung, Vorausschau, Zukunftsmanagement.

Description Model for the Continuous Integration of Strategic Foresight into the Product Engineering Process

Abstract

The fast pace of the environment is increasing significantly, with growing complexity and constantly changing development requirements. The development of future products requires strategic foresight of the environment and its boundary conditions as well as the customers and their requirements. Foresight methods can be used to develop and describe alternative futures. Existing methodological approaches for linking strategic foresight with product development make it possible to derive future-relevant product characteristics. However, there is still a lack of approaches that support the developer in systematically linking environmental changes that occur along the product development process and their influence on future product characteristics. Such continuous integration in the sense of monitoring includes the early detection of relevant deviations from the expected boundary conditions and their influence on the original requirements, which served as the basis for planning at the start of development. This context is addressed in this article through the development of a description model. In the course of interviews with ten experts in foresight, technology planning and product development, correlations were identified and described. Based on the resulting findings and requirements, a model was iteratively created to describe the relationship between the environment and the problem space. This links planned properties of the product to be developed with relevant information from the strategic foresight. By looking at different elements in the problem space of the PDP, the concretization of the plans during development is formed. The description model provides a continuous link between strategic foresight and product development. In the future, methodical approaches to monitoring should build on this in order to identify changes and deviations and enable the early introduction of suitable countermeasures in planning and development.

Keywords

Foresight, future management, model, monitoring, product engineering process (pep), scenarios, validation.

1 Einleitung

In einer Welt, die durch rasante Veränderungen und zunehmende Komplexität geprägt ist, steigen die Anforderungen an die Entwicklung zukünftiger Produkte stetig. Um diesen Herausforderungen gerecht zu werden, ist es unerlässlich, das Umfeld, seine Randbedingungen sowie die Kunden und deren Bedürfnisse strategisch vorauszudenken. Methoden der Vorausschau bieten dabei u.a. die Möglichkeit, alternative Zukunftsszenarien zu entwickeln und zu beschreiben. Durch etablierte methodische Ansätze zur Verknüpfung der strategischen Vorausschau mit der Produktentstehung lassen sich dadurch zukünftige Produkteigenschaften ableiten. Allerdings fehlt es bisher an Ansätzen, zwischenzeitlich auftretende Umfeldabweichungen kontinuierlich mit daraus eventuell notwendigen Veränderungen der Produkteigenschaften entlang des gesamten Produktentstehungsprozesses zu verknüpfen. Eine solche kontinuierliche Integration im Sinne eines Monitorings könnte ermöglichen, relevante Abweichungen der erwarteten Randbedingungen und Anforderungen frühzeitig festzustellen und angemessen zu berücksichtigen.

Dieser Beitrag adressiert diese Lücke durch die Entwicklung eines Beschreibungsmodells, das auf Erkenntnissen aus Interviews mit Experten aus den Bereichen Entwicklung, Zukunftsforschung und Management basiert. Das entwickelte Modell beschreibt den Zusammenhang zwischen dem Umfeld und dem Zielsystem eines Produkts, indem es geplante Produkteigenschaften mit relevanten Informationen aus der strategischen Vorausschau durch die Ableitung von Indikatoren und Indizien verknüpft.

2 Stand der Forschung

2.1 Innovationsverständnis und Produktentstehung

Der Produktentstehungsprozess (PEP) ist Teil des Produktlebenszyklus und umfasst alle Schritte von der Idee und der Produktplanung, über die Produktentwicklung bis hin zur Produktionssystementwicklung und dem Produktionsstart. Die Basis für zukünftige Innovationen ist eine vorausschauende, systemorientierte Entwicklung. [AG12] Innovation ist definiert als die retrospektiv erfolgreiche Umsetzung einer technischen Erfindung als Produkt auf dem Markt [Sch39]. Ergänzt wurde dieses Verständnis von ALBERS ET AL. [AHW+18] um das Produktprofil, ein Modell zur Beschreibung einer Bedürfnissituation, das den Lösungsraum für die Gestaltung des Produkts spezifiziert und die Nutzen für Anbieter, Kunden und Nutzer für die Validierung zugänglich macht. Dies steht im Einklang mit [PB99], die betonen, wie wichtig es ist, sich zunächst auf die Bedürfnisse anstatt auf spezifische Lösungen zu konzentrieren, um alle möglichen Lösungen offen zu halten. Die frühe Phase der Produktentwicklung ist essenziell, weil der Einfluss auf die spätere Entwicklung sehr hoch ist und der Erfolg weitgehend von den hier getroffenen Entscheidungen abhängt [CK93], [Ver97]. Das V-Modell (VDI 2206) ist ein etabliertes Modell zur Beschreibung der Produktentwicklung. Hierbei werden Anforderungen spezifiziert, domänenpezifisch ausgestaltet und letztlich in das System integriert. Kleiner und Kramer [KK13] haben das V-Modell um den RFLP-Ansatz erweitert, der die Schritte Re-

quirements-Engineering, Functional-Design, Logical-Design und Physical-Design zur System-spezifikation beinhaltet. Die Produktentwicklung kann als eine kontinuierliche Interaktion von Zielsystem, Operationssystem und Objektsystem verstanden werden [Rop75]. Basierend auf diesem Systemtripel haben ALBERS ET AL. [ARB+16] das iPeM - integriertes Produktentstehungsmodell entwickelt, mit dem der PEP auf Basis von Basis- und Kernaktivitäten in mehreren Phasen beschrieben werden kann. Mehrere Generationen, das zugehörige Produktionssystem, die Strategie und das Validierungssystem werden in Ebenen abgebildet [ARB+16]. Produkte und Systeme werden anhand von Referenzen in Generationen entwickelt, weshalb ALBERS ET AL. [AKR+22] mit dem Modell des SGE - System Generation Engineering - ein beschreibendes Modell entwickelt haben. Produkte sind Systeme, die als Produkte wahrgenommen werden. Mehrere aufeinanderfolgende Produktgenerationen werden gleichzeitig, aber in unterschiedlichen Stadien entwickelt. Dabei werden Elemente des Referenzsystems durch Übernahme-, Ausprägungs- und Prinzipvariation auf das neue System übertragen [AKR+22]. Auf Basis des Modells der SGE wurde ein Ebenenmodell eingeführt, um die Relationen und Abhängigkeiten von Produkteigenschaften, Produktfunktionen und Subsystemen bzw. deren Ausgestaltung bei der Konkretisierung von Spezifikationen zu beschreiben [AHH+18].

2.2 Strategische Vorausschau in der Produktentstehung

Die Hauptgründe für den Einsatz der strategischen Vorausschau sind die durch Iterationsschleifen bedingten, langen Entwicklungszeiten und das Bestreben, innovative Produkte zu entwickeln [Gau19]. Sie wurde oft als separater Prozess betrachtet, wird aber immer mehr in den PEP einbezogen [Mül08]. Der Begriff strategische Vorausschau kommt aus dem Zukunftsmanagement. Mit Hilfe des Zukunftsmanagements wollen Unternehmen adaptiv und schnell auf Veränderungen in der Zukunft reagieren [Wes06]. Dabei wird mit zunehmendem Zeithorizont zwischen drei Ebenen unterschieden: der operativen, taktischen und strategischen Ebene. Diese Ebenen lassen sich je nach adressiertem Zeithorizont verschiedene Instrumente der Vorausschau zuordnen: Prognosen (kurzfristig), Trends (mittelfristig) und Szenarien (langfristig). [Sie18] Szenarien werden eingesetzt, um mögliche Entwicklungen in der Zukunft aufzuzeigen. Sie werden von Trends abgegrenzt, indem zukunftsoffenen und vernetzt gedacht wird. [FS11] Die Szenariotechnik nach GAUSEMEIER ET AL. [GFS98] besteht aus fünf Schritten. Ausgehend von einer Analyse des zuvor definierten Szenariofelds werden Faktoren identifiziert, welche die aktuelle Situation beschreiben. Daraus wird durch Bewertung eine überschaubare Anzahl von Schlüsselfaktoren für den weiteren Prozess ausgewählt. Für jeden Schlüsselfaktor werden auf der Basis von zwei zu definierenden Dimensionen alternative Projektionen in die Zukunft aufgestellt, wie sich der Faktor entwickeln kann. Durch die plausible Kombination jeweils einer Projektion jedes Schlüsselfaktors werden konsistente Szenarien erstellt. Diese werden in eine Landkarte der Zukunft überführt und beschrieben. Anschließend können im Szenario-Transfer Maßnahmen abgeleitet werden. [Gau19], [GFS98], [Sie18] Neben der Nutzung von Szenarien für die strategische Ausrichtung von Unternehmen gibt es Ansätze zur Ableitung von Produkteigenschaften für die Umsetzung im PEP. Nach THÜMMEL ET AL. [TSK+22] kann hier zwischen einer zukunftsorientierten und zukunftsrobusten Ausrichtung unterschieden werden. MEYER-SCHWICKERATH [Mey14] hat die Verknüpfung zwischen der Szenariotechnik und der strategischen Frühaufklärung aus der strategischen Vorausschau und dem PEP im Kontext der

Aktivitäten im iPeM untersucht und eine Integration der Vorausschau über das Zielsystem in den PEP erzielt. Albers und Dumitrescu [ADM+18] beschreiben den Bedarf des methodischen Brückenschlags zwischen Zukunftsbildern und technischen Teilsystemen (siehe Bild 1). ALBERS ET AL. [AMS+22] haben einen Ansatz zur Ableitung von Produktprofilen und Eigenschaften zukünftiger Produktgenerationen durch strategische Vorausschau entwickelt. Die Eigenschaften werden u.a. mit Hilfe des Kano-Modells auf ihre Zukunftsrelevanz hin bewertet. Wenn die Eigenschaften beim Eintreten verschiedener Szenarien zur Kundenzufriedenheit beitragen, gelten sie als zukunftsrobust. [AMS+22] Die ermittelten Eigenschaften werden als Grundstein für das Zielsystem des PEP verwendet [Mey14]. Mit dem Ansatz zur Ermittlung veränderter Produkteigenschaften mittels Foresight von Kübler und SCHUSTER ET AL. [KSS+23] existiert ein weiterer Ansatz. Dieser adressiert die Vorausschau von Upgrades und Updates [KTS+23].

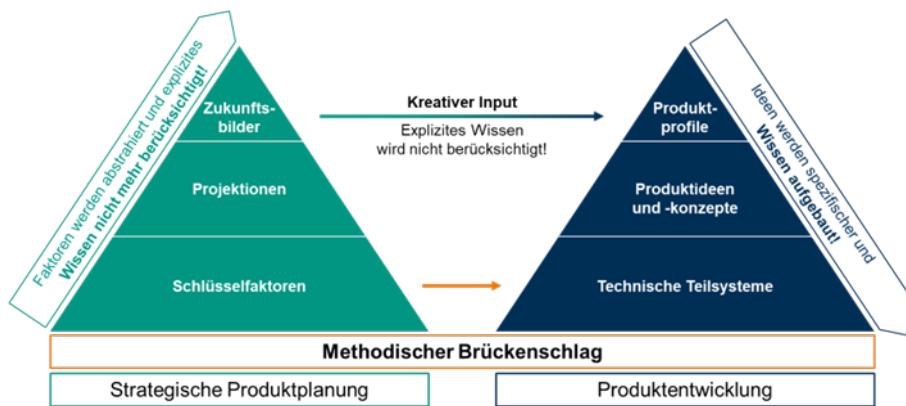


Bild 1: Methodischer Brückenschlag zwischen Vorausschau und Produktentwicklung [ADM+18]

2.3 Monitoring in der Vorausschau und Produktentstehung

Unter Monitoring versteht man die „gezielte kontinuierliche Überwachung von bestimmten Abschnitten und Objekten eines Systems zur Erfassung von Informationen über Aktivitäten und Veränderungen“ [Sie07]. Monitoring ist eine anerkannte und grundlegende Tätigkeit in Unternehmen. Im PEP kann Monitoring beispielsweise dazu dienen, den aktuellen Stand von Forschung, Entwicklung oder Produktion zu überprüfen. [GKS+03], [GV06] In der strategischen Vorausschau ist das Monitoring ein wesentlicher Bestandteil des Prozesses. Aufgrund der hohen Veränderungsrate in der Gesellschaft ist es notwendig, Veränderungen zu beobachten. Monitoring ist Teil des Szenariocontrollings und des Trendmanagements in der strategischen Früh- aufklärung und hat damit einen direkten Einfluss auf die Veränderung der Ausprägung der Schlüsselkriterien. Im Rahmen des Szenariocontrolling werden die relevanten Bereiche des Zukunftsräums der Szenarien betrachtet und unvorhergesehene Veränderungen in der Umfeldentwicklung festgestellt. Dabei wird zunächst geprüft, ob und in welcher Form dies Auswirkungen auf die zu Beginn bewertete Eintrittswahrscheinlichkeit der Szenarien hat. Das Trendmanagement beschäftigt sich mit unvorhergesehenen Entwicklungen in der Zukunft. Relevante, bekannte Trends werden beobachtet, aber auch neue, unerwartete Trends werden berücksichtigt und analysiert. Diese Veränderungen werden berichtet und bei Bedarf in die Szenarien quasi wie eine Projektion eingearbeitet. [FS16]. In einer Analyse verschiedener Methoden zur Sze-

narioerstellung konnten Einfluss- und Schlüsselfaktoren als zentrale Elemente und damit mögliche Ansatzpunkte zum Monitoring identifiziert werden. Eine nachgelagerte Untersuchung verschiedener Methoden zum Monitoring zeigt den Bedarf für eine methodische Unterstützung im PEP auf, da keine geeigneten Ansätze identifiziert wurden. [TSR+23] Um ein Verständnis zu schaffen, haben ALBERS ET AL. [ATS+24] eine Definition für Monitoring im Kontext des PEP vorgestellt. Diese ordnet Monitoring als Teil der Validierung ein, indem gezielt nach Informationen zu zuvor identifizierten, relevanten Indikatoren für das zukünftige Umfeld gesucht wird. Durch systematische Beobachtung während der Entwicklung soll so eine generationsübergreifende Erkennung von Änderungen und die Einleitung geeigneter Maßnahmen unterstützt werden. [ATS+24] Dieser Zusammenhang ist in Bild 2 dargestellt. Um die Produktausrichtung bewerten und Abweichungen feststellen zu können, wurde die Verortung von Produktprofilen im Zukunftsräum durch äquivalente Szenarien vorgenommen [TKS+24]. Ein initialer übergreifender Ansatz zur kontinuierlichen Integration von Vorausschau in den PEP wurde durch ein Vorgehensmodell in fünf Schritten entwickelt [THS+24].

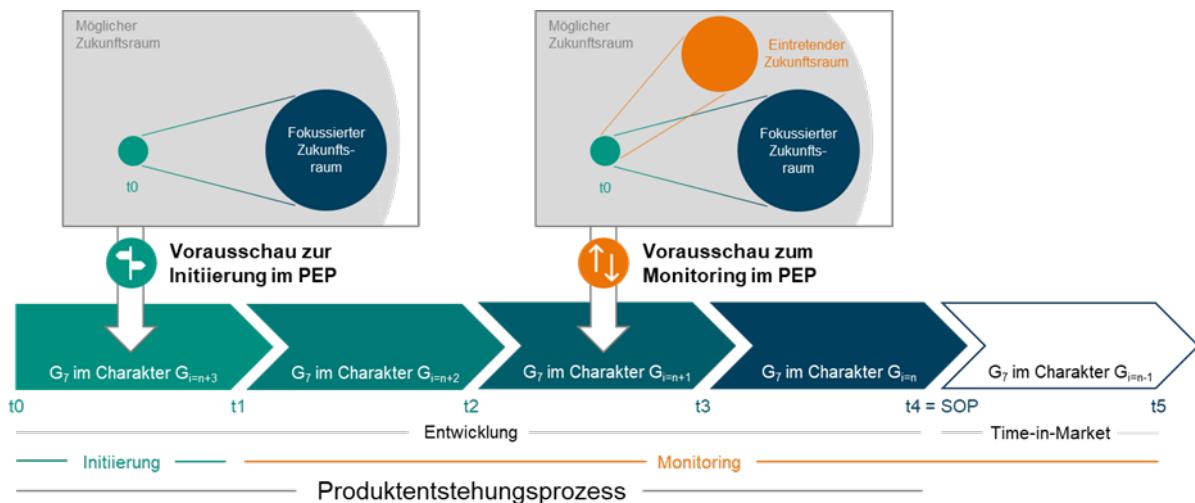


Bild 2: *Fiktive, spezielle Produktgeneration G7 und ihr Charakter im zeitlichen Verlauf [ATS+24]*

3 Forschungsprofil und Methodisches Vorgehen

3.1 Forschungsprofil

Aus dem Stand der Forschung ergeben sich Potenziale für eine kontinuierliche Integration von Vorausschau in den PEP. Insbesondere zum Monitoring wurden Forschungslücken und Bedarfe identifiziert. Einige Vorarbeiten haben sich mit der Verknüpfung befasst, jedoch wurden bislang keine Ansätze zur kontinuierlichen Einbindung und einer umfassenden Beschreibung von Monitoring entwickelt. Es resultiert der Bedarf für einen methodischen Ansatz, welcher kontinuierlich und systematisch die anhand von Vorausschau abgeleiteten Produktanforderungen und -eigenschaften gegenüber der Zukunftsentwicklung validiert. Hierfür wird zunächst eine Beschreibung des Zusammenhangs für ein solches Monitoring benötigt.

Das Forschungsziel in diesem Beitrag ist zunächst die Entwicklung eines Modells zur Beschreibung der kontinuierlichen Verknüpfung zwischen der strategischen Vorausschau und dem PEP, wobei auf das Monitoring fokussiert wird. Dieses soll den Zusammenhang zwischen Änderungen in der Zukunftsentwicklung und den Planungen im Zielsystem anhand von Indikatoren und Indizien beschreiben.

3.2 Methodisches Vorgehen

Zur Strukturierung des Vorhabens wurden drei Forschungsfragen aufgestellt:

- 1) Welche Anforderungen und Bedürfnisse bestehen aus der Perspektive der Produktentwicklung, um mit Hilfe von Indikatoren Produkteigenschaften gegenüber der Vorausschau zu validieren?
- 2) Wie kann ein Modell gestaltet sein, das die kontinuierliche Verknüpfung der strategischen Vorausschau mit der Produktentwicklung beschreibt?
- 3) Wie kann das Monitoring in der Praxis exemplarisch angewendet werden?

Das methodische Vorgehen ist an die Design Research Methodology (DRM) von Blessing und Chakrabarti [BC09] angelehnt. Diese beschreibt im Allgemeinen vier Phasen, um ein Forschungsvorhaben zu strukturieren. In einer ersten Research Clarification wird der Forschungsgegenstand geklärt und vorliegende Informationen zusammengetragen, um das Ziel zu definieren. In einer ersten deskriptiven Studie wird das Verständnis vertieft und Daten erhoben. Hierzu wurde eine Interviewstudie durchgeführt, um die Anforderungen an ein Beschreibungsmodell zu erörtern und die erste Forschungsfrage zu beantworten. In einer präskriptiven Phase werden Lösungsansätze entwickelt. In diesem Fall wurde unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus der ersten deskriptiven Studie ein Beschreibungsmodell für Monitoring zwischen Produktentwicklung und Vorausschau erstellt. Auf eine ausführliche Validierung im Rahmen einer zweiten deskriptiven Studie wurde verzichtet. Eine beispielhafte Anwendung mit Daten aus der Automobilentwicklung wurde initial durchgeführt, um die grundsätzlichen Zusammenhänge zu prüfen.

4 Entwicklung eines Beschreibungsmodells

4.1 Interviewstudie

Für die Entwicklung eines Beschreibungsmodells wurde zunächst eine geeignete Methode zur Bedarfserhebung ausgewählt. Angelehnt an die DRM wurde hierfür eine Question-Method Matrix aufgestellt. Hierbei werden sowohl die Eignung der entsprechenden Methode zur Beantwortung der Forschungsfrage als auch der Aufwand für die Teilnehmenden und Forschenden eingeschätzt. Herangezogen und bewertet wurden die drei Methoden Literaturrecherche, Fragebogenstudie und Interviewstudie. Für das Forschungsvorhaben wurde trotz hohem Aufwand für Forschende und Befragte die Interviewstudie gewählt, da diese die höchste Eignung aufweist (siehe Bild 3).

| | Methode 1: Literaturrecherche | Methode 2: Fragebogenstudie | Methode 3: Interviewstudie |
|--|---|--|--|
| | Bedarfserhebung in Form einer systematischen Literaturrecherche | Bedarfserhebung in Form einer Fragebogenstudie | Bedarfserhebung in Form einer Interviewstudie |
| Welche Anforderungen und Bedürfnisse bestehen aus der Perspektive der Produktentwicklung, um mit Hilfe von Indikatoren Produkteigenschaften gegenüber der Vorausschau zu validieren? | ✓ | ✓ | ✓✓ |
| FF | | FF T | FF TT |
| | ✓ Teilweise Eignung ✓✓ Vollständige Eignung | F Geringer Aufwand Forscher FF Hoher Aufwand Forscher | T Geringer Aufwand Teilnehmer TT Hoher Aufwand Teilnehmer |

Bild 3: Question-Method Matrix für verschiedene Methoden zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage (angelehnt an [BC09])

Für die Interviewstudie wurden zehn Experten aus den Bereichen Entwicklung, Strategie und Zukunftsforschung sowie der Leitungsebene im Management befragt, welche zwischen einem und 30 Jahren in der jeweils aktuellen Position arbeiten. Dadurch wird eine breite Streuung über mehrere an einer Validierung im Sinne von Monitoring beteiligten Abteilungen abgebildet. Die Interviews wurden angelehnt an BOGNER ET AL. [BLM14] als qualitative, teilstrukturierte Studie durchgeführt. Da die Teilnehmenden Wissen aus unterschiedlichen Bereichen und Sichtweisen einbringen sollen und daher keine Standardisierung der Ergebnisse angestrebt wird, werden jeweils passend zu Position und Hintergrund unterschiedliche Fragen gestellt. Für die drei Bereiche Entwicklung, Zukunftsforschung und Management wurde jeweils ein eigener, semi-strukturierter Fragebogen erstellt. Nach einer Einstiegsphase mit dem Abfragen von allgemeinen Daten wird dabei abhängig vom jeweiligen Bereich teilweise in die Thematik Vorausschau eingeführt und Einflussgrößen zum aktuellen Stand der Entwicklung, der Vorausschau sowie anstehenden Entscheidungen im Entwicklungsprozess erhoben. Abschließend ist Raum zur Diskussion. In den Interviews wurde das Vorhaben zur Entwicklung eines Beschreibungs- und Vorgehensmodells angesprochen sowie Anforderungen und Randbedingungen hierzu erfragt. Die Interviews wurden vor Ort oder standortverteilt durchgeführt mit einer Länge von jeweils 45 bis 60 Minuten.

Die Dokumentation erfolgte teilweise während der Interviews, wobei durch die unterschiedlichen Fragen keine wortwörtliche Transkription benötigt wurde, sondern die wichtigsten Aussagen qualitativ notiert wurden. Die teilweise vorhandenen Tonaufnahmen wurden nachgelagert ausgewertet und Aussagen im jeweiligen Protokoll ergänzt. Die Aussagen wurden anschließend zusammengetragen und geclustert, um verschiedene Bereiche zusammenzufassen. Diese beantworten die erste Forschungsfrage. Auszugsweise sind Aussagen und Anforderungen in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 10: Relevante Aussagen sowie genannte Ziele und Anforderungen in den Interviews

| Relevante Aussagen | Ziele und Anforderungen |
|---|---|
| Das Zielsystem ist ein zeitabhängiges System | Das Modell soll Indikatoren für die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung im PEP beinhalten |
| Am Anfang von Projekten ist das Zielsystem uneindeutig. Dieses kann sogar widersprüchlich sein | Indikatoren sollen als Unterstützung für die Entscheidungsfindung dienen und nicht Gründe für die Vorbestimmung einer Entscheidung |
| Die technischen Prämissen beinhalten Wertebereiche, in denen sich die Produktparameter befinden sollen. Die technischen Prämissen sind teil des Zielsystems | Indikatoren können der Entwicklung helfen, um Managemententscheidungen nachzuvollziehen |
| Das Innovationsmanagement arbeitet mit der Zukunftsforschung zusammen | Indikatoren der strategischen Vorausschau in der frühen Phase sollen direkt mit der Entwicklung verknüpft werden, da in der frühen Phase noch keine Produktmanager vorhanden sind |
| Die Zukunftsforschung sammelt Signale und kategorisiert relevante Themenfelder, wenn mehrere Signale dazu auftreten | Indikatoren sollen kontinuierlich über den gesamten PEP erreichbar sein |
| Relevante Umfeldentwicklungen werden von den Zukunftsforschern an das Management und den Vorstand gemeldet | |

4.2 Beschreibungsmodell

Auf der Grundlage der Aussagen und Erkenntnisse aus den Interviews sowie Beschreibungen der Zusammenarbeit in den Unternehmen wird iterativ ein Modell zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen strategischer Vorausschau und der Produktentwicklung entwickelt, das die zweite Forschungsfrage beantwortet. Als ein wesentliches Ergebnis hat sich herausgestellt, dass es sowohl eine interne als auch eine externe Perspektive gibt, die auf die Entwicklung einwirken. Dieses wird zunächst allgemein als Wissen angenommen, woraus Faktoren und relevante Informationen extrahiert werden müssen. Dieser Wissensfluss ist in Bild 4 für externes Wissen über das Umfeld (oben) und für internes Wissen im Unternehmen (unten) dargestellt.

Ausgangspunkt ist die Umfeldebene, dessen Entwicklung durch Vorausschau – idealerweise mit Szenarien - mit entsprechenden Umfeldfaktoren beschrieben und entsprechend eingegrenzt werden kann. Für dieses Umfeld können sich Änderungen ergeben, die durch Scanning anhand

von Nachrichten in Form von schwachen Signalen aufgenommen werden können. Diese ermöglichen, relevante Informationen zu gewinnen und zu Indikatoren zusammenzufassen. Diese zusammengefassten Nachrichten beschreiben in den meisten Fällen eine Entwicklungstendenz, die dann im Weiteren durch Monitoring beobachtet werden kann. Verstärken sich diese Veränderungen, nehmen auch diese Tendenzen zu, wodurch gegebenenfalls signifikante Abweichungen gegenüber den angenommenen Prämissen entstehen. Diese sind mit dem Zielsystem abzugleichen und in den PEP zu integrieren.

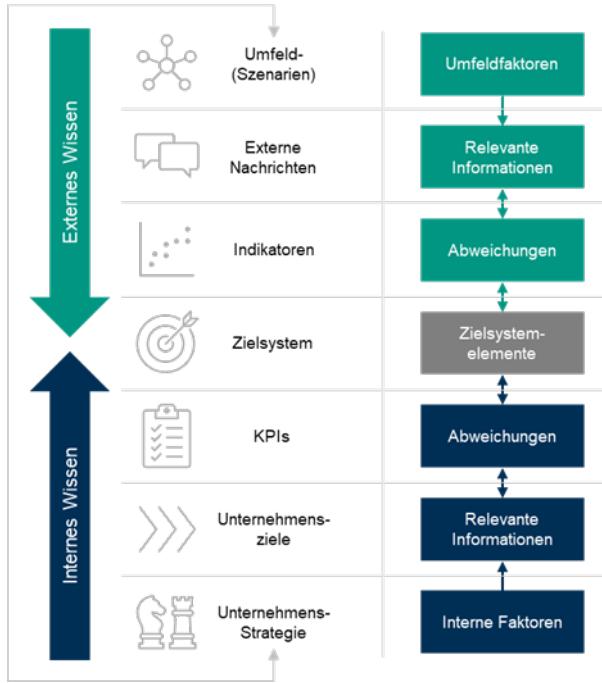


Bild 4: Modell zur Beschreibung des Zusammenwirkens von internem und externem Wissen auf das Zielsystem sowie deren zugehörige Größen zum Monitoring

Darüber hinaus dient die Betrachtung möglicher Umfeldentwicklung der Entwicklung von Unternehmensstrategien, die in ihrer Umsetzung durch interne Faktoren beschrieben werden können. Die weitere Operationalisierung der Unternehmensstrategie ermöglicht die Ableitung von Funktionalstrategien wie der Produktstrategie und Roadmaps. Hieraus ergeben sich relevante Informationen für die Entwicklung, die in Form von Zielgrößen beschrieben werden. Durch KPIs können diese Ziele messbar definiert werden, wodurch Abweichungen zwischen den Zielen gegenüber dem Zielsystem abgeglichen werden können.

Im Weiteren wird im Folgenden die obere Hälfte aus Bild 4 mit externem Wissen betrachtet, da der Fokus auf der Verknüpfung zwischen Vorausschau und Produktentwicklung liegt. Aus bestehenden Vorarbeiten von THÜMMEL ET AL. [TSR+23] geht hervor, dass Schlüsselfaktoren von bestehenden Szenarien eine sehr geeignete Größe für die Verknüpfung von Vorausschau mit der Entwicklung sein können. Über diese langfristige Zukunftsbetrachtung hinaus, lassen sich aber auch mittel- und kurzfristige Zeithorizonte durch Trends und Prognosen berücksichtigen. Für den Fall, dass keine systematische Vorbetrachtung durch Instrumente der Vorausschau vorliegen, werden darüber hinaus allgemeine Informationen und Nachrichten innerhalb des BeschreibungsmodeLLS berücksichtigt, indem diese über die Betrachtungsbereiche Konsum, Markt und Ökonomie integriert werden. Auch aus den allgemeinen Informationen können

schwache Signale erkannt werden und damit als Quellen für allgemeine Nachrichten fungieren (Bild 5 in der oberen Ebene). Aus diesen Nachrichten werden grundsätzlich relevante Aspekte für das Zielsystem als Informationen extrahiert. Um eine Zuordnung zum Zielsystem im Produktentstehungsprozess zu ermöglichen (untere Ebene in Bild 5), wird dieser zeitlich grob dargestellt. Die Darstellung basiert auf den Phasen im iPeM – integriertes Produktentstehungsmodell, dem RFLP-Ansatz (Requirements, Functional, Logical and Physical design) im Zusammenhang des V-Modells, dem Ebenen-Modell nach ALBERS ET AL. und der Verknüpfung zwischen Strategischer Produktplanung und Produktentwicklung.

Ausgehend von einer anfänglichen Initialisierung des PEP mit Betrachtung des zukünftigen Umfelds auf Basis von Vorausschau unter Nutzung von Szenarien und Unternehmensstrategien wird dann der Lösungsraum der Produktentwicklung durch Bedarfe beschrieben. Dies wird durch Einbeziehung von Personas und durch Generierung von Produktprofilen während der Potenzialfindung unterstützt. Es werden Produkt- und Nutzenpotenziale identifiziert, welche die hergeleiteten Bedarfe abdecken und final dazu entsprechende Ziele definiert. Unter Berücksichtigung von Vorschriften und Anforderungen werden anhand der Ziele konkrete Eigenschaften geplant. Diese können unterschiedlicher Herkunft sein und werden im Systems Engineering anhand des RFLP-Ansatzes als Requirements für die Entwicklung bezeichnet. Anhand dieser werden Funktionen definiert, die zu erfüllen sind, was durch die Betrachtung von Use-Cases unterstützt werden kann. Die Entwicklung der Gestalt von Subsystemen wird im RFLP-Ansatz unterteilt in logisch (Architektur) und physisch (Merkmale, Ausprägungen). Dies entspricht in der Grundannahme dem Ansatz von ALBERS ET AL. [AHH+18], wobei in drei voneinander abhängigen Ebenen Eigenschaften, Funktionen und die Subsysteme konkretisiert und ausgestaltet werden.

Durch die zunehmende Konkretisierung im zeitlichen Verlauf des PEP wird das zunächst qualitative Zielsystem zunehmend quantitativ messbar. Daher werden je nach zeitlichem Fortschritt entsprechende Indikatoren benötigt, weshalb eine Unterteilung in qualitative und quantitative Indikatoren vorgenommen wird (siehe mittlere Ebene in Bild 5). Auf der linken Seite werden überwiegend qualitative Informationen verarbeitet, weshalb die Indikatoren, die mit den Elementen des Zielsystems verknüpft werden, ebenfalls qualitativen Charakter aufweisen. In den frühen Phasen werden zur Umfeldbetrachtung eher langfristige und teilweise mittelfristige Instrumente der Vorausschau wie Szenarien oder Trends herangezogen. Zu späteren Zeitpunkten – auf der rechten Seite in Bild 5 – werden vermehrt quantitative Informationen genutzt. Daher kommen hier eher kurz- bis mittelfristige Instrumente der Vorausschau wie Prognosen oder Markttendenzen zum Einsatz, da diese in den meisten Fällen auch quantitativ beschrieben vorliegen. Diese Zuweisung ist jedoch nicht immer eindeutig, sodass keine diskrete Grenze existiert. Die Übergänge sind fließend. Ziel ist es, lediglich die Tendenz zu verdeutlichen. Der Zusammenhang aus Umfeld und Zielsystem mit Indikatoren als verknüpfendes Element ist in Bild 5 dargestellt. Hierbei wurde das Zielsystem um die Fokuszenarien sowie die Bedarfe erweitert.

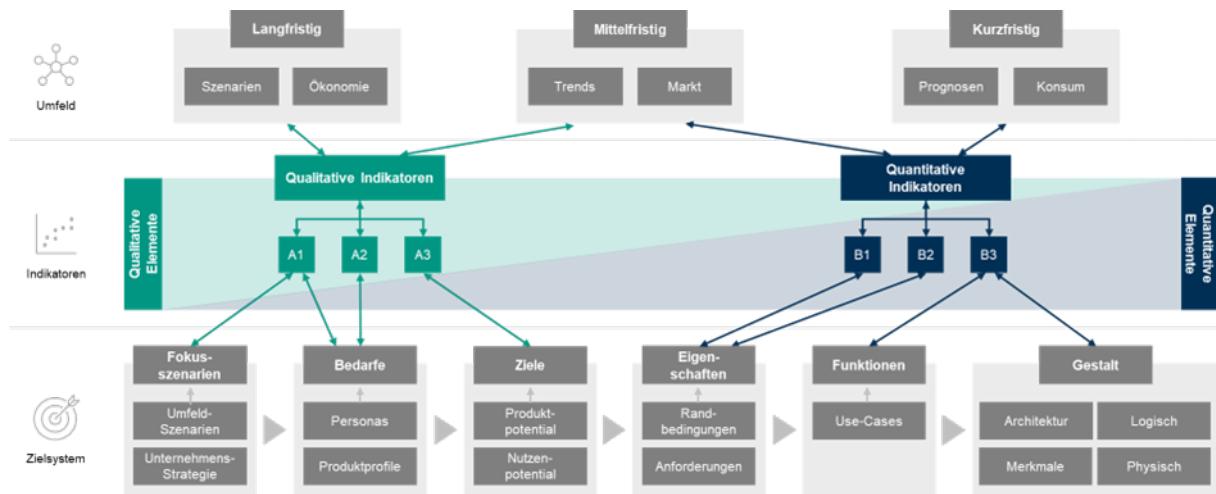


Bild 5: Modell zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Vorausschau und Produktentwicklung zur kontinuierlichen Validierung

Informationen für das Monitoring und die Beobachtung von Indikatoren werden schrittweise hergeleitet. Für das Umfeld können anhand von Scanning Nachrichten in Form schwacher Signale erfasst werden. Hierbei werden sowohl allgemeine Nachrichten erfasst als auch potenzielle Kundenbedürfnisse und Technologien beobachtet. Beispielsweise durch Data- und Text-Mining lassen sich relevante Informationen identifizieren. Besonders kritische Informationen können als Indizien fungieren, die eine Tendenz für eine bestimmte Entwicklung vermuten lassen. Diese Indizien, bzw. die dahinterliegenden Informationen, gilt es gesondert im Sinne eines klassischen Monitorings in der Vorausschau zu beobachten. Die Auswahl der Indizien soll durch Experten erfolgen. Zur besseren Nachvollziehbarkeit und Objektivität wird eine Bewertungsmetrik herangezogen, was darüber hinaus den Einsatz von Tools und künstlicher Intelligenz als Unterstützung ermöglicht. Die Indizien werden durch eine Korrelationsanalyse mit Indikatoren verknüpft. Diese werden aus der Vorausschau, beispielsweise aus Prognosen, Trends oder Szenarien abgeleitet und mit den Elementen des Zielsystems wie Produkteigenschaften oder -funktionen verknüpft. Umgekehrt können unsichere Aspekte aus dem Zielsystem zur Definition von Indikatoren dienen und mit Elementen aus der Vorausschau verknüpft werden. Durch die Verknüpfung der Indikatoren mit den Indizien und damit den Informationen aus Nachrichten, können Änderungen in der Umfeldentwicklung erfasst und in das Zielsystem eingebracht werden. Dieser Zusammenhang ist in Bild 6 dargestellt.

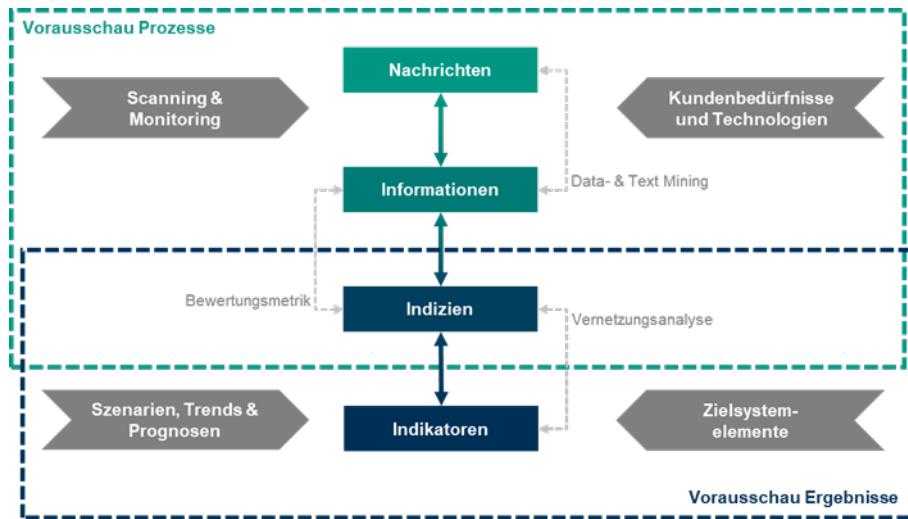


Bild 6: Zusammenhang der Korrelation zwischen Nachrichten und Indikatoren

4.3 Exemplarische Verknüpfung von Vorausschau und Zielsystemelementen im PEP

Um das Beschreibungsmodell exemplarisch anzuwenden und damit die dritte Forschungsfrage zu beantworten, wurden je ein Beispiel für die linke Seite der qualitativen Produkteigenschaften und der rechten Seite der quantitativen Produkteigenschaften in Bild 5 durchgeführt. Für die qualitative Betrachtung wurden Produktprofile mit Szenarien in einer bereits veröffentlichten Studie verglichen und im Zukunftsräum verortet [TKS+24]. Die Studie wurde durchgeführt im Rahmen von ProVIL – Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor, ein Projekt als Live-Lab mit Studierenden und einem Unternehmenspartner. Dieses verläuft in fünf Phasen von der Analyse bis zur prototypischen Umsetzung einer Idee in der Realisierung. Die im Projekt generierten Produktprofile wurden im Rahmen eines Workshops gegenüber den Szenarien bewertet. Grundlage waren die Schlüsselfaktoren und ihre Projektionen. Zu jedem Schlüsselfaktor wurde für das betrachtete Produktprofil jeweils die am besten beschreibende Projektion ausgewählt. Ähnlich wie bei der Szenarioerstellung, kann so anhand eines morphologischen Kastens ein äquivalentes Szenario für das Produktprofil erstellt werden. Durch eine Ähnlichkeitsanalyse wurden im Anschluss die äquivalenten Produktprofilszenarien mit den vorhandenen Kundenumfeldszenarien verglichen und diese somit im Zukunftsräum verortet. Mit einem ebenso erstellten äquivalenten Trendszenario kann die aktuelle Zukunftsentwicklung abgebildet und die Planungen in Form des Produktprofils abgeglichen werden. Liegen diese weit auseinander, sollten Anpassungen oder zumindest eine genauere Prüfung erfolgen. [TKS+24].

Im Rahmen der Untersuchungen zu diesem Beitrag wurde zusätzlich die quantitative Seite exemplarisch anhand von Wettbewerbsdaten und Prognosen betrachtet. Hierfür wurden anhand eines Fallbeispiels Maßkonzeptparameter für SUV in der frühen Fahrzeugplanung analysiert. Diese Maßkonzeptparameter sind typische Abmessungen wie bspw. der Radstand, der Frontüberhang, die Fahrzeughöhe oder der Sitzabstand und werden herstellerübergreifend einheitlich gemäß der SAE (Society of Automotive Engineers) bezeichnet. Unabhängige Unternehmen werten diese Daten aus, sodass Datenbanken mit historischen und aktuellen Abmessungen ver-

schiedenster Fahrzeuge als Übersicht verfügbar sind. Diese Daten können spezifisch nach Fahrzeugkategorie, bspw. SUV, gefiltert und angezeigt werden. Relevant für die Ableitung von Prognosen ist vor allem die zeitliche Darstellung bestimmter Maße herstellerübergreifend für einzelne Fahrzeugkategorien. So kann zum einen die eigene Planung gegenüber dem Wettbewerb eingeordnet werden und zum anderen die Tendenz der Entwicklung am Markt abgeschätzt werden. Möglich ist hierbei auch die Definition von Grenzwerten, innerhalb derer sich die eigenen Planungen im Vergleich zu den erwarteten Prognosen des Markts bewegen sollten. In Bild 7a ist der Radstand als Maßkonzeptparameter (SAE-L101) als Mittelwert sowie mögliche Akzeptanzgrenzen auf Basis von Betrachtung der Perzentile in der zeitlichen Entwicklung dargestellt. So können leicht messbare Parameter überwacht, geänderte Prognosen festgestellt und die damit verknüpften Planungen angepasst werden.

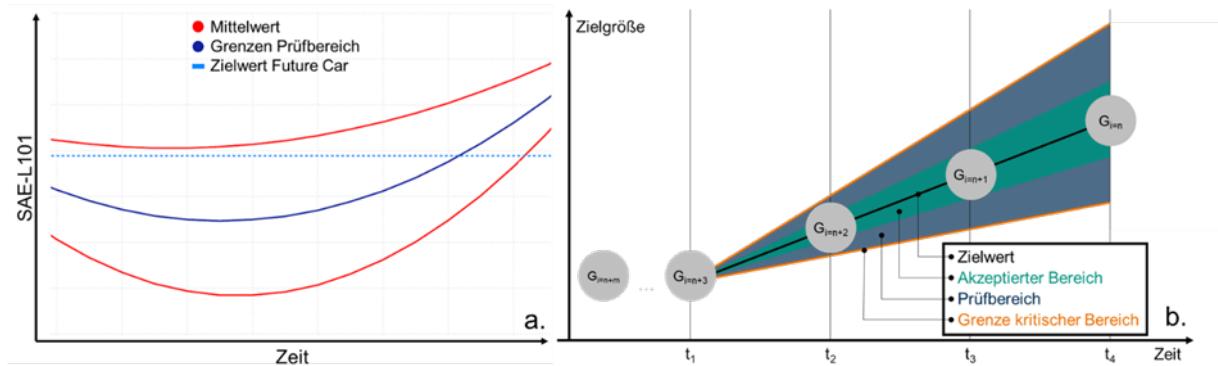


Bild 7: a. Zeitlicher Verlauf des Radstands (SAE-L101) von SUVs verschiedener Hersteller; b. Monitoring einer Zielgröße einer fiktiven Produktgeneration G_i mit ihrem Charakter im zeitlichen Verlauf

Auch ein generationsübergreifendes Monitoring von Zielgrößen ist somit auf Basis von Prognosen möglich. Gegenüber dem aktuellen IST-Stand können verschiedene SOLL-Zustände geplant werden. Exemplarisch ist dies in Bild 7b dargestellt. Hierbei wird eine fiktive, spezifische Produktgeneration betrachtet, die ihren Charakter im zeitlichen Verlauf ändert (siehe auch Bild 2). Bei der Initialisierung weist sie den Charakter $n+3$ auf, d.h. es befinden sich noch drei Vorgängergenerationen in der Entwicklung – der Planungsstand ist somit noch sehr vage. Die Zielgröße wird für den geplanten Markteintritt vorgeplant. Zumindest bei jedem Wechsel des Charakters, also sobald eine Vorgängergeneration in den Markt eingeführt wird, sollte eine erneute Überprüfung und Anpassung der geplanten Zielgröße aus Sicht der Produktentwicklung erfolgen. Durch die kontinuierliche Beobachtung der mittels Indikatoren verknüpften Informationen werden Entwicklungen im Umfeld früh erkannt. Anhand von Grenzbereichen um die Zielgröße können zu verschiedenen Zeitpunkten intern zulässige Abweichungen definiert und überprüft werden. Neben einem akzeptierten Bereich bei kleineren Abweichungen, die keine oder kleinere Anpassungen in den Planungen bedingen, wird ebenfalls ein Prüfbereich vorgesehen. Hier sollten genauere Analysen eingeleitet werden, um entscheiden zu können und die Planungen der aktuell betrachteten Generation oder ggf. der Folgegeneration entsprechend zu adaptieren. Der kritische Bereich bedingt eine Anpassung oder eine größere Änderung. Hierbei muss geprüft werden, ob eine solche Anpassung der Planungen noch denkbar ist oder lediglich für die Folgegenerationen umgesetzt werden kann.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieses Beitrags wurde ein Beschreibungsmodell für die kontinuierliche Verknüpfung von strategischer Vorausschau und dem Produktentstehungsprozess (PEP) entwickelt. Dazu wurden zunächst Interviews mit zehn Experten aus den Bereichen Entwicklung, Zukunftsforschung und Management durchgeführt, um Zusammenhänge, Ziele und Anforderungen aus Aussagen der verschiedenen Abteilungen festzustellen. Aus diesen wurde zunächst ein initiales Beschreibungsmodell erarbeitet, das den Zusammenhang aus externen und internen Informationen schrittweise beschreibt. Anschließend wurde das Modell erweitert um eine genauere Beschreibung der Kondensation relevanter Informationen aus Nachrichten hin zu Indizien und Indikatoren. Durch Unterteilung in qualitative und quantitative Indikatoren kann zudem der zunehmende Detailierungsgrad mit zeitlichem Fortschritt berücksichtigt werden. Dazu wurde das Zielsystem zeitlich aufgeteilt, um die Konkretisierung berücksichtigen und abbilden zu können. In zwei exemplarischen Fallbeispielen wurde abschließend untersucht, wie auf Basis von lang- und kurzfristigen Instrumenten der Vorausschau in Form von Szenarien und Prognosen Monitoring beschrieben und angewandt werden kann.

In weiteren Untersuchungen sollten die initialen Ergebnisse vertiefend validiert und ggf. angepasst bzw. detailliert werden. Ebenso stellt die Implementierung in die Praxis eine Herausforderung dar, wozu es eines entsprechenden Vorgehens bedarf. Nachfolgende Arbeiten werden sich aufbauend auf dem hier vorgestellten Beschreibungsmodell daher vor allem mit der Erarbeitung eines zugehörigen methodischen Vorgehensmodells befassen, um Monitoring im Sinne einer kontinuierlichen Verknüpfung zwischen strategischer Vorausschau und dem PEP nutzbar zu machen. Damit wird eine frühe Erkennung von Änderungen und die Einleitung von Maßnahmen sowie die Implementierung von Adaptionen am System ermöglicht.

Literatur

- [ADM+18] ALBERS, A.; DUMITRESCU, R.; MARHALER, F.; ALBERS, A. A.; KUHFÜSS, D.; STRAUCH, M.; SIEBE, A.; BURSAC, N.: PGE-Produktgenerationsentwicklung und Zukunftsvorausschau – Eine systematische Betrachtung zur Ermittlung der Zusammenhänge: 14. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Berlin, 2018
- [AG12] ALBERS, A.; GAUSEMEIER, J.: Von der fachdisziplinorientierten Produktentwicklung zur Vorausschauenden und Systemorientierten Produktentstehung: Smart Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012, S. 17–29
- [AHH+18] ALBERS, A.; HEITGER, N.; HAUG, F.; FAHL, J.; HIRSCHTER, T.; BURSAC, N.: Supporting Potential Innovation in the Early Phase of PGE – Product Generation Engineering – Structuring the Development of the Initial System of Objectives. “R&Designing Innovation: Transformational Challenges for Organizations and Society, 2018, S. 1–13
- [AHW+18] ALBERS, A.; HEIMICKE, J.; WALTER, B.; BASEDOW, G. N.; REIß, N.; HEITGER, N.; OTT, S.; BURSAC, N.: Product Profiles: Modelling customer benefits as a foundation to bring inventions to innovations. Procedia CIRP, (70), 2018, S. 253–258
- [AKR+22] ALBERS, A.; KÜRTEN, C.; RAPP, S.; BIRK, C.; HÜNEMEYER, S.; KEMPF, C.: SGE – Systemgenerationsentwicklung: Analyse und Zusammenhänge von Entwicklungspfaden in der Produktentstehung. Unter: https://www.researchgate.net/publication/364185334_SGE_-_Systemgenerationsentwicklung_Analyse_und_Zusammenhange_von_Entwicklungspfaden_in_der_Prod

- [AMS+22] ALBERS, A.; MARTHALER, F.; SCHLEGEL, M.; THÜMMEL, C.; KÜBLER, M.; SIEBE, A.: Eine Systematik zur zukunftsorientierten Produktentwicklung – Generationsübergreifende Ableitung von Produktprofilen zukünftiger Produktgenerationen durch strategische Vorausschau. KIT Scientific Working Papers, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, 2022
- [ARB+16] ALBERS, A.; REISS, N.; BURSAC, N.; RICHTER, T.: iPeM – Integrated Product Engineering Model in Context of Product Generation Engineering. *Procedia CIRP*, (50), 2016, S. 100–105
- [ATS+24] ALBERS, A.; THÜMMEL, C.; SCHMIDT, J.; SCHWARZ, S. E.; SCHLEGEL, M.; SIEBE, A.; DÜSER, T.: Understanding and definition of scanning and monitoring of the future space in the context of the product engineering process. In: Design Society (Hrsg.): INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE – DESIGN 2024. 18th International Design Conference, 20.-23. Mai 2024, Dubrovnik, Croatia, 2024
- [BC09] BLESSING, L. T. M.; CHAKRABARTI, A.: DRM, a design research methodology. Springer, Dordrecht, 2009
- [BLM14] BOGNER, A.; LITTIG, B.; MENZ, W.: Interviews mit Experten – Eine praxisorientierte Einführung. Springer VS, Wiesbaden, 2014
- [CK93] COOPER, R. G.; KLEINSCHMIDT, E. J.: Screening new products for potential winners. *Long Range Planning*, (26)6, 1993, S. 74–81
- [FS11] FINK, A.; SIEBE, A.: Handbuch Zukunftsmanagement – Werkzeuge der strategischen Planung und Früherkennung. 2. Auflage, Management, Campus-Verl., Frankfurt am Main, 2011
- [FS16] FINK, A.; SIEBE, A.: Szenario-Management – Von strategischem Vorausdenken zu zukunftsro-busten Entscheidungen. Campus Verlag, Frankfurt, 2016
- [Gau19] GAUSEMEIER, J.: Voraussetzungen für die Integration von Strategischer Vorausschau in der Ent-wicklung // Vorausschau und Technologieplanung – 15. Symposium für Vorausschau und Tech-nologieplanung. HNI-Verlagsschriftenreihe Band 390, Universität Paderborn Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, 2019
- [GFS98] GAUSEMEIER, J.; FINK, A.; SCHLAKE, O.: Scenario Management – An Approach to Develop Fu-ture Potentials. *Technological Forecasting and Social Change*, (59 (2)), 1998, S. 111–130
- [GKS+03] GRUBER, M.; KOLPATZIK, B. W.; SCHÖNHUT, J.; VENTER, C.: Die Rolle des Corporate Foresight im Innovationsprozess: Ziele, Ausgestaltung und Erfahrungen am Beispiel der Siemens AG. *Zeitschrift Führung + Organisation*, (72)ARTICLE, 2003
- [GV06] GRUBER, M.; VENTER, C.: „Die Kunst, die Zukunft zu erfinden“ — Theoretische Erkenntnisse und empirische Befunde zum Einsatz des Corporate Foresight in deutschen Großunternehmen. *Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, (58)7, 2006, S. 958–984
- [KK13] KLEINER, S.; KRAMER, C.: Model Based Design with Systems Engineering Based on RFLP U-sing V6. In: Abramovici, M.; Stark, R. (Hrsg.): Smart Product Engineering – Proceedings of the 23rd CIRP Design Conference. 23rd CIRP Design Conference, 11.-13. März 2013, Bochum, 2013, S. 93–102
- [KSS+23] KUEBLER, M.; SCHUSTER, W.; SCHWARZ, S. E.; BRAUMANDL, A.; SIEBE, A.; ALBERS, A.: Up-gradeable Mechatronic Systems - An Approach to determine changing Product Properties using Foresight. *Procedia CIRP*, (119), 2023, S. 78–83
- [KTS+23] KUEBLER, M.; THÜMMEL, C.; SPEKKER, M.; SIEBE, A.; ALBERS, A.: Weiterentwicklung und Eva-luation einer Systematik zur Bestimmung sich ändernder Produkteigenschaften. In: Dumitrescu, R.; Hölzle, K. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 17. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, 14.-15.09.2023, Berlin, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf In-stituts, Band 413, Paderborn, 2023
- [Mey14] MEYER-SCHWICKERATH, B.: Vorausschau im Produktentstehungsprozess – Das integrierte Pro-duktenstehungs-Modell (iPeM) als Bezugsrahmen für Vorausschau am Beispiel von Szenario-technik und strategischer Frühaufklärung. *Forschungsberichte*, IPEK, Institut für Produktent-wicklung, Karlsruher Institut für Technologie, 2014

- [Mül08] MÜLLER, A. W.: Strategic Foresight – Prozesse strategischer Trend- und Zukunftsfororschung in Unternehmen. Dissertation, Universität St. Gallen, Hochschule für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften, 2008
- [PB99] PATNAIK, D.; BECKER, R.: NEEDFINDING: The Why and How of Uncovering People's Needs. *Design Management Journal (Former Series)*, (10)2, 1999, S. 37–43
- [Rop75] ROPOHL, G. (HRSG.): Systemtechnik – Grundlagen und Anwendung. Hanser, München, 1975
- [Sch39] SCHUMPETER, J. A.: Business cycles – A theoretical, historical, and statistical analysis of the capitalist process. McGraw-Hill, New York, NY, 1939
- [Sie07] SIEG, O. C.: Ein Beitrag zur integrativen Unterstützung des Produktentwicklungscontrollings. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 2007
- [Sie18] SIEBE, A. (HRSG.): Die Zukunft vorausdenken und gestalten – Stärkung der Strategiekompetenz im Spartencluster it's OWL. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2018
- [THS+24] THÜMMEL, C.; HELLER, T.; SIEBE, A.; ALBERS, A.: An Approach for continuous Integration of Foresight Information into the Product Engineering Process. In: Design Society (Hrsg.): Nord-design Conference. 12.-14. August 2024, Reykjavik, Iceland, 2024
- [TKS+24] THÜMMEL, C.; KISS, D.; SCHWARZ, S.; SIEBE, A.; ALBERS, A.: Verortung von Produktprofilen im zukünftigen Umfeld durch ABgleich von Szenarien. In: Paetzold, K.; Augsten, A.; Krzywinski, J. (Hrsg.): EEE 2024 - Entwerfen, Entwickeln, Erleben – Menschen, Technik und Methoden in Produktentwicklung und Design. 27.-28. Juni 2024, Dresden, 2024
- [TSK+22] THÜMMEL, C.; SCHLEGELE, M.; KÜBLER, M.; SCHWARZ, S.; SIEBE, A.; ALBERS, A.: Foresight in Product Development - A Review on Existing Understandings and Approaches: Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. The 1st Australian Conference on Industrial Engineering and Operations Management in Sydney, 20.12.2022 - 22.12.2022, Sydney, Australia, IEOM Society International, Michigan, USA, 2022, S. 261–271
- [TSR+23] THÜMMEL, C.; SCHWARZ, S. E.; RITZER, K.; KUEBLER, M.; SIEBE, A.; ALBERS, A.: Identification of Fields of Action for the Integration and Validation of Future-Oriented Customer-Relevant Product Characteristics During the Product Engineering Process. In: IEOM Society International (Hrsg.): 6th European Conference on Industrial Engineering and Operations Management. 6th European Conference on Industrial Engineering and Operations Management, July 18-20, 2023, Lisbon, Portugal, 2023
- [Ver97] VERGANTI, R.: Leveraging on systemic learning to manage the early phases of product innovation projects. *R & D Management*, (27), 1997, S. 377–392
- [Wes06] WESTKÄMPER, E.: Einführung in die Organisation der Produktion. Springer-Lehrbuch, Springer, Berlin, 2006

Autoren

Carsten Thümmel schloss 2018 seinen Bachelor in Maschinenbau ab und erhielt 2021 seinen Master am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Er ist Doktorand und Gruppenleiter in der Forschungsgruppe Entwicklungsmethodik und -management am IPEK - Institut für Product Engineering des KIT. Seine Forschungsinteressen umfassen Vorausschau, Produktplanung und Monitoring für das Innovationsmanagement und die Produktentwicklung in Kombination mit strategischer Vorausschau.

Carlos Rodrigo Urbina Puch erhielt 2021 seinen Bachelor in Maschinenbau. Im Jahr 2024 hat er einen Master in Maschinenbau mit der Vertiefungsrichtung Integrierte Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie abgeschlossen. Er ist Entwicklungsingenieur in der Gesamtfahrzeugkonstruktion bei den Mercedes-Benz Vans. Er interessiert sich besonders für

strategische Vorausschau, Innovationsmanagement und frühe Einbindung von Kundenwünschen im Produktentstehungsprozess.

Sebastian Ebi schloss 2021 seinen Bachelor in Wirtschaftsingenieurwesen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ab. Darauf aufbauend verfolgt er aktuell sein Masterstudium im Wirtschaftsingenieurwesen am KIT mit dem Schwerpunkt auf Produktentwicklung und Innovationsmanagement.

Stefan Eric Schwarz schloss 2017 seinen Bachelor in Maschinenbau ab und erhielt 2020 seinen Master am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Er ist Doktorand und Gruppenleiter People Lead der Forschungsgruppe Advanced Systems Engineering am IPEK - Institut für Produktentwicklung des KIT. Seine Forschungsinteressen umfassen die Modellierung von Stakeholder-Bedürfnissen, Nutzen und Zielen sowie die Validierung von Produktbedürfnissen in frühen Phasen von Entwicklungsprojekten.

Maximilian Schmitz promovierte nach dem Abschluss des Bachelors im Jahr 2016 und des Masters im Jahr 2018 an der Technischen Universität Ilmenau ebenfalls an der TUI am Fachgebiet Mechanik nachgiebiger Systeme im Rahmen einer Industriepromotion mit der Mercedes-Benz AG. Dabei beschäftigt er sich mit der frühen Phase der Fahrzeugkonzeptauslegung.

Prof. Dr.-Ing. Andreas Siebe ist Honorarprofessor am IPEK – Institut für Produktentwicklung am KIT und lehrt "Strategische Potenzialfindung zur Entwicklung innovativer Produkte". Er studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der Universität Paderborn und promovierte am Heinz Nixdorf Institut in Paderborn im Fachbereich Maschinenbau. Danach war er Mitbegründer und bis 2019 Mitglied des Vorstandes eines Beratungsunternehmens, das sich mit der Entwicklung von Szenarien beschäftigt. Er gilt als Experte und ist Autor für Zukunfts- und Szenariomanagement mit besonderem Fokus auf das Innovationsmanagement. Seine Forschungsinteresse liegt in der Kombination von Zukunftsmethoden mit Methoden der Produktentwicklung, insbesondere in den frühen Phasen. Sein Schwerpunkt dabei ist die Implementierung zukünftiger Kundenbedürfnisse in den Produktentwicklungsprozess.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers leitet das IPEK – Institut für Produktentwicklung am KIT. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen: (1) Strategien, Methoden und Werkzeuge zur Unterstützung des Produktentwicklungsprozesses, (2) Fahrzeug- und Maschinenantriebssysteme und deren Komponenten mit Schwerpunkt Dimensionierung, Dynamik, NVH, Akustik und Komfort sowie Energieeffizienz, (3) Mechatronische Systeme sowie (4) neue hochschuldidaktische Ausbildungskonzepte zur Vermittlung von Fachkompetenz und Professional Skills.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 19S21002 gefördert.

Session IV

Die Duale Transformation als Wegbereiter der Industrie.Zero: Strategische Planung der Nachhaltigkeit und Digitalisierung

Christian Kürpick¹, Nick Schreiner¹, Arno Kühn¹, Roman Dumitrescu^{1,2}

¹ Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM, christian.kuerpick@iem.fraunhofer.de,
nick.schreiner@iem.fraunhofer.de, arno.kuehn@iem.fraunhofer.de

² Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn, roman.dumitrescu@hni.uni-paderborn.de

Zusammenfassung

Unternehmen sehen sich zunehmend dem Leitbild eines nachhaltigen Wirtschaftens innerhalb der ökologischen und sozialen Grenzen ausgesetzt. Dieses Leitbild wird dabei durch den Begriff der Industrie.Zero geprägt, bei dem die Verschmelzung der Nachhaltigkeit und Digitalisierung für den zukünftigen Geschäftserfolg von entscheidender Bedeutung ist. Während die Digitale Transformation bereits seit mehreren Jahren fest auf der strategischen Agenda vieler Unternehmen verortet ist, gewinnt die unternehmerische Nachhaltigkeitstransformation in der jüngeren Vergangenheit deutlich an Relevanz. Die Auslöser hierfür sind u. a. neue rechtliche Rahmenbedingungen und sich wandelnde Kundenanforderungen. Die dadurch notwendige Transformation stellt für Unternehmen eine besonders relevante und zugleich zeitkritische Gestaltungsaufgabe dar und setzt messbare und operationalisierbare Ziele voraus. Zur Erreichung ökonomischer, ökologischer und sozialer Ziele können digitale Technologien entscheidende Katalysator-Effekte bei der Adressierung unternehmerischer Nachhaltigkeitsherausforderungen erzeugen. Zur synergetischen Erschließung der mit der Nachhaltigkeit und der Digitalisierung einhergehenden Erfolgspotentiale sind die beiden Transformationsprozesse integrativ im Sinne einer Dualen Transformation zu betrachten und miteinander zu synchronisieren. Die Duale Transformation stellt somit neue Anforderungen an das strategische Management von Unternehmen, die weit über den reinen Betrachtungshorizont der Nachhaltigkeit und der Digitalisierung hinausgehen. Zur ganzheitlichen Planung der Dualen Transformation stellt dieser Beitrag ein Referenz- und Reifegradmodell der Dualen Transformation sowie das dazugehörige Vorgehensmodell inkl. unterstützender Hilfsmittel bereit. Der Beitrag ist Ergebnis der anwendungsorientierten Forschung im Rahmen des it's OWL Innovationsprojektes DualStrat unter Einbezug von neuesten Erkenntnissen aus der Forschung sowie aus der industriellen Praxis.

Schlüsselworte

Green Deal Industrial Plan, Duale Transformation, Business-IT-Alignment, Reifegradmodell

The Dual Transformation as an Enabler for Industrie.Zero: Strategic Planning for Sustainability and Digitalization

Abstract

Companies are increasingly confronted with the model of a sustainable economy within ecological and social limits. This model is driven by the concept of Industrie.Zero, where the convergence of sustainability and digitalization is critical to future business success. While digital transformation has been on the strategic agenda of many companies for several years, corporate sustainability transformation has recently become much more relevant. This is being driven by new regulatory requirements and changing customer demands. The resulting transformation is a particularly relevant and time critical organizational task for companies and requires measurable and operational goals. In order to achieve economic, environmental and social goals, digital technologies can have a decisive catalytic effect in addressing corporate sustainability challenges. In order to synergistically exploit the success potential of sustainability and digitalization, the two transformation processes must be viewed integratively and synchronized in the sense of a dual transformation. The dual transformation therefore places new demands on the strategic management of companies that go far beyond the pure horizon of sustainability and digitalization. This article provides a reference and maturity model for the dual transformation as well as the associated process model including supporting tools for holistic planning of the dual transformation. The article is the result of application-oriented research in the context of the it's OWL innovation project DualStrat, incorporating the latest findings from research and industrial practice.

Keywords

Green Deal Industrial Plan, Dual Transformation, Business-IT-Alignment, Maturity Model

1 Industrie.Zero als Zielbild einer nachhaltigen und datenbasierten Wirtschaft

Die Wirtschaft steht vor einem Wendepunkt. Globale Entwicklungen wie der Klimawandel und geopolitische Verschiebungen zwingen Gesetzgebungen sowie Unternehmen zu einer radikalen Neuausrichtung bisheriger Wirtschaftspraktiken. Der von der europäischen Kommission vorgestellte Green Deal Industrial Plan stellt dabei einen umfassenden Handlungsrahmen für Industrieunternehmen zur Förderung ökologischer und sozialer Produkt- und Prozessinnovationen bereit [EU23]. Kernbestandteil dieses Handlungsrahmens sind (digitale) Technologien, die die Umsetzung von Kreislaufwirtschaftsprinzipien sowie die Reduktion von Treibhausgasemissionen unterstützen. Der Green Deal Industrial Plan legt somit den Grundstein für das als **Industrie.Zero** bezeichnete Zielbild einer nachhaltigen und datenbasierten Wirtschaft, deren Wertschöpfung zukünftig zirkulär und resilient gestaltet ist [FKF24].

Während die *Digitale Transformation* bereits seit mehreren Jahren fest auf der strategischen Agenda vieler Unternehmen verortet ist, gewinnt die unternehmerische *Nachhaltigkeitstransformation* deutlich an Relevanz. Unternehmen sehen sich daher einer **multidimensionalen Unternehmenstransformation** konfrontiert, die laut SCHMIDT ET AL. drei grundsätzliche Transformationspfade zum Zielbild der Industrie.Zero bereitstellt (vgl. Bild 1) [SGB17, S. 309f.].



Bild 1: Matrix der multidimensionalen Unternehmenstransformation zur Industrie.Zero in Anlehnung an SCHMIDT ET AL. [SGB17, S. 310]

Da die Nachhaltigkeitsanforderungen an die Unternehmen ein sofortiges Handeln erfordern (Transformationspfad 1) und eine Nachhaltigkeitstransformation ohne Einbezug digitaler Technologien ineffizient und langsam ist (Transformationspfad 2), ist eine sequentielle Transformation in der unternehmerischen Praxis nicht zielführend. Zur synergetischen Erschließung der mit der Nachhaltigkeit und der Digitalisierung einhergehenden Nutzenpotentiale sind die beiden Transformationsprozesse vielmehr parallel und integrativ im Sinne einer **Dualen Transformation** zu betrachten (Transformationspfad 3). Nicht zuletzt aufgrund der Gleichzeitigkeit sowie die unternehmerische Bedeutung beider Transformationsprozesse stellt die Duale Transformation neue Anforderungen an das Management von Unternehmen, die weit über den reinen Betrachtungshorizont der Nachhaltigkeit und der Digitalisierung hinausgehen. Zur ganzheitlichen Planung der Dualen Transformation benötigt es folglich eines erweiterten Managementansatzes, der digitale Technologien als wichtiger Wegbereiter einer ökologisch und sozial nachhaltigen Unternehmensentwicklung miteinbezieht.

Ziel des vorliegenden Beitrags ist eine methodische Unterstützung für Unternehmen zur strategischen Planung der Dualen Transformation. Dazu ist der Beitrag in sechs Kapitel gegliedert. Nach der Einleitung (Kapitel 1) erfolgt die grundlegende Strukturierung der Dualen Transformation (Kapitel 2) sowie die Erläuterung der damit einhergehenden Herausforderungen für das Management (Kapitel 3). Daraufhin wird das Reifegradmodell vorgestellt (Kapitel 4), welches eine Leistungsbewertung sowie -steigerung eines Unternehmens in Hinblick auf die Dualen Transformation ermöglicht. Das Reifegradmodell basiert auf einer Literaturrecherche sowie einer Interviewstudie diverser Nachhaltigkeits- und Digitalisierungsexperten aus der Industrie. Die konkret notwendigen Schritte zur strategischen Planung der Dualen Transformation werden daraufhin durch ein Vorgehensmodell strukturiert (Kapitel 5). Abschließend erfolgen eine kritische Reflektion und ein Ausblick (Kapitel 6). Die vorliegenden Ergebnisse basieren vornehmlich auf dem it's OWL Innovationsprojekt *DualStrat*.

2 Strukturierungsrahmen der Dualen Transformation

Zur Strukturierung der Dualen Transformation eines Industrieunternehmens werden die Charakteristika einer Nachhaltigkeitstransformation und Digitalen Transformation gegenübergestellt und miteinander verglichen. Hierbei werden Ansätze und Definitionen aus der Literatur untersucht, um die Wechselwirkungen zwischen der Nachhaltigkeit und Digitalisierung im Unternehmen zu identifizieren. Auf Basis der durchgeföhrten systematischen Literaturanalyse werden darüber hinaus die für ein Unternehmen geltenden Gestaltungsfelder der Dualen Transformation abgeleitet und im **Strukturierungsrahmen** konstituiert (vgl. Bild 2) [KKD+23].

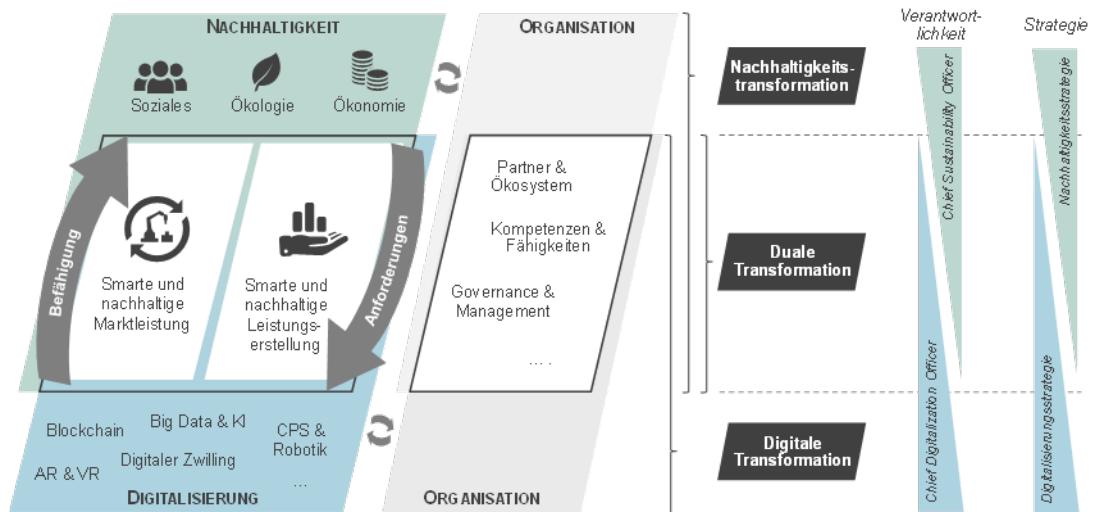


Bild 2: Strukturierungsrahmen der Dualen Transformation [KKD+23]

Die Nachhaltigkeitstransformation ist maßgeblich durch ein neues **Zielsystem** getrieben. Neben den bisher primär ökonomischen Zielen sind zukünftig ebenso ökologische sowie soziale Ziele zu berücksichtigen. Entsprechend des System Value Ansatzes zur Wahrung planetarer Grenzen sind hierbei insbesondere ökologische Umweltauswirkungen zu reduzieren [Hin21, S. 41]. Demgegenüber erfolgt die Digitale Transformation maßgeblich technologieinduziert. Kern der Digitalisierung sind digitale Technologien wie der digitale Zwilling oder die Künstliche Intelligenz, die zugleich die **Technologiebasis** repräsentieren [PVT22, S. 6ff.], [AH22, S. 691].

Durch das Zusammenspiel zwischen nachhaltigem Zielsystem und digitalen Technologien ergeben sich zwei relevante **Wechselwirkungen** im Rahmen der Dualen Transformation. Zum einen unterstützen digitale Technologien bei der Erreichung der Nachhaltigkeitsziele eines Unternehmens (*Nachhaltigkeit durch Digitalisierung*), indem Prozesse und Produkte bspw. virtualisiert oder mithilfe der Digitalisierung material- und energieeffizienter ausgelegt werden [Rad21]. Zum anderen stellen die Nachhaltigkeitsziele neue Anforderungen an die Ausgestaltung der Digitalisierung und der Technologien selbst. Diese müssen zukünftig nicht nur ökonomische Anforderungen erfüllen, sondern auch ökologisch verträglich und sozial gerecht sein. Hierunter falle bspw. das energieeffiziente Training eines KI-Modells sowie die ressourcenschonende Auslegung der IT-Infrastruktur (*Nachhaltige Digitalisierung*). Die wissenschaftliche Literatur sowie die unternehmerische Praxis ist dabei vornehmlich durch den Diskurs der *Nachhaltigkeit durch Digitalisierung* geprägt [KKD+23], [KRS+23]. Unter Berücksichtigung dieses Verständnisses ergeben sich für Industrieunternehmen drei Gestaltungsfelder, die es im Zuge der Dualen Transformation zu adressieren gilt: Die Transformation der Marktleistung, die Transformation der Leistungserstellung sowie die Transformation der Organisation selbst.

Zur nachhaltigen Entwicklung der Unternehmen ist das ökonomische Wachstum langfristig vom Material- und Energieverbrauch zu entkoppeln. Dies erfordert eine Transformation der **Marktleistung** in Form der Produkte und Services hin zu zirkulären und geschlossenen Materialkreisläufen, um die eingesetzten Ressourcen möglichst lange zu nutzen und Abfälle zu vermeiden [BLK+20]. Das Gestaltungsfeld umfasst folglich alle Aktivitäten zur kreislauffähigen Produktgestaltung von Bauteilen und Modulen sowie zur Weiterentwicklung von produkt- zu nutzungsorientierten Geschäftsmodellen bspw. mittels digitalem Produktpass [KBM+20]. Ziel ist die digitalbasierte Erhebung sowie Reduktion des CO₂-Fußabdrucks eines Produktes (*sog. Product Carbon Footprint*).

Der Großteil der in Deutschland emittierten Treibhausgase fallen beim produzierenden Gewerbe in der Lieferkette sowie in der Produktnutzungsphase an [SMT+24]. Folglich ist eine Transformation der **Leistungserstellung** eines Unternehmens erforderlich, welche sowohl vorgelagerte als auch nachgelagerte Wertschöpfungsschritte in der Lieferkette inkludiert. Dieses Gestaltungsfeld umfasst daher zum einen Maßnahmen in den Prozessen eines Unternehmens bspw. in der Produktentwicklung, um durch virtuelle Produktmodelle sowie den Einsatz von Augmented und Virtual Reality den Bedarf von physischen Prototypen und damit den Materialeinsatz zu reduzieren [KKD+23]. Zum anderen sind zielgerichtete Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Lieferkette sowie in der Produktion umzusetzen (Smart Operations). Hierbei sind bestehende als auch neu geplante Produktionsstandorte energie- und materialeffizient zu gestalten, welches bspw. die Einführung eines intelligenten Energiemanagements der Produktionsanlagen umfasst [KKD+23].

Das Fundament für die vorangestellten Gestaltungsfelder bildet die Transformation der **Organisation**. Diese umfasst alle organisatorischen Transformationsaufgaben von der Entwicklung einer Strategie über die Anpassung der Aufbauorganisation bis hin zur Schaffung einer notwendigen Reporting- und Governancestruktur [PVT22]. Hierbei sind auch der Aufbau von strategischen Partnerschaften mit weiteren Unternehmen zu berücksichtigen, um bspw. Datenstandards und -schnittstellen für die wertschöpfungsstufenübergreifende Zusammenarbeit im Zuge

der Kreislaufwirtschaft zu definieren [BBK+20]. Ferner sind in der Organisation die betroffenen Mitarbeitenden zu befähigen und Kompetenzen wie das Systemdenken zu fördern. Parallel dazu ist eine offene Innovationskultur sicherzustellen [Has13, S. 53ff.].

Wenngleich die vorangestellten Gestaltungsfelder eine integrative Betrachtung der Nachhaltigkeit und Digitalisierung erfordern, resultiert aus der Gegenüberstellung ebenso die Erkenntnis, dass beide Transformationsprozesse aus organisatorischer Sicht grundsätzlich eigenständig im Unternehmen verankert sind und damit größtenteils ihrer eigenen Transformationsstrategie folgen. Während die Planung und Steuerung der Nachhaltigkeitstransformation durch einen *Chief Sustainability Officer* vorgenommen wird, befindet sich die Digitale Transformation im Verantwortungsbereich eines *Chief Digitalization Officers*. Das zielgerichtete Management der Dualen Transformation ist daher vornehmlich durch die Synchronisation und der gemeinsamen strategischen Ausrichtung zwischen der Nachhaltigkeitstransformation und Digitalen Transformation in der inhaltlichen Schnittmenge beider Transformationsprozesse sicherzustellen.

3 Management der Nachhaltigkeit und Digitalisierung

Für viele Unternehmen ist das Management der Nachhaltigkeit und Digitalisierung grundsätzlich nicht neu. In der managementorientierten Forschungsliteratur existieren zahlreiche Ansätze, die eine zielführende Planung und Steuerung der jeweils betrachteten Transformationsaufgabe unterstützen. Die Ansätze haben sich in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich weiterentwickelt und legen unterschiedliche inhaltliche Schwerpunkte.

Mit Blick auf die Nachhaltigkeitstransformation entwickelte sich zu Beginn der 1990er Jahre aus dem Grundgedanken des **Umweltmanagements** der Bedarf zur Integration ökologischer Aspekte bei der strategischen Unternehmensausrichtung. DILLONS bringt mit seinen Ansätzen diese Entwicklung zum Ausdruck [DF92], [Dil94]. Derweil konstituierten sich durch die Zusammenführung ökologischer Überlegungen mit den Wettbewerbsstrategien von PORTER [Por91] zwei wesentliche Forschungsrichtungen einer **prozessorientierten** sowie einer **marktorientierten Nachhaltigkeitsstrategie**. Während prozessorientierte Nachhaltigkeitsstrategien auf Kostenvorteile durch eine gesteigerte Energie- und Materialeffizienz abzielen, streben marktorientierte Nachhaltigkeitsstrategien eine (ökologische) Differenzierung der Produkte gegenüber den Mitbewerbern an [SS08, S. 71]. Relevante Ansätze lieferten in diesem Zuge HART sowie DYLLICK und HOCKERTS [Har95], [DH02]. In den Anfängen des 21. Jahrhunderts fanden soziale Nachhaltigkeitsaspekte von PORTER und KRAMERS vermehrt Einzug in den Strategiediskurs, welches zunehmend auch den Aspekt der Strategieimplementierung adressierte [PK06]. BONN und FISHER hoben zu Beginn der 2010er Jahre den Nachhaltigkeitsdiskurs vollumfänglich auf die Ebene des strategischen Managements [BF11]. Dedizierte Abhandlungen zur Integration der Nachhaltigkeit in das strategische Management lieferten ENGERT ET AL. [ERB16], während SCHALTEGGER und WAGNER Managementansätze zur Implementierung und **Leistungsmessung** einer **Nachhaltigkeitsstrategie** im Unternehmen beisteuerten [SW17].

Der wissenschaftliche Diskurs in Bezug auf die Vorläufer der Digitalisierung startete im Gegensatz zur strategischen Nachhaltigkeitsdebatte bereits gegen Ende der 1970er Jahre durch die **strategische Planung von Informationssystemen** im betrieblichen Kontext [Kin88, S. 2]. Die

Arbeiten von MCLEAN und SODEN sowie KING begründeten dieses Forschungsfeld [MS77], [Kin78]. Aufgrund der damals begrenzten Leistungsfähigkeit und der geringeren Geschäftspotentiale der Informationssysteme wurde die strategische Planung der Informationssysteme in eine unidirektionale Abhängigkeit zu der Geschäftsplanung gesetzt [Teu13, S. 240]. Eine bidirektionale Planung und Ausrichtung von IT-Strategien und Geschäftsstrategien fand erst zu Beginn der 1990er Jahre im Rahmen des sog. **Business-IT-Alignments** statt [HS10, S. 24]. In diesem Forschungsfeld platzierten EARL sowie HENDERSON und VENKATRAMAN wissenschaftlich bedeutende Beiträge [Ear89], [HV93, S. 472], [Lip21, S. 42]. Im Zuge der voranschreitenden Technologiedurchdringung im Unternehmen hoben MITHAS und LUCAS die Bedeutung digitaler Technologien im Geschäftskontext hervor. Im Gegensatz einer reinen Ausrichtung zwischen IT-Strategien und Geschäftsstrategien führten sie den Begriff der sog. **Digital Business Strategy** als Synthese beider Strategiestränge ein [ML10, S. 4ff.]. Dem Verständnis einer übergeordneten Digitalisierungsstrategie folgend verstetigten BHARADWAJ ET AL. sowie LIPSMIEIER das neu konstituierte Forschungsfeld [BEP+13, S. 471ff.], [Lip21]. Als Schwerpunkttechnologie im Zuge der Digitalisierung berücksichtigen DAVENPORT und MAHIDHAR jüngste Entwicklungen rund um die (generative) Künstliche Intelligenz [DM18].

Trotz der inhaltlichen Weiterentwicklung der vorgestellten Forschungsansätze hat eine Verschmelzung der **nachhaltigkeits- und digitalisierungsorientierten Managementansätze** nur vereinzelt stattgefunden. Hervorzuheben ist in diesem Zuge der Ansatz von LOESER ET AL. Im Hinblick auf die Duale Transformation unterscheiden LOESER ET AL. den Dreiklang aus *Nachhaltigkeits-, IT- und Geschäftsstrategie* [LES+11, S. 5]. Demnach ist eine Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit bei gleichzeitiger Verbesserung der Nachhaltigkeitsauswirkungen nur im engen Zusammenspiel aller drei Strategien möglich [LES+11, S. 9f.]. Ergebnis sind sog. *Green IT-Strategien*, welche die wechselseitigen Abhängigkeiten zu der Nachhaltigkeits- und Geschäftsstrategie berücksichtigen. Zum einen ermöglicht die *Green IT-Strategie* die Steigerung der (Öko-)Effizienz von Prozessen (interne Perspektive) sowie die Differenzierung im Markt (externe Perspektive). Zum anderen stellen die Nachhaltigkeits- und Geschäftsstrategien neue Anforderungen und Ziele an die IT. Die strikte Trennung in Nachhaltigkeits- und Geschäftsstrategie wird aufgrund der strategischen Relevanz der Nachhaltigkeit sowie vergleichbarer Ziele in der einschlägigen Literatur allerdings zunehmend infrage gestellt [LES+11, S. 5].

Zur Erschließung der mit den verschiedenen Transformationsstrategien einhergehenden Nutzenpotentiale ist eine gemeinsame **strategische Ausrichtung** unabdingbar. In Anlehnung an das in der Wirtschaftsinformatik bekannte und häufig genutzte *Strategic Alignment Model (SAM)* nach HENDERSON und VENKATRAMAN [HV93] schlagen LOESER ET AL. hierzu das *Strategic Green IT Alignment Framework (SGITAF)* vor [LES+11, S. 5]. Während das ursprüngliche Modell von HENDERSON und VENKATRAMAN die Ausrichtung von Geschäfts- und IT-Strategie adressiert, lassen sich durch das Derivat von LOESER ET AL. die Nachhaltigkeits- und Digitalisierungsstrategie strategisch aufeinander abstimmen. Das Modell trägt damit dem Gedanken Rechnung, dass im Zuge der Dualen Transformation die Nachhaltigkeits- und Digitalisierungsaktivitäten grundsätzlich eigenständig sind und bestmöglich miteinander synchronisiert werden müssen (s. Kapitel 2). Zur Ausrichtung bedient sich das Modell den zwei grundlegenden Dimensionen des *strategischen Fits* und des *funktionalen Fits*. Laut LOESER ET AL. sind im Zuge der strategischen Ausrichtung grundsätzlich alle Elemente der Vier-Felder-Matrix in den

Einklang zu bringen (vgl. Bild 3). Analog zu dem Konzept von HENDERSON und VENKATRAMAN können vier grundsätzlich verschiedene Stoßrichtungen zur strategischen Ausrichtung zwischen der Nachhaltigkeit und der Digitalisierung identifiziert werden. Jede dieser vier Stoßrichtungen entspricht einem von ORSATO vorgestellten Wettbewerbsschwerpunkt: Eco-Effizienz, Eco-Branding, ökologische Kostenführerschaft sowie Compliance Führerschaft [Ors09].

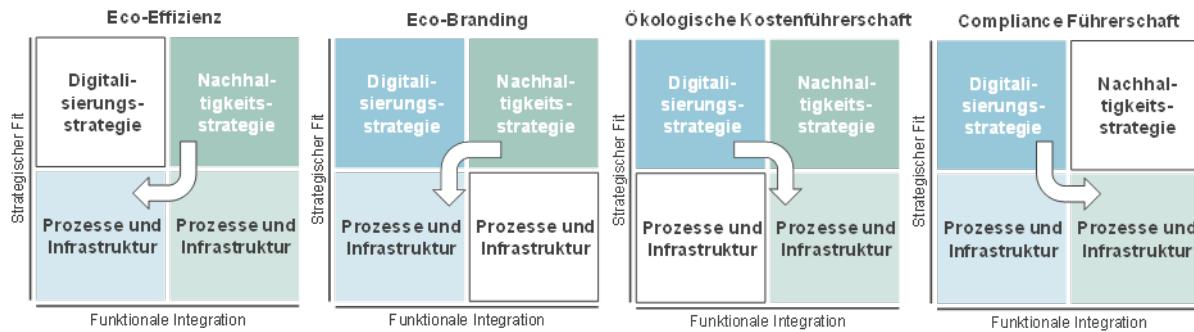


Bild 3: Vier Vorgehensweisen zur strategischen Ausrichtung zwischen der Nachhaltigkeit und Digitalisierung in Anlehnung an LOESER ET AL. [LES+11, S. 6]

Trotz der Dringlichkeit sowie der hohen Bedeutung zur integrativen Betrachtung der Nachhaltigkeit und Digitalisierung mangelt es an adäquaten Ansätzen zur strategischen Planung der Dualen Transformation. Einzelne Ansätze tragen zum besseren Verständnis der verbundenen Aufgaben bei, adressieren diese jedoch nicht vollumfänglich. Es bedarf einer methodischen Unterstützung, die die Ausgangssituation im Unternehmen evaluiert und ein Zielbild definiert. Zur Leistungsbewertung und -steigerung bieten sich Reifegradmodelle an, die zur strategischen Planung einen ganzheitlichen Transformationsprozesses eingesetzt werden können [Chr09].

4 Strategische Planung der Dualen Transformation

Zur methodischen Unterstützung der strategischen Planung der Dualen Transformation stellt dieser Abschnitt ein Referenz- und Reifegradmodell sowie ergänzende Hilfsmittel zur Verfügung. Das Referenzmodell spannt den inhaltlichen Bezugsrahmen auf, indem es die wesentlichen Elemente der Dualen Transformation in Form eines allgemeingültigen Musters darstellt. Ferner beschreibt das Referenzmodell die Wechselwirkungen und logischen Zusammenhänge der Elemente untereinander. Das Reifegradmodell definiert verschiedene Leistungsstufen eines Unternehmens bei der integrativen Erschließung der Nachhaltigkeit und Digitalisierung. Dadurch ermöglicht das Reifegradmodell die unternehmensindividuelle Leistungsbewertung und -steigerung. Ergänzende Hilfsmittel dienen der Planung, indem sie die systematische Weiterentwicklung der Nachhaltigkeit und Digitalisierung im Unternehmen unterstützen.

Die entwickelten Lösungsartefakte sind Ergebnis eines anwendungsorientierten Forschungsdesigns, welches aus zwei Phasen besteht: Datenerhebung und Datenanalyse [EFK+24], [KSK+24]. Da die Duale Transformation in der Industrie noch einen explorativen Charakter hat, werden in der ersten Phase relevante Erkenntnisse aus der wissenschaftlichen Literatur mit aktuellen empirischen Daten synthetisiert. Für die Datenerhebung in der explorativen Forschung eignen sich vor allem eine Literaturanalyse und Experteninterviews [SLT19].

Literaturanalyse: Die Analyse der Literatur erfolgte auf der Grundlage der Leitlinien von SAUNDERS ET AL. [SLT19]. Im Rahmen einer iterativen Vorgehensweise wurde folgender Suchstring gebildet und auf Scopus, Web of Science und EBSCOhost angewendet: [*sustain** AND *strateg** AND *digital**]. Die resultierenden Veröffentlichungen wurden anhand des Titels und der Kurzbeschreibung gesichtet; Ausschlusskriterien waren in diesem Schritt z. B. ein fehlender Branchen- oder Themenfokus sowie nicht englischsprachige Veröffentlichungen. Die Inhalte der verwendeten Forschungsliteratur wurden mithilfe einer Concept Map systematisch entlang der Analysefelder strukturiert und aufbereitet [WW02].

Experteninterviews: Zur weiteren Datenerhebung wurden elf qualitative, semistrukturierte Interviews durchgeführt. Dazu wurde ein Interviewleitfaden mit offenen Fragen erstellt [SLT19]. Der Interviewleitfaden umfasst generische Fragen zum Verständnis der Dualen Transformation sowie Fragen zum soziotechnischen Management der Nachhaltigkeit und Digitalisierung. Insgesamt wurden elf Nachhaltigkeits- bzw. Digitalisierungsexperten aus kleinen und mittelständischen Unternehmen sowie Großunternehmen des produzierenden Gewerbes befragt. Die Interviews wurden virtuell mit einem Industriexperten und mind. zwei Forschungsteammitgliedern durchgeführt. Jedes Interview dauerte zwischen 45 und 60 Minuten. Für die weitere Analyse wurden die Interviews aufgezeichnet und anschließend Wort für Wort transkribiert.

Für die zweite Phase der Datenanalyse wurden die Daten aus der Literaturanalyse und den Experteninterviews mithilfe der **qualitativen Kodierung** nach GLASER und STRAUSS synthetisiert [GS17]. Das Verfahren ist in drei Schritte unterteilt: offenes Kodieren, axiales Kodieren und selektives Kodieren. Beim *offenen Kodieren* wurden die ausgewählte Literatur und die transkribierten Interviews gesichtet und wesentliche Herausforderungen und Potentiale der Dualen Transformation mittels Codenamen dokumentiert. Es wurde kein vorgegebenes Codesystem verwendet; vielmehr wurden die Codenamen direkt vom Forschungsteam abgeleitet. Um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten, wurde jeder Codename mit der entsprechenden Literatur- oder Interviewpassage verknüpft. Für das *axiale Kodieren* wurden die identifizierten Codes geclustert. Dazu wurden die Codenamen auf thematische Überschneidungen analysiert und in entsprechende Handlungsfelder bzw. -elemente gruppiert. Ein Beispiel für ein solches Handlungsfeld ist „Wertschöpfungsprozesse“ mit dem dazugehörigen Handlungselement "Ressourcenmanagement". Diese Cluster bildeten die Grundlage für den anschließenden Workshop im Forschungskonsortium. Für das *selektive Kodieren* brachten insgesamt zehn Experten ihr Domänen- und Anwendungswissen ein, um die herausgearbeiteten Handlungsfelder und -elemente für das Referenz- und Reifegradmodell intensiv zu diskutieren und bei Bedarf anzupassen. Darüber hinaus wurde in diesem Schritt die Struktur des Referenzmodells unter Berücksichtigung der logischen Zusammenhänge der einzelnen Handlungsfelder und -elemente festgelegt.

4.1 Handlungsfelder und -elemente des Referenzmodells

Auf Basis der vorgestellten Literaturanalyse und den Experteninterviews wurde ein Referenzmodell der Dualen Transformation entwickelt [EFK+24]. Dieses konstituiert ein idealtypisches Muster bestehend aus **Handlungsfeldern** und -elementen, die bei der integrativen Planung der Nachhaltigkeit und Digitalisierung im Unternehmen zu berücksichtigen sind [KSK+24]. Strukturiert werden die Handlungsfelder und -elemente im Referenzmodell anhand von drei sog.

Sphären und umfassenden **Gestaltungsprinzipien** (vgl. Bild 4), die im Folgenden von innen nach außen vorgestellt werden. In der *ersten Sphäre* wird die übergeordnete Motivation und Zielsetzung des Unternehmens hinsichtlich der Dualen Transformation formuliert. Derweil wird in der *zweiten Sphäre* die Wertschöpfung des Unternehmens im Markt bei gleichzeitiger Berücksichtigung der übergeordneten Zielsetzung festgelegt. Die *dritte Sphäre* dient primär der organisatorischen Verankerung der Dualen Transformation durch den Aufbau notwendiger Strukturen und Verantwortlichkeiten [EFK+24]. Trotz der dadurch idealtypisch geschaffenen Einteilung von drei Sphären sind die Übergänge im Referenzmodell in der unternehmerischen Praxis bewusst fließend zu verstehen. Umklammernt zu den drei Sphären liegen darüber hinaus die Gestaltungsprinzipien der Dualen Transformation, die die Wechselwirkungen der Nachhaltigkeit und Digitalisierung aufzeigen und bei der Ausgestaltung der Sphären stets zu berücksichtigen sind. Resultat ist das in Bild 4 dargestellte Referenzmodell der Dualen Transformation mit den identifizierten Handlungsfeldern und -elementen entlang der drei Sphären.

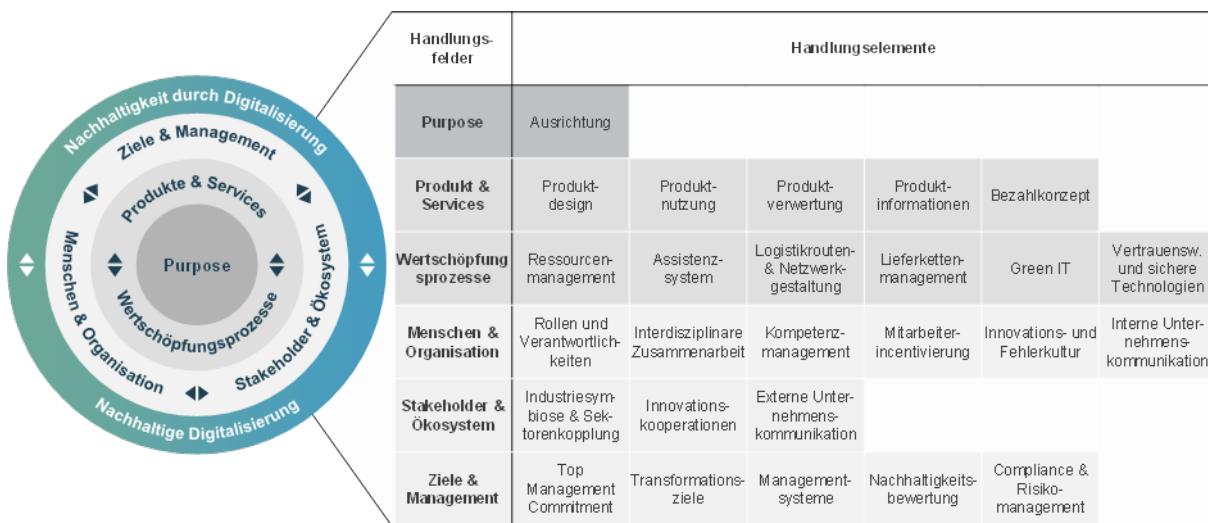


Bild 4: Handlungsfelder und -elemente entlang des Referenzmodells der Dualen Transformation [EFK+24], [KSK+24]

Im Kern des Referenzmodells befindet sich das Leitbild des Unternehmens. Dieses wird grundsätzlich als wegweisender Rahmen für die Unternehmung verstanden [WKB18, S. 99]. Im Hinblick auf die Duale Transformation ist der Unternehmenszweck (engl. *Purpose*) ein zentrales Element im Leitbild, welches eine werteorientierte aber gleichzeitig abstrakte Triebfeder des Unternehmens beschreibt. Dabei ist der **Purpose** vornehmlich im Innenverhältnis zu Mitarbeitern und Führungskräften relevant [FM22, S. 25]. Eine zweckgetriebene Unternehmung (engl. *Purpose-driven company*) adressiert hierbei die Frage, welchen ökologischen, ökonomischen und sozialen Nutzenbeitrag die jeweilige Organisation unter Einbezug der Digitalisierung für die Stakeholder verspricht und welche Wirkung es damit erzielen will [FM22, S. 21]. Hierbei sind vor dem Hintergrund der Wesentlichkeit sowohl eine *Inside-Out* als auch eine *Outside-In* Perspektive einzunehmen und miteinander in den Einklang zu bringen [Hin21, S. 145f.]. Aus dem Unternehmenszweck erwächst die unverwechselbare Identität und Sinnhaftigkeit eines Unternehmens [FM22, S. 25].

Das Leitbild gibt die Rahmenbedingungen für die Ausgestaltung der unternehmerischen Wertschöpfung vor. GRIESE ET AL. heben in ihrer empirischen Untersuchung zur Dualen Transformation in kleinen und mittleren Unternehmen die Bedeutung von Produkten und Prozessen eines Unternehmens im Kontext der Nachhaltigkeit und Digitalisierung hervor [GHB18, S. 15f.]. Während bei Produkten und Services die Schaffung neuer Mehrwerte für den Kunden als übergeordnete Zielsetzung verfolgt wird, steht bei den Wertschöpfungsprozessen die operative Exzellenz im Fokus. Auch eine Kombination beider Stoßrichtungen ist denkbar [WBM14, S. 97f.]. Folglich steht im Zentrum das Zusammenwirken von Produkten und Services sowie Wertschöpfungsprozessen, welche maßgeblich zur strategischen Positionierung des Unternehmens in der Wettbewerbsarena beitragen. Unter **Produkten und Services** werden die angebotenen materiellen (Produkte) sowie immateriellen (Services) Marktleistungen eines Unternehmens sowie deren bedarfsgerechte Kombination verstanden. Im Zuge des sich seit einigen Jahren vollziehenden Paradigmenwechsels bei der Verschiebung des Produkt- und Dienstleistungsanteilen verschmelzen die bisher isoliert betrachteten Marktleistungen zu sog. Produkt-Service-Systemen [HUB15, S. 665], [MU12, S. 4]. Durch diese Verschmelzung und zunehmend modulare Produkt- und Servicearchitekturen sind Unternehmen zukünftig in der Lage, die gesteigerten Nachhaltigkeitsanforderungen hinsichtlich der Ressourceneffizienz und insbesondere der Zirkularität zu erfüllen. Bspw. können Aspekte der Ressourceneffizienz und Zirkularität durch die Modularität bereits von Beginn im Produktdesign sowie bei der Aufnahme von Daten entlang des Produktlebenszyklus mitberücksichtigt werden [GKK+23, S. 8ff.]. Die Grundlage nachhaltiger sowie digitaler Produkte-Service-Systeme sind entsprechende **Wertschöpfungsprozesse**. Neben den klassischen Effizienz- und Effektivitätssteigerungen einzelner Prozessabschnitte erfordert die Duale Transformation eine grundlegende Anpassung bestehender Wertschöpfungslogiken. Aus Sicht der Digitalisierung ermöglicht die vertikale sowie horizontale Integration von Maschinen, Mitarbeitenden und Werkzeugen mittels Informations- und Kommunikationstechnologien eine komplete Neuausrichtung von (internen) Geschäftsprozessen und übergeordneten Wertschöpfungsnetzwerken [SP16, S. 4]. Die so entstehende digitale Durchgängigkeit stellt die Voraussetzung dar, um vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeitstransformation bspw. lineare in zirkuläre Wertschöpfungsprozesse durch eine ausgebauten oder neu errichtete Rückwärtslogistik zu überführen [GKK+23, S. 7]. Ein besonderes Augenmerk liegt hierbei auch auf der Lieferkette und den angebundenen Kunden.

Zur zielgerichteten Planung, Umsetzung und Steuerung der Dualen Transformation bedarf es einer Anpassung der Organisation nach innen und nach außen. Abhängig von den definierten Produkten und Services sowie der zugrundeliegenden Wertschöpfungsprozessen sind innerhalb des Unternehmens die Mitarbeiter und die Organisationsstruktur sowie nach außen die Stakeholder und das Ökosystem zu berücksichtigen. Zusammengeführt werden die beiden Perspektiven unter gemeinsamen Zielen und dem entsprechenden Management im Unternehmen. Das Handlungsfeld **Menschen und Organisation** beschreibt dabei die Gestaltung förderlicher Entwicklungsperspektiven für alle Mitarbeitenden, die der ökologischen, ökonomischen und sozialen Verantwortung des Unternehmens Rechnung tragen. Grundlage für das Einbringen des vollen Entwicklungspotentials ist eine kooperative Aufbauorganisation mit interdisziplinären Teams sowie eindeutig definierten Rollen und Verantwortlichkeiten [KVS22]. Darüber hinaus bedarf die Duale Transformation einer förderlichen Unternehmenskultur, die offen gegenüber Veränderungen ist und auf den gemeinsam geteilten Grundwerten des Unternehmens beruht

[ITG+20]. Für die **Stakeholder und das Ökosystem** ist eine vertrauensvolle Zusammenarbeit mit bestehenden und neuen Anspruchsgruppen des Unternehmens sicherzustellen. Dazu lösen digitale Technologien existierende organisatorische Grenzen zunehmend auf, indem sie Akteure auch außerhalb des Unternehmens- und Branchenumfelds miteinander verbinden. Durch die so entstehenden branchenübergreifenden Kollaborationsplattformen können Nachhaltigkeitspotentiale deutlich effizienter und zielgerichtet gehoben werden [GKK+23, S. 10]. Zusätzlich gewinnt die vor dem Hintergrund diverser Nachhaltigkeitsrichtlinien (bspw. Corporate Sustainability Reporting Directive) die externe und nicht-finanzielle Berichterstattung gegenüber dem Gesetzgeber an Bedeutung. Zur operativen Koordination der damit einhergehenden Aktivitäten sind konkrete **Ziele und ein Management** erforderlich. Hierzu ist ein ganzheitliches Zielsystem mit sich bedingenden, allerdings nicht austauschbaren ökologischen, ökonomischen und sozialen Zieldimensionen aufzubauen, welche die Grundlage für eine ausgewogene und wertorientierte Führung im Unternehmen bilden [GKK+23, S. 11]. Darüber hinaus sind zur operativen Umsetzung der Dualen Transformation im Unternehmen Managementsysteme für die Aspekte der Digitalisierung sowie der Nachhaltigkeit auszubauen und miteinander zu verknüpfen, bspw. ISO 9001, ISO 14001 oder ISO 50001 [TKN19].

Den Rahmen des Referenzmodells bilden die Gestaltungsprinzipien der Dualen Transformation. Die Gestaltungsprinzipien repräsentieren die zwei grundlegenden Wechselwirkungen zwischen der Nachhaltigkeit und Digitalisierung, die Unternehmen bei der inhaltlichen Ausgestaltung aller vorgestellten Sphären bzw. Handlungsfelder im Referenzmodell zu berücksichtigen sind. Differenziert wird bei den zwei Wechselwirkungen zwischen der Digitalen Transformation als Befähiger der Nachhaltigkeitstransformation (**Nachhaltigkeit durch Digitalisierung**) sowie der Nachhaltigkeitstransformation als Gestaltungsrichtlinie zur Digitalen Transformation (**Nachhaltige Digitalisierung**) [GKK+23, S. 6], [CCG+24] (vgl. Kapitel 2).

Durch die beschriebene Struktur des Referenzmodells der Dualen Transformation werden die Handlungsfelder und -elemente sowie deren logische Verknüpfung untereinander transparent dargestellt. Damit stellt das Referenzmodell eine Ausgangsbasis dar, anhand dessen eine systematische Leistungsbewertung und -steigerung erfolgen kann.

4.2 Reifegradstufen der Dualen Transformation

Zur systematischen Leistungsbewertung und -steigerung von Unternehmen zur Dualen Transformation bedient sich das vorliegende Reifegradmodell sog. **Reifegradstufen**, die an den Handlungselementen des Referenzmodells angedockt sind. Die vier aufeinander aufbauenden Reifegradstufen ermöglichen die Bewertung des jeweils betrachteten Handlungselementes unter Berücksichtigung mehrerer Dimensionen wie Mensch, Information, Prozess und Technologie [VP23, S. 9]. Dabei decken die gewählten Reifegradstufen die derzeitige Leistungsfähigkeit von Unternehmen vollumfänglich ab und zeigen darüber hinaus potentielle Stufen der unternehmerischen Weiterentwicklung auf. Unterschieden wird zwischen Reifegradstufen auf der Ebene der Handlungselemente sowie des Gesamtunternehmens. Unabhängig des betrachteten Systems gilt die idealtypische Annahme: Je höher die Reifegradstufe, desto höher der Erschließungsgrad der Dualen Transformation. Das Zusammenspiel zwischen den Reifegradstufen auf

Handlungselemente- und Gesamtunternehmensebene erfolgt hingegen reziprok. Einerseits bieten die Reifegradstufen auf Gesamtunternehmensebene einen übergeordneten Rahmen zur Ableitung der spezifischen Reifegradstufen einzelner Handlungselemente. Andererseits setzt sich die Gesamtunternehmensbewertung aus den Einzelbewertungen der Handlungselemente induktiv zusammen. Im Folgenden werden zunächst die Reifegradstufen der einzelnen Handlungselemente beispielhaft anhand des Ressourcenmanagements sowie der Managementsysteme erläutert (vgl. Bild 5), ehe die Reifegradstufen für das Gesamtunternehmen beschrieben werden.

| Handlungselement | Reifegradstufen | | | |
|--|--|---|---|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Ressourcenmanagement | Intransparenz | Überwachung | Optimierung | Intelligenz |
| Planung, Überwachung und Steuerung der (ökologischen) Ressourcenflüsse (bspw. Wasser, Energie, Abfall) im Unternehmen | Ressourcenflüsse werden werden datenseitig nicht bzw. nur rudimentär erfasst | Ressourcenflüsse werden mithilfe von Sensoren digital gemessen sowie manuell und retrospektiv ausgewertet | Ressourcenflüsse werden durch die Integration von Sensordaten in einer zentralen Software automatisiert überwacht und optimiert (z. B. Energie-Dashboard) | Ressourcenflüsse werden mithilfe digitaler Technologien und unter Nutzung aktueller Ressourceninformationen autonom und intelligent gesteuert (z. B. Smart Grid) |
| Managementsysteme | Vereinzelung | Unabhängigkeit | Teilintegration | Vollintegration |
| Bündelung von Tätigkeiten, Methoden und Werkzeugen in einem spezifischen Arbeitsfeld (bspw. ISO 9001, 140001 oder 50001) | Managementsysteme sind in keinen bzw. nur in vereinzelten Arbeitsfeldern implementiert | Managementsysteme sind in allen relevanten Arbeitsfeldern unabhängig voneinander implementiert | Managementsysteme sind in allen relevanten Arbeitsfeldern implementiert und teilweise integriert | Managementsysteme sind in allen relevanten Arbeitsfeldern implementiert und vollständig integriert |

Bild 5: Reifegradstufen der Dualen Transformation auf Handlungselementeebene (Auszug)

Die vertikale und horizontale Vernetzung von Maschinen, Menschen und Werkzeugen ist eine wichtige Voraussetzung für ein effizientes **Ressourcenmanagement** zur zielgerichteten Planung, Überwachung und Steuerung von Ressourcenflüssen wie Energie, Wasser oder Abfall. Durch die Nutzung von Sensordaten in der zweiten Leistungsstufe sowie deren Integration in einer zentralen Software in der dritten Leistungsstufe unterstützen digitale Technologien die Echtzeitüberwachung und Optimierung dieser Ressourcenflüsse [GIG+21]. Darüber hinaus können Ressourcen in der höchsten Leistungsstufe mithilfe von künstlicher Intelligenz autonom gesteuert werden. Beispiele hierfür sind ein intelligentes Energiemanagement [LTY+22] oder ein KI-basiertes Abfallmanagement [YSK+23].

Die Umsetzung der Dualen Transformation erfolgt unter Einbezug von **Managementsystemen**, die Tätigkeiten, Methoden und Werkzeuge in einem bestimmten Arbeitsfeld bündeln und standardisieren. Relevante Managementsysteme im Kontext der Nachhaltigkeit und Digitalisierung sind bspw. das Qualitätsmanagement (ISO 9001), das Umweltmanagement (ISO 14001), das Arbeitsschutzmanagement (ISO 45001) oder das Energiemanagement (ISO 50001). Während in der ersten Reifegradstufe keine bzw. nur vereinzelte Managementsysteme im Einsatz sind, setzt die zweite Reifegradstufe bereits die erfolgreiche Implementierung aller relevanten Managementsysteme im Unternehmen voraus. Diese werden allerdings separat von einander umgesetzt, sodass die dritte und vierte Reifegradstufe eine teilweise bzw. vollständige Integration der vorhandenen Managementsysteme voraussetzt [TKN19]. GARZA-REYES ET AL. sprechen hierbei bspw. von einem *Total Quality Environmental Management* (TQEM) [GYK+18]. Etwaige Managementsysteme sehen auch den umfangreichen Einsatz von digitalen Technologien und Daten als wesentlichen Erfolgsfaktor vor [GRN20, S. 155ff.].

Die Aggregation der vorgestellten Reifegradstufen je Handlungselement resultiert in vier übergeordneten Leistungsstufen auf Gesamtunternehmensebene. Die Stufen sind dabei so gewählt, dass sie den Leistungsstand heutiger Transformationen managementgerecht wiedergeben und somit eine Ableitung von grundlegenden Entwicklungsrichtungen in Bezug auf die Dualen Transformation im betrachteten Unternehmen zulassen. Zur gewichteten Bewertung der Handlungselemente werden Relevanzfaktoren herangezogen, die die Bedeutung des jeweiligen Handlungselements vor dem Hintergrund der Unternehmenscharakteristika repräsentieren. Die in Bild 6 dargestellten vier übergeordneten Reifegradstufen *unstrukturiert*, *fragmentiert*, *synchronisiert* und *integriert* werden nachfolgend vorgestellt.

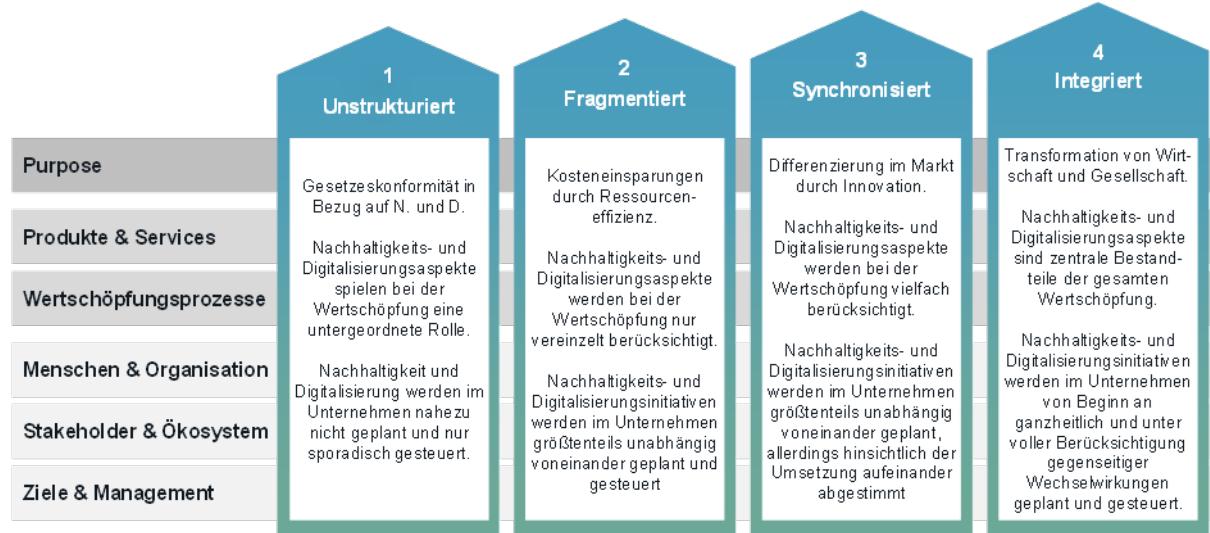


Bild 6: Reifegradstufen der Dualen Transformation auf Gesamtunternehmensebene

Reifegradstufe 1 – Unstrukturiert: In der ersten Reifegradstufe strebt das Unternehmen lediglich eine Konformität mit gesetzlichen Nachhaltigkeits- und Digitalisierungsanforderungen an. Die Unternehmenstransformation ist demnach primär extern von Seiten der Gesetzgebung motiviert. Folglich bleibt die Wertschöpfung klassisch, sodass Nachhaltigkeits- und Digitalisierungsaspekte mit Blick auf die Marktleistung und Leistungserstellung des Unternehmens nur eine untergeordnete Rolle spielen. Derweil existieren organisatorisch keine formellen Initiativen zur Nachhaltigkeitstransformation und Digitalen Transformation im betrachteten Unternehmen. In der Folge werden etwaige Nachhaltigkeits- und Digitalisierungsaktivitäten unstrukturiert und unsystematisch angegangen. Aufgrund der unstrukturierten Herangehensweise werden weder disziplinspezifische noch interdisziplinäre Synergiepotentiale zwischen der Nachhaltigkeit und Digitalisierung während der Maßnahmenumsetzung gehoben.

Reifegradstufe 2 – Fragmentiert: Die zweite Reifegradstufe verfolgt die übergeordnete Zielsetzung einer gesteigerten Ressourceneffizienz und damit verbundenen Kosteneinsparungen. Die Motivation zur Dualen Transformation ist somit maßgeblich auf externe Kundenanforderungen zurückzuführen. Zur Verbesserung der Ressourceneffizienz werden digitale Technologien sowohl auf Seiten der Produkte und Services als auch auf Seiten der Prozesse vereinzelt eingesetzt. Die grundsätzliche lineare Wertschöpfungslogik bleibt hingegen größtenteils bestehen. Die Organisation der Nachhaltigkeit und Digitalisierung ist trotz einzelner Anwendungsbeispiele grundsätzlich von zwei voneinander entkoppelten Transformationsprozessen geprägt.

Im Zuge der im Unternehmen fragmentierten Transformationsinitiativen werden die damit verbundenen Maßnahmen lediglich disziplinspezifisch geplant und umgesetzt. Trotz der Koordinationsaufwände können aufgrund des begrenzten Betrachtungshorizonts etwaige Synergiepotentiale und Wechselwirkungen zwischen der Nachhaltigkeitstransformation und Digitalen Transformation im Unternehmen nicht systematisch berücksichtigt werden.

Reifegradstufe 3 – Synchronisiert: Im Rahmen der dritten Reifegradstufe zielt das Unternehmen auf die Differenzierung im Markt mithilfe von Nachhaltigkeits- und Digitalisierungsinnovationen ab. Das Unternehmen erkennt in der Dualen Transformation eine Chance, sodass die Transformation vorrangig intrinsisch motiviert ist. Die unternehmerische Wertschöpfung basiert in einem hohen Umfang auf einer nachhaltigen und digitalen Marktleistung sowie Leistungserstellung. Die lineare Wertschöpfung wird zunehmend durch eine zirkuläre Wertschöpfung ersetzt. Die dafür notwendigen Nachhaltigkeits- und Digitalisierungsaktivitäten werden in den grundsätzlich separat voneinander aufgesetzten Transformationsinitiativen systematisch identifiziert, priorisiert und bestmöglich miteinander synchronisiert. Hierbei werden disziplinspezifische als auch interdisziplinäre Synergiepotentiale größtenteils gehoben. Allerdings werden nicht alle existierenden Wechselwirkungen zwischen der Nachhaltigkeit und Digitalisierung aufgrund der grundsätzlich getrennten Transformationsinitiativen berücksichtigt.

Reifegradstufe 4 – Integriert: In der vierten Reifegradstufe liegt die Kernmotivation zur ganzheitlichen Erschließung der Nachhaltigkeit und Digitalisierung in der Transformation der Wirtschaft und Gesellschaft begründet. Neben der geschäftlichen Weiterentwicklung leistet das Unternehmen mit seinen nachhaltigen und zugleich digitalen Innovationen einen relevanten wirtschafts- und gesellschaftspolitischen Beitrag. Nachhaltigkeit und Digitalisierung sind hierbei zentraler Bestandteil der eigenen Wertschöpfung, sowohl in den Produkten und Services als auch in den zugrundeliegenden Prozessen. Hierfür ist im Gegensatz zu den vorherigen Reifegradstufen eine von Beginn an ganzheitliche und integrative Transformationsplanung und -umsetzung notwendig. Die ganzheitliche und integrative Planung ermöglicht die vollständige Erschließung von Synergiepotentialen unter Berücksichtigung der existierenden Wechselwirkungen zwischen der Nachhaltigkeit und Digitalisierung. Die Umsetzung wird in der Regel durch interdisziplinäre Teams gewährleistet. Die vorliegende Reifegradstufe entspricht somit dem derzeit geltenden Zielbild der Dualen Transformation.

5 Vorgehensmodell zur reifegradbasierten Planung der Dualen Transformation

Gegenstand dieses Abschnitts ist ein *Vorgehensmodell zur reifegradbasierten Planung der Dualen Transformation*. Ziel ist eine Umsetzungsroadmap zur Dualen Transformation von Industrieunternehmen, die unter Berücksichtigung der derzeitigen Leistungsfähigkeit die Transformationsaktivitäten zur Erreichung eines festgelegten Zielzustands beschreibt. Dazu definiert das Vorgehensmodell die Phasen sowie die jeweils damit verbundenen Aufgaben und Resultate. Ferner steuert es den Einsatz der Hilfsmittel. Das Vorgehensmodell orientiert sich dabei an den Vorarbeiten von WESTERMANN [Wes17] sowie dem Prozess der strategischen Führung nach GAUSEMEIER und PLASS [GP14]. Ausgangspunkt sind demnach eine Analyse des Unternehmens sowie die Ermittlung von Strategieoptionen, die dem Gedanken von CHRISTIANSEN

folgend mit einem Reifegradmodell zur Leistungsbewertung und -steigerung unterstützt werden [Chr09]. Das vorliegende Vorgehensmodell gliedert sich in vier aufeinander aufbauende Phasen, in denen das Reifegradmodell sowie die Hilfsmittel zur Planung der Dualen Transformation unterstützend eingesetzt werden (vgl. Bild 7). Notwendige Voraussetzung zur Anwendung des Reifegradmodells sind ein interdisziplinäres Team bestehend aus mind. jeweils einem verantwortlichen Nachhaltigkeits- und Digitalisierungsmanager.



Bild 7: Vorgehensmodell zur reifegradbasierten Planung der Dualen Transformation

Phase 1 – Leistungsbewertung: Gegenstand der ersten Phase ist die Bewertung des Ausgangszustands des Unternehmens hinsichtlich der Dualen Transformation unter Zuhilfenahme des **Reifegradmodells**. Im Rahmen der Analyse wird dazu zunächst eine **Transformations-Canvas** genutzt, um alle relevanten Informationen zur Leistungsbewertung zu sammeln. Dazu werden die in der Transformations-Canvas zur Verfügung gestellten Leitfragen durch das interdisziplinäre Team im Zuge eines Workshops beantwortet. Ergänzende Informationsquellen sind bspw. Strategiedokumente, Projektlisten oder Prozess- und Produktbeschreibungen, die bedarfsgerecht zur Analyse hinzugezogen werden können. Flankiert wird dieser Schritt mit (optionalen) Experteninterviews. Die ausgefüllte Transformations-Canvas umfasst schließlich alle relevanten Informationen des jeweiligen Unternehmens zur Dualen Transformation. Die vorliegende Informationsbasis erlaubt daraufhin die Bewertung der Leistungsfähigkeit des betrachteten Unternehmens. Hierzu kommen die **Leistungsstufen auf Handlungselementebene** zum Einsatz, die eine objektive und damit vergleichbare Aussage zur Leistungsfähigkeit zulassen. Die Bewertung der Leistungsstufen der einzelnen Handlungselemente erfolgt auf Basis der vorliegenden Informationen gemeinsam im Team. Nach vollständiger Bewertung der Handlungselemente werden die **Leistungsstufen auf Gesamtunternehmensebene** bestimmt. Diese repräsentieren das arithmetische Mittel der jeweils zugeordneten Handlungselemente und stellen folglich eine managementgerechte Ergebnisaggregation dar.

Phase 2 – Leistungssteigerung: Auf Grundlage der derzeitigen Leistungsfähigkeit wird in der zweiten Phase der unternehmensindividuelle Zielzustand definiert. Dazu wird eingangs die zukünftig geplante Grundausrichtung des Unternehmens im Hinblick auf die Duale Transfor-

tion unter Nutzung eines **Entscheidungsbaums** ermittelt. Dieser stellt Entscheidungsfragen bereit, die unter Hinzuziehung strategischer Rahmenbedingungen wie die angestrebte Wettbewerbsposition im Team beantwortet werden. Die Blätter des Entscheidungsbaums führen in Abhängigkeit der geplanten Grundausrichtung zu verschiedenen **Reifegradprofilen**, die einen idealtypischen Zielzustand je Handlungselement vorgeben (vgl. Bild 8).

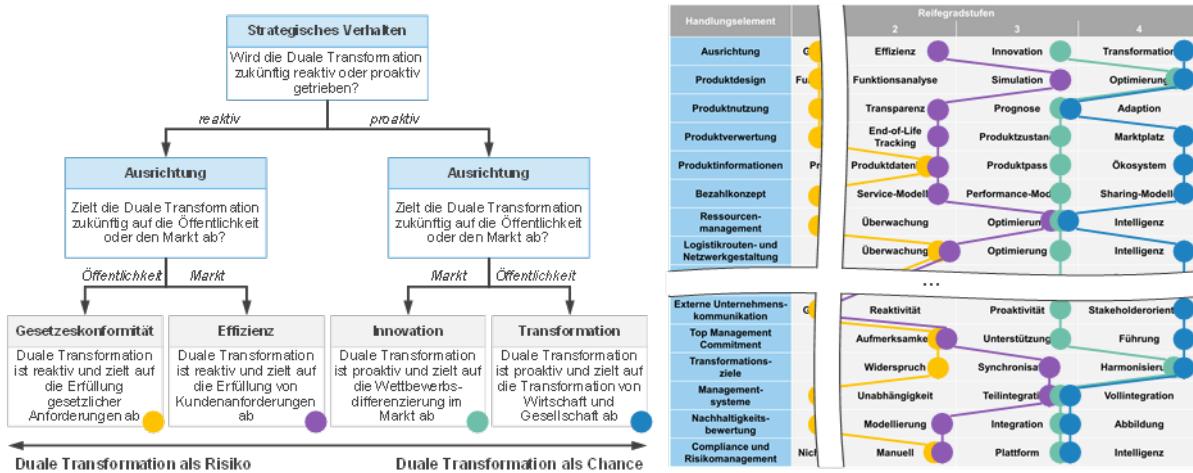


Bild 8: Entscheidungsbaum mit beispielhaften Reifegradprofilen

Diese Zielzustände der Handlungselemente sind daraufhin mit den konkreten Transformationszielen des Unternehmens abzuleiten. Unter Berücksichtigung bspw. der Unternehmensziele sowie gesetzlicher Anforderungen werden die zutreffenden Transformationsziele im Team ausdefiniert und mit den vorbewerteten Zielzuständen resultierend aus den Reifegradprofilen abgeglichen und bei Bedarf angepasst. Nach finaler Festlegung der Zielzustände werden anschließend die Vernetzung der Handlungselemente untersucht. Hierzu erlauben eine **Einflussmatrix der Handlungselemente** sowie die Aufstellung eines **Aktiv-Passiv-Grids** die Ableitung eines Ergebnisportfolios. Dieses Portfolio ermöglicht schlussendlich die Ableitung einer **Handlungselemente-Roadmap**. Diese definiert unter Berücksichtigung der gegenseitigen Abhängigkeiten den zeitlichen Horizont für die Leistungssteigerung der Handlungselemente und stellt somit eine wichtige Eingangsgröße für die weitere Umsetzungsplanung dar.

Phase 3 – Transformationsmaßnahmenermittlung: In der dritten Phase werden alternative Transformationsmaßnahmen zur Leistungssteigerung ermittelt. Dazu werden zu Beginn durch einen Vergleich der derzeitigen Leistungsstufen mit dem geplanten Zielzustand diejenigen Handlungselemente identifiziert, dessen Leistungsfähigkeit im weiteren Verlauf gesteigert werden sollen. Für diese Handlungselemente sind nun konkrete Maßnahmen zu ermitteln, die potentiell zur Leistungssteigerung führen. Zur Ermittlung alternativer Maßnahmen wird ein **Maßnahmenkatalog** eingesetzt, welcher anhand der Handlungsfelder des Referenzmodells sowie der vier Leistungsstufen strukturiert ist und potentielle Lösungselemente zur Leistungssteigerung in Form einer Wissensbasis bereitstellt. Der Katalog dient für das Team als Inspiration und kann darüber hinaus durch den Input von bspw. Fachmessen oder Internetrecherchen um weitere Lösungselemente ergänzt werden. Bei der Identifikation der Lösungselemente schränken die zuvor ermittelten Ist- und Zielleistungsstufen den Suchraum bewusst ein. Die identifi-

zierten Lösungselemente werden mithilfe von **Steckbriefen** einheitlich und vergleichbar dokumentiert. Dabei werden in den jeweiligen Steckbriefen die zu erreichenden Leistungsstufen eines Lösungselements nochmals kenntlich gemacht (vgl. Bild 9).

| Transformationssteckbrief: CO ₂ -Management Tool | | | |
|--|--|---|---|
| Kurzbeschreibung Sustainability Footprint Management ist eine Softwarelösung, die Unternehmen dabei unterstützt, ihre CO ₂ -Emissionen auf Basis von Energieverbräuchen, Transportwegen, der Produktion und anderer betrieblicher Aktivitäten zu messen und zu überwachen. Dazu werden die Daten dann in einem zentralen Dashboard oder Berichtssystem zur Analyse der Emissionsprofile visualisiert. | | Skizze  | |
| Vorteile <ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatisierte Berechnung des Product und Corporate Carbon Footprints (PCF/CCF) ▪ Catena-X Tauglichkeit sowie ISO 27001 ▪ Austausch der Daten mittels SAP Sustainability Data Exchange Program | | Handlungselemente Nachhaltigkeitsbewertung Lieferkettenmanagement | Leistungsstufen  |
| Nachteile <ul style="list-style-type: none"> ▪ Derzeit noch keine CBAM-Abdeckung ▪ Keine Simulation und Vorhersage des PCF oder CCF möglich | | Aufwand <ul style="list-style-type: none"> ▪ Initiale Implementierung mit ggf. Customizing-Aufwänden ▪ Lizenzkosten abhängig von Unternehmensgröße | Voraussetzungen SAP sollte als ERP-Anbieter möglichst bereits genutzt werden |
| Quellen https://www.sap.com/germany/products/scm/sustainability-footprint-management.html | | | Im Unternehmen geplante Aktivitäten können als weitere Steckbriefe ergänzt werden |

Bild 9: Beispielhafter Maßnahmensteckbrief

Phase 4 – Umsetzungsplanung: Die vierte und abschließende Phase umfasst die Bewertung und Auswahl der alternativen Maßnahmen sowie deren Umsetzungsplanung. Dazu werden zunächst die alternativen Maßnahmen verglichen und anhand technischer und wirtschaftlicher Kriterien bewertet. Die konkreten Bewertungskriterien werden durch das Team definiert. Die Bewertung erfolgt ebenso durch das Team mithilfe ausgewählter Bewertungsmethoden insb. einer **Nutzwertanalyse**. Während des Bewertungsprozesses können die Steckbriefe aus der vorherigen Phase genutzt werden, um ein besseres Verständnis zu bspw. Best Practices sowie etwaigen Vor- und Nachteilen betrachteter Lösungselemente zu erhalten. Resultat des Bewertungsschritts sind ausgewählte Maßnahmen, die schlussendlich in eine **Transformationsroadmap** zu überführen sind. Eingangsgröße für diesen Schritt bildet die in der zweiten Phase abgeleitete Handlungselemente-Roadmap. Hierzu sind die Zeitachsen der Handlungselemente-Roadmap grundsätzlich zu übernehmen. Bei starken technologischen oder organisatorischen Abhängigkeiten zwischen zwei oder mehr Lösungselementen sind die Zeitachsen der Handlungselemente bei Bedarf nochmals anzupassen. Ferner sind in der Transformationsroadmap konkrete Verantwortlichkeiten zur Umsetzung der einzelnen Lösungselemente zu definieren.

6 Resümee und Ausblick

Die strategische Transformationsplanung der Nachhaltigkeit und Digitalisierung stellt das Management von Unternehmen vor Herausforderungen. Zur Erschließung der mit der Nachhaltigkeit und Digitalisierung einhergehenden Nutzenpotentiale sind die beiden Transformationsprozesse integrativ und synergetisch im Sinne einer Dualen Transformation zu betrachten. Obwohl das strategische Management der Nachhaltigkeit und Digitalisierung forschungsseitig bereits größtenteils erschlossen ist, mangelt es derzeit an integrativen Ansätzen. Der vorliegende Beitrag adressiert diese Forschungslücke zur strategischen Planung der Dualen Transformation

mithilfe eines Reifegradmodells. Dazu wurde zunächst auf Basis einer Literaturanalyse sowie einer Interviewstudie ein Referenzmodell entwickelt, welches die erforderlichen Handlungsfelder und -elementen der Dualen Transformation beschreibt. Auf dieser Basis wurden Reifegradstufen auf der Ebene der Handlungselemente und des Gesamtunternehmens bereitgestellt, die eine Leistungsbewertung und -steigerung von Unternehmen im Zuge der Dualen Transformation ermöglichen. Ergänzende Hilfsmittel unterstützen die Transformationsplanung, deren Einsatz im Rahmen des vorgestellten Vorgehensmodell gesteuert ist. Die Operationalisierung des Ansatzes kann sowohl beratungs- als auch werkzeugunterstützt erfolgen. Der vorliegende Beitrag stellt somit einen anwendungsorientierten Forschungsbeitrag des it's OWL Innovationsprojektes *DualStrat* zur strategischen Planung der Dualen Transformation für Industrieunternehmen bereit. Entsprechend unterstützt der Beitrag Unternehmen bei der Umsetzung der Vision von Industrie.Zero durch die strategische Planung der Dualen Transformation.

Zukünftig bedarf es einer Erweiterung bzw. Anpassung des Ansatzes auch außerhalb des Forschungskonsortiums. Hierbei ist insbesondere die Übertragbarkeit auf kleine und mittlere Unternehmen (KMU) und den Mittelstand sicherzustellen, die einen erheblichen Beitrag der Wertschöpfung in Deutschland ausmachen. Ferner ist eine Anwendung des Reifegradmodells bei mehreren Unternehmen denkbar, um praxisnahe Erkenntnisse aus dem Transformationsprozess in einer Metastudie zusammenzufassen. In diesem Zuge besteht ebenso weiterer Forschungsbedarf, um den Grad der integrativen Planung der Nachhaltigkeit und Digitalisierung im Unternehmen neben einer qualitativen Messung mithilfe des Reifegradmodells auch quantitativ messbar zu machen. Dies würde den unternehmerischen Mehrwert gegenüber Stakeholdern jenseits der regulatorischen Anforderungen im Unternehmen einfacher zugänglich machen.

Literatur

- [AH22] AKBARI, M.; HOPKINS, J. L.: Digital technologies as enablers of supply chain sustainability in an emerging economy. Springer Nature, Springer Science + Business Media, Operations Management Research, 2022
- [BBK+20] BERG, H.; LE BLÉVENNEC, L.; KRISTOFFERSEN, E.; STRÉE, B.; WITOMSKI, A.; STEIN, N.; BASTEIN, T.; RAMESOHL, A.; VRANCKEN, K.: Digital circular economy as a cornerstone of a sustainable European industry transformation. Oktober 2020
- [BEP+13] BHARADWAJ, A.; EL SAWY, O.A.; PAVLOU, P A.; VENKATRAMAN, N.: Digital business strategy: Toward a next generation of insights. Management Information Systems (MIS) Quarterly, 2/2013, Carlson School of Management, University of Minnesota S. 471–482, 2013
- [BF11] BONN, I.; FISHER, J.: Sustainability: the missing ingredient in strategy. Journal of Business Strategy, Vol. 32, No. 1, pp.5-14., 2011
- [BLK+20] BERG, H.; LE BLÉVENNEC, K.; KRISTOFFERSEN, E.; STRÉE, B.; WITOMSKI, A.; STEIN, N.; BASTEIN, T.; RAMESOHL, S.; VRANCKEN, K.: Digital circular economy – a cornerstone of a sustainable European industry transformation. ECERA European Circular Economy Research Alliance, White Paper, Oktober 2020
- [CCG+24] CHRISTMANN, A.-S.; CROME, C.; GRAF-DRASCH, V.; OBERLÄNDER A. M.; SCHMIDT, L.: The Twin Transformation Butterfly – Capabilities for an Integrated Digital and Sustainability Transformation. Springer Link, Business & Information Systems Engineering, 2024
- [Chr09] CHRISTIANSEN, S. K.: Methode zur Klassifikation und Entwicklung reifegradbasierter Leistungsbewertungs- und Leistungssteigerungsmodelle. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 264, Paderborn, 2009

- [DF92] DILLON, P.; FISCHER, K.: Environmental Management in Corporations: Methods and Motivations. Center for Environmental Management, Tufts University, Medford, 1992
- [DH02] DYLLICK, T.; HOCKERTS, K.: Beyond the business case for corporate sustainability. *Business Strategy and the Environment*, Vol. 11, pp.130–141, 2002
- [Dil94] DILLON, P.: Implications of industrial ecology in firms. In: ALLENBY, B. R.; RICHARDS, D. J. (Eds): *The Greening of Industrial Ecosystems*. National Academy Press, Washington DC, pp.201–207, 1994
- [DM18] DAVENPORT, T. H.; MAHIDHAR, V.: What's Your Cognitive Strategy?. *MIT Sloan Management Review*, Vol. 59 No. 4, 2018
- [Ear89] EARL, M. J.: Management strategies for information technology. Prentice Hall, Essex, New York 1989
- [EFK+24] EPP, L.; FOIT, D.; KÜRPICK, C.; PLAB, S.; SCHOLZ, T.; SCHREINER, N.: Developing a Conceptual Model for Strategic Integration of Sustainability and Digitalization in Manufacturing. *IEEE International Conference on Technology, Informatics, Management, Engineering and Environment (TIME-E)*, Indonesia, 2024
- [ERB16] ENGERT, S.; RAUTER, R.; BAUMGARTNER, R. J.: Exploring the integration of corporate sustainability into strategic management: A literature review. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 112, pp. 2833–2850, 2016
- [EU23] EUROPÄISCHE UNION: A Green Deal Industrial Plan for the Net-Zero Age. Brüssel, 2023
- [FKF24] FALKOWSKI, T.; KÜHN, A.; FECHTELPETER, C.: *industrie.zero – Strategie 2023+*. it's OWL Clus-termanagement, Paderborn, 2024
- [FM22] FINK, F.; MOELLER, M.: *Playbook Purpose Driven Organizations – Der Navigator für Purpose Drive in Ihrem Unternehmen*. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2022
- [GHB18] GRIESE, K.-M.; HIRSCHFELD, G.; BARINGHORST, S.: Unternehmen zwischen Digitalisierung und Nachhaltigkeit – eine empirische Untersuchung. Springer Verlag, NachhaltigkeitsManagement-Forum 27, 11-21, 2018
- [GIG+21] GHOBAKHLOO, M.; IRANMANESH, M.; GRYBAUSKAS, A.; VILKAS, M.; PETRAITÉ, M.: Industry 4.0, innovation, and sustainable development: A systematic review and a roadmap to sustainable innovation. *Business Strategy and the Environment*, 2021
- [GKK+23] GRAF-DRASCH, V.; KAUFFELD, L.; KEMPF, L.; OBERLÄNDER, A. M.; TEUCHERT, A.: Driving Twin Transformation – The Interplay of Digital Transformation and Sustainability Transformation. AIS Electronic Library (AISel), ECIS Proceedings, 2023
- [GP14] GAUSEMEIER, J.; PLASS, C.: *Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Ge-schäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen*. Hanser, München, 2., überar-beitete Auflage, 2014
- [GRN20] GLANZE, E.; NÜTTGENS, M.; RITZRAU, W.: Unternehmenserfolg durch Nachhaltigkeit – Reife-grad- und Vorgehensmodell zum Aufbau eines datenbasierten Nachhaltigkeitsmanagements. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, Volume 58, Pages 155-166, 2020
- [GS17] GLASER, B.; STRAUSS, A.L.: *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Re-search*. Routledge, 2017
- [GYK+18] GARZA-REYES, Y. A.; YU, M.; KUMAR, V.; UPADHYAY, A.: Total quality environmental management: adoption status in the Chinese manufacturing sector. *The TQM Journal*, Vol. 30, 2018, pp. 2-19
- [Har95] HART, S. L.: A natural-resource-based view of the firm. *Academy of Management Review*, 20, pp. 986–1014, 1995
- [Has13] HASENMÜLLER, M.-P.: Herausforderungen im Nachhaltigkeitsmanagement – Der Beitrag der Pfadforschung zur Erklärung von Implementationsbarrieren. Springer Gabler, Wiesbaden, 2013

- [Hin21] HINRICH, B.: Nachhaltigkeit als Unternehmensstrategie – Roadmap für nachhaltiges Wirtschaften und Innovation. Haufe Verlag, Freiburg, 2021
- [HS10] HOFFMANN, J.; SCHMIDT, W.: Masterkurs IT-Management, 2. Auflage, Vieweg Teubner Verlag, Wiesbaden 2010
- [HUB15] HERTERICH, B.; UBERNICKEL, F.; BRENNER, W.: Nutzenpotentiale cyber-physischer Systeme für industrielle Dienstleistungen 4.0. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, 10/2015, Springer Fachmedien Verlag, Wiesbaden, S. 655-680, Oktober 2015
- [HV93] HENDERSON, J. C.; VENKATRAMAN, H.: Strategic alignment: Leveraging information technology for transforming organizations. In: IBM Systems Journal, IBM Corporation, Riverton, USA, S. 472-484, 1993
- [ITG+20] ISENSEE, C.; TEUTEBERG, F.; GRIESE, K.-M.; Topi, C.: The relationship between organizational culture, sustainability, and digitalization in SMEs: A systematic review. Journal of Cleaner Production, 2020
- [KBM+20] KRISTOFFERSEN, E.; BLOMSMA, F.; MIKALEF, P.; LI, J.: The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies. Journal of Business Research 120(4):241-261, November 2020
- [Kin78] KING, W. R.: Strategic Planning for Management Information Systems. In: Management Information Systems (MIS) Quarterly Executive, Carlson School of Management, University of Minnesota, pp. 27-37, 1978
- [Kin88] KING, W. R.: Strategic Planning for Information Resources – The Evolution of Concepts and Practice. In: Information Resources Management Journal, IGI Global, United States, pp. 1-8, 1988
- [KKD+23] KÜRPICK, C.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.; OLSZEWSKI, L.: Framework for Dual Transformation: A Systematic Literature Review on the Interplays between Digitalization and Sustainability. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): Proceedings of the International Conference on Technologies for Sustainability (SusTech), Portland (Oregon), Vereinigte Staaten von Amerika, 19.-22. April 2023
- [KRS+23] KÜRPICK, C.; RASOR, A.; SCHOLTYSIK, M.; KÜHN, A.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: An Integrative View of the Transformations towards Sustainability and Digitalization: The Case for a Dual Transformation. 33rd CIRP Design Conference, Sydney, Australien, 2023
- [KSK+24] KÜRPICK, C.; SCHREINER, N.; KRAUB-KODYTEK, L.; KÜHN, A.; PLAß, S.; SCHOLZ, T.; DUMITRESCU, R.: Capabilities for the Strategic Alignment of Sustainability and Digitalization in Manufacturing: Insights from Theory and Practice. IEEE Technology and Engineering Management Society Conference: Asia-Pacific (TEMSCON-ASPAC 2024), Indonesien, 2024
- [KVS22] KUMAR, V.; VRAT, P.; SHANKAR, R.: Factors Influencing the Implementation of Industry 4.0 for Sustainability in Manufacturing. Global Journal of Flexible Systems Management, 23(4):453-478, 2022
- [LES+11] LOESER, F.; EREK, K.; SCHMIDT, N.-H.; ZARNEKOW, R.; KOLBE, L. M.: Aligning Green IT with Environmental Strategies: Development of a Conceptual Framework that Leverages Sustainability and Firm Competitiveness. AMCIS Proceedings, 2011
- [Lip21] LIPSMEIER, A.: Systematik zur Entwicklung von Digitalisierungsstrategien für Industrieunternehmen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 2021
- [LTY+22] LIU, Q.; TREVISON, A. H.; YANG, M.; MASCARENHAS, J.: A framework of digital technologies for the circular economy: Digital functions and mechanisms. Business Strategy and the Environment, 2022
- [ML10] MITAS, S.; LUCAS, H. C.: What is Your Digital Business Strategy? In: IT Professional, (6) 12/2010, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Computer Society, New Jersey
- [MS77] MCLEAN, E. R. SODEN, J.V.: Strategic Planning for MIS. John Wiley & Sons, New York, 1977

- [MU12] MEIER, H.; UHLMANN, E.: Hybride Leistungsbündel – ein neues Produktverständnis. In: Meier, H.; Uhlmann, E.: Integrierte Industrielle Sach- und Dienstleistungen – Vermarktung, Entwicklung und Erbringung hybrider Leistungsbündel. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 2012
- [Ors09] ORSATO, R. J.: Sustainability Strategies - When Does It Pay to Be Green. Palgrave Mcmillan, Hampshire, 2009
- [PK06] PORTER, M. E.; KRAMER, M. R.: Strategy and Society: The Link Between Competitive Advantage and Corporate Social Responsibility. Harvard Business Review, Boston, 2006
- [Por91] PORTER, M. E.: Michael E. Porter on Competition and Strategy. Harvard Business Review, Boston, 1991
- [PVT22] PHILBIN, S.; VISWANATHAN, R.; TELUKDARIE, A.: Understanding how digital transformation can enable SMEs to achieve sustainable development: A systematic literature review. Journal of Small Business International Review, vol. 6 (1), 2022
- [Rad21] RADTKE, J.: Die Nachhaltigkeitstransformation als Key Challenge im 21. Jahrhundert. In: RADTKE, J. (Hrg.): Die Nachhaltigkeitstransformation in Deutschland. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2021
- [SGB17] SCHMIDT, A.; GRIESE, K.-M.; BENSBERG, F.: RaDiNa: Ein Rahmenwerk für die Entwicklung digital-basierter und nachhaltigkeitsorientierter Geschäftsmodelle. In: GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. Band 374 der Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, 13. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Paderborn, 2017
- [SLT19] SAUNDERS, M.; LEWIS, R.; THORNHILL, A.: Research methods for business students (8th Ed.). Pearson, 2019
- [SMT+24] SCHREINER, N.; MORAIS DE OLIVEIRA, F.; TRIENENS, M.; KÜRPICK, C.; ASMAR, L.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Corporate Emission Profiles: Analyzing the 160 largest German Companies. R&D Management Conference, Stockholm, Sweden, 2024
- [SP16] SWISSCOM AG, PIERRE AUDOIN CONSULTANS (HRSG.): Die digitale Transformation von Geschäftsprozessen – Erfolgsfaktoren und Empfehlungen für die Umsetzung. Swisscom PAC, 2016
- [SS08] STEAD, J. G.; STEAD, W. E.: Sustainable strategic management: An evolutionary perspective. International Journal of Sustainable Strategic Management, 2008
- [SW17] SCHALTEGGER, S; WAGNER, M.: Managing the Business Case for Sustainability: The Integration of Social, Environmental and Economic Performance. Routledge, New York, 2017
- [Teu13] TEUBNER, R. A.: Informationssystem-Strategie – Theorie, Praxis und Herausforderungen an die Forschung. In: Wirtschaftsinformatik, Springer Verlag, S. 239-255, 2013
- [TKN19] TASLEEM, M.; KHAN, N.; NISAR, A.: Impact of technology management on corporate sustainability performance - The mediating role of TQM. International Journal of Quality & Reliability Management, 2019
- [VP23] VAN RIEL, J.; POELS, G.: Green Enterprise Architecture (GREAN) – Leveraging EA for Environmentally Sustainable Digital Transformation. Sustainability Special Issue Advances in Entrepreneurship and Innovation for Sustainable Management, 2023
- [WBM14] WESTERMAN, G.; BONNET, D.; MCAFEE, A.: Leading Digital – Turning Technology into Business Transformation. Harvard Business Review Press, Boston, Massachusetts, 2014
- [Wes17] WESTERMANN, T.: Systematik zur Reifegradmodell-basierten Planung Cyber-Physical Systems des Maschinen- und Anlagenbaus. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 378, Paderborn, 2017
- [WKB18] WEBER, W.; KABST, R.; BAUM, M.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. 10. Auflage, Springer Gabler Verlag, Wiesbaden, 2018
- [WW02] WEBSTER, J.; WATSON, R.: Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review. Management Information Systems Quarterly, 26(2): xiii-xxii, 2002

[YSK+23] YADAV, S.; SAMADHIYA, A.; KUMAR, A.; MAJUMDAR, A.; GARZA-REYES, J. A.; LUTHRA, S.: Achieving the sustainable development goals through net zero emissions: Innovation-driven strategies for transitioning from incremental to radical lean, green and digital technologies. *Resources, Conservation & Recycling*, 2023

Autoren

M.Sc. Christian Kürpick leitet die Abteilung „Digital Transformation“ am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM in Paderborn. Mit seinem Team bearbeitet er schwerpunktmäßig Forschungs- und Industrieprojekte zur strategischen Transformationsplanung von Unternehmen in der Schnittstelle zwischen der Digitalisierung und Nachhaltigkeit. Er studierte Wirtschaftsingenieurwesen mit der Fachrichtung Maschinenbau an der Universität Paderborn.

M.Sc. Nick Schreiner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung „Corporate Innovation“ am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM in Paderborn. Dort ist er in Forschungs- und Industrieprojekte mit einem Fokus auf die Nachhaltigkeitsanalyse und -optimierung von intelligenten technischen Systemen im Rahmen der strategischen Produktplanung tätig. Er studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der RWTH Aachen.

Dr.-Ing. Arno Kühn leitet den Forschungsbereich „Advanced Systems Engineering“ am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik. Ferner ist er Leiter Strategie für das Spitzencluster Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe (it's OWL) und gestaltet die weiterentwickelte Strategie „Industrie.Zero“ federführend aus. Er studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der Universität Paderborn und promovierte an der Fakultät Maschinenbau.

Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu ist Direktor am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM und Leiter der Fachgruppe Advanced Systems Engineering am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Produktentstehung intelligenter technischer Systeme. In Personalunion ist Prof. Dumitrescu Geschäftsführer des Technologienetzwerks Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe (it's OWL).

Vorgehen zur Dekarbonisierung von Cyber-Physischen Systemen im Rahmen der Produktkonzipierung

**Nick Schreiner¹, Felix Siems¹, Christian Kürpick¹, Arno Kühn¹,
Stephan Stieren¹, Christian Henke¹, Roman Dumitrescu²**

¹ Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM, nick.schreiner/felix.siems/
christian.kuerpick/arno.kuehn/stephan.stieren/christian.henke@iem.fraunhofer.de

² Heinz Nixdorf Institut, roman.dumitrescu@hni.upb.de

Zusammenfassung

Der globale Impuls zu mehr **Nachhaltigkeit**, angetrieben durch ein gesteigertes öffentliches Bewusstsein und strengere staatliche Vorschriften, erhöht den Druck auf Unternehmen, nachhaltiger zu wirtschaften. Vor allem in der Europäischen Union (EU) steigt der regulatorische Druck durch Vorschriften wie den EU Green Deal. Infolgedessen haben sich 50% der größten Unternehmen bereits ehrgeizige Ziele zur **Dekarbonisierung** gesetzt. Die Ziele reichen jedoch nicht aus, um die notwendigen Reduktionen mittelfristig bis 2030 zu erreichen, da sie die Emissionen nur um 20% senken, während das Pariser Abkommen eine Reduktion um 43% fordert.

Auf dem Weg zur Dekarbonisierung haben **Cyber-Physische Systeme** (CPS), wie Maschinen und Anlagen, ein enormes Potenzial zur Emissionsreduktion, da sie als tragende Säule die Emissionen in fast allen anderen Sektoren beeinflussen. Durch die Berechnung des CO2-Fußabdrucks (engl. Product Carbon Footprint, kurz PCF), d.h. der CO2-Emissionen entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produkts, können Unternehmen die sog. Baseline für ihre Produkte ermitteln und daraus gezielte Maßnahmen zur Dekarbonisierung ableiten. Die Analyse und Optimierung des CO2-Fußabdrucks stellt die Hersteller von CPS jedoch vor große Herausforderungen. Dies ist u.a. auf die Produktkomplexität, vielschichtige Lieferketten und mehrdimensionale Nutzungsphasen von CPS zurückzuführen.

Bis zu 80% der Lebenszyklusemissionen eines Produkts werden durch Entscheidungen in der Produktkonzipierung bestimmt. Damit stellen insbesondere die frühen Phasen der Produktentstehung den größten Hebel zur Dekarbonisierung von CPS dar. In diesem Beitrag wird daher ein iteratives **Vorgehensmodell** für die integrative Analyse und Optimierung des CO2-Fußabdrucks für Cyber-Physische Systeme inkl. methodischer Instrumente vorgestellt und dessen Anwendung anhand eines Praxisbeispiels validiert. Als Ergebnis ermöglicht das achtschrittige Vorgehen die frühzeitige und effektive Dekarbonisierung von CPS.

Schlüsselworte

Dekarbonisierung, CO2-Fußabdruck, Cyber-Physische Systeme, Wertanalyse

Process Model for the Decarbonization of Cyber-Physical Systems at the Product Conception Stage

Abstract

The global push for sustainability, driven by increased public awareness and stricter government regulations, is putting pressure on companies to operate more sustainably. In the European Union (EU) in particular, regulatory pressure is increasing due to regulations such as the EU Green Deal. As a result, 50% of the largest companies have already set ambitious decarbonization targets. However, these targets are not sufficient to achieve the necessary reductions in the midterm by 2030, as they only reduce emissions by 20%, while the Paris Agreement calls for a 43% reduction.

On the path to decarbonization, cyber-physical systems (CPS), such as machines and plants, have enormous potential to reduce emissions, as they are the main pillars influencing emissions in almost all other sectors. By calculating the product carbon footprint (PCF), i.e. the carbon emissions over the entire life cycle of a product, companies can determine the baseline for their products and derive targeted measures for decarbonization. However, the analysis and optimization of the PCF poses a particular challenge for CPS manufacturers. This is attributable to several factors, including the inherent complexity of the product, the multi-layered nature of the supply chain, and the multi-dimensional use phase of the CPS.

Up to 80% of a product's lifecycle emissions are determined by decisions made in the design phase. This means that the early phases of product development represent the greatest lever for decarbonization. Therefore, this article presents an iterative process model for the integrative analysis and optimization of the product carbon footprint of cyber-physical systems, including methodological tools, and validates its application using a practical example. As a result, the eight-step process enables early and effective decarbonization of CPS.

Keywords

Decarbonization, Product Carbon Footprint, Cyber-Physical Systems, Value Analysis

1 Problematik und Zielsetzung

Der weltweite Impuls zu mehr Nachhaltigkeit, angetrieben durch ein gesteigertes öffentliches Bewusstsein und strengere staatliche Vorschriften, erhöht den Druck auf Unternehmen, nachhaltiger zu wirtschaften [KK23-ol, S. 1]. Vor allem in der Europäischen Union (EU) steigt der Regulierungsdruck durch Vorschriften wie die Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), den EU Green Deal [Dod23-ol, S. 2ff.] oder die Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR). Rund 95% der Unternehmen sind der Ansicht, dass die Bedeutung der Nachhaltigkeit in den nächsten fünf Jahren weiter zunehmen wird [CFH+22, S. 10]. Zukünftiges Unternehmenswachstum muss daher nachhaltig sein, was eine CO2-neutrale Wirtschaft voraussetzt [SV21, S. 5].

Dabei kommt der **Dekarbonisierung**, d.h. der Reduktion der CO2-Emissionen, eine zentrale Rolle zu. In diesem Kontext haben sich 50% der größten Unternehmen bereits ehrgeizige Dekarbonisierungsziele gesetzt [RFK+22, S. 6]. Mittelfristig reichen diese Ziele jedoch nicht aus, um die notwendigen Reduktionen bis 2030 zu erreichen, da sie die Emissionen nur um 20% senken, während das Pariser Abkommen eine Reduktion um 43% vorsieht [RFK+22, S. 5]. Es besteht also dringender Handlungsbedarf [DJR+23, S. 8].

Cyber-Physische Systeme (CPS) erfüllen aus technologischer und ökonomischer Sicht die Voraussetzungen der Dekarbonisierungsbestrebungen. Die Fähigkeit, Inputs und Kosten effizient zu reduzieren, kombiniert mit der Fähigkeit, große Systeme zu integrieren und zu koordinieren, machen CPS zu einem geeigneten Instrument für die Transformation hin zu einer CO2-neutralen Wirtschaft. [JBB+24, S. 3] Insbesondere im Industriesektor stellen CPS, wie Maschinen und Anlagen, ein enormes Potenzial zur Dekarbonisierung dar, da sie das Rückgrat der verarbeitenden Industrie bilden und die Emissionen in fast allen anderen Sektoren beeinflussen [CFH+22, S. 3], [Mey20, S. 2], [Hos20-ol, S. 1]. Für die industrielle Produktion wird Cyber-Physischen Produktionssystemen ein Dekarbonisierungspotenzial von 15-25% zugesprochen [Thi22, S. 84]. Dieses Potenzial ist nicht nur auf den Industriesektor beschränkt, sondern kann auch in anderen emissionsintensiven Sektoren wie Strom- und Wärmeerzeugung, Verkehr, Gebäude sowie Landwirtschaft genutzt werden [JBB+24, S. 3].

Für eine effektive Dekarbonisierung derartiger Systeme müssen Hersteller allerdings zunächst die Grundlage schaffen, namentlich den **CO2-Fußabdruck** (engl. Product Carbon Footprint, kurz PCF) bestimmen. Der GHG-Produkt-Standard und die ISO 14067 bilden die standardisierte und normierte Grundlage für die PCF-Bestimmung [BCB+11], [14067]. Bei der PCF-Bestimmung geht es im Wesentlichen um die Analyse der CO2-Emissionen eines Produkts über den gesamten Lebensweg, d.h. von der Rohstoffgewinnung über die Verarbeitung zu Vorprodukten, die Herstellung des Produkts, die Distribution, die Nutzung und die Entsorgung [HJS13, S. 9]. Bis zu 80% der Lebenszyklusemissionen eines Produkts werden durch Entscheidungen in der Produktkonzipierung bestimmt [FMO+22, S. 1]. Das Potenzial zur Dekarbonisierung von CPS in den frühen Phasen der Produktentstehung ist daher beträchtlich. Um die Dekarbonisierungspotenziale für CPS frühzeitig zu heben, stehen Hersteller jedoch vor zwei zentralen Handlungsfeldern: der Analyse und der Optimierung des CO2-Fußabdrucks. Um

diese Handlungsfelder besser zu verstehen, werden im Folgenden die Herausforderungen in der Praxis beleuchtet.

Cyber-Physische Systeme stellen den Verbund von informatischen und softwaretechnischen Komponenten (Cyber) mit mechanischen und elektronischen Teilen (Physisch) dar, die über eine Dateninfrastruktur kommunizieren [Bro10, S. 17]. Im Rahmen der **Analyse des CO2-Fußabdrucks** hängt der Aufwand wesentlich von der Komplexität des Produkts ab [HJS13, S. 17]. CPS bestehen per Definition aus einer Vielzahl von verschiedenen Komponenten und Materialien [SKK+23] und erfordern die Integration verschiedener Disziplinen, wie Mechanik, Elektronik, Steuerung und Softwaretechnik [LWA+17, S. 252]. Dies führt zu einer hohen Komplexität in der Entwicklung, Produktion, sowie der Lieferkette. Zudem sind diese Systeme dynamischen Änderungen und Aktualisierungen unterworfen [DKS+18], was eine individuelle und wiederkehrende Analyse des PCF für die jeweilige Anwendung erfordert. Die Bewältigung der Komplexität und Dynamik von CPS bei der Ermittlung des CO2-Fußabdrucks erfordert einen iterativen Ansatz.

Funktional definiert durch einen hohen Grad an Digitalisierung, Konnektivität und Automatisierung [JBB+24, S. 3], sorgen die dafür notwendigen Informations- und Kommunikationstechnologie-Komponenten (IKT) im CPS zunächst für einen größeren Cradle-to-Gate CO2-Fußabdruck (engl. environmental Backpack) durch enthaltene Materialien und deren Produktion [Thi18, S. 646]. In Bezug auf die Nutzungsphase verursachen diese IKT-Komponenten weitere Emissionen. Im Normalfall sorgen sie aber für einen energieeffizienteren Betrieb der CPS, wodurch über den gesamten Lebenszyklus gesehen Emissionen eingespart werden [Thi18, S. 646]. Um diese in Abhängigkeit stehenden Auswirkungen ganzheitlich zu erfassen, bedarf es daher speziell für CPS einer **ganzheitlichen Betrachtung des Produktlebenszyklus**.

Der digitale Charakter von CPS wirkt sich auch auf die **Optimierung des CO2-Fußabdrucks** aus. Dies spiegelt sich vor allem in der Art der Dekarbonisierungsmaßnahmen wider. Dekarbonisierungsmaßnahmen haben ihren Ursprung im Ökodesign, also der ökologisch nachhaltigen Gestaltung von Produkten. Ökodesign konzentriert sich klassischerweise auf Maßnahmen zur Steigerung der Material- und Ressourceneffizienz von Produkten auf Hardwareebene [MP21, S. 980]. Insbesondere bei CPS kommt der Softwareebene eine wesentliche Bedeutung zu, die viele Ansatzpunkte zur Dekarbonisierung des Produkts bietet. So können CPS bspw. durch Maßnahmen wie Prescriptive Maintenance oder intelligente Energiemanagementsysteme wesentlich effizienter und damit emissionsärmer betrieben werden. Eine aktuelle Bitkom-Studie quantifiziert das CO2-Einsparpotenzial digitaler Technologien anteilig am Gesamtziel von Deutschland auf 24% [Bit24-ol, S. 7]. Um dieses Potenzial ausschöpfen zu können, ist es unerlässlich, digitale Maßnahmen in die Dekarbonisierung von CPS zu integrieren. Letztlich stellen viele Wissenschaftler fest, dass es trotz einer Vielzahl von Ökodesign-Methoden und -Instrumenten an einer breiten Umsetzung und Verankerung in der Praxis mangelt [PRM13, S. 161], [RGB+17, S. 546], [LE13, S. 177].

Vor diesem Hintergrund wird durch den vorliegenden Beitrag ein iteratives **Vorgehensmodell** für die integrative Analyse und Optimierung des CO2-Fußabdrucks für Cyber-Physische Sys-

teme inkl. methodischer Instrumente vorgestellt und dessen Anwendung anhand eines Praxisbeispiels validiert. Der Forschungsprozess nach PEFFERS ET AL. bildet den forschungsmethodischen Rahmen des Beitrags und wird im folgenden Kapitel kurz erläutert.

2 Forschungsmethode

Die Struktur des vorliegenden Beitrags basiert auf der praxisorientierten Forschungsmethode nach PEFFERS ET AL. Der dazugehörige nominelle Prozessablauf ist in Bild 1 dargestellt.



Bild 1: *Forschungsmethode nach PEFFERS ET AL. [PTG+07, S. 93]*

In Schritt A der **Forschungsmethode** nach PEFFERS ET AL gilt es das Problem zu identifizieren und zu motivieren. Darauf aufbauend wird in Schritt B die Zielsetzung der Lösung rational aus der Problemspezifikation abgeleitet. In dem Zuge sind Kenntnisse über den Stand der derzeitigen Lösungen inkl. deren Wirksamkeit aufzubauen. Dementsprechend fokussiert das erste Kapitel des vorliegenden Beitrags das zugrundeliegende Praxisproblem, das auf der Grundlage einer Literaturrecherche und der Praxiserfahrungen aus den Beratungsprojekten der Autoren in der Industrie abgeleitet wird. Darauf aufbauend wird die Zielsetzung des Beitrags festgelegt und der relevante Stand der Technik im dritten Kapitel analysiert. Anschließend wird Schritt C zum Entwurf und der Entwicklung des Lösungsartefakts im vierten Kapitel behandelt, in dem das Vorgehensmodell zur Dekarbonisierung von Cyber-Physischen Systemen vorgestellt wird. Die Schritte D und E zur Demonstration und Evaluation der Wirksamkeit des Artefakts werden im fünften Kapitel adressiert, in dem die Anwendung des Modells anhand eines Praxisbeispiels validiert wird. Schließlich wird im sechsten Kapitel eine Zusammenfassung sowie ein Ausblick über weiteren Forschungsbedarf gegeben.

3 Stand der Technik

Auf Basis der identifizierten Herausforderungen aus der Praxis werden nachfolgend relevante Ansätze aus der Wissensliteratur der Ökobilanzierung und des Ökodesigns analysiert. Ziel der Analyse ist es, zu überprüfen, inwieweit adäquate Lösungsansätze für die Analyse und Optimierung des CO₂-Fußabdrucks bereitstehen.

In jüngster Zeit wurden einige Richtlinien zur **PCF-Bestimmung** von großen deutschen Verbänden veröffentlicht, die Unternehmen aus verschiedenen Branchen unterstützen sollen, wie

dem VDMA für den Maschinen- und Anlagenbau [BH22, S. 1ff.], Catena-X für die Automobilindustrie [Cat22, S. 1ff.] oder dem ZVEI für die Elektronikindustrie [ZVE23]. Diese branchenspezifischen Richtlinien bauen auf etablierten Standards, wie dem GHG-Produkt-Standard [BCB+11] und bestehenden Normen, wie der ISO 14067 [14067], auf und sind durch den jeweiligen Branchenfokus für komplexe mechatronische Produkte ausgelegt. Der Hauptfokus liegt dabei auf der Verbesserung der Vergleichbarkeit der CO₂-Fußabdrücke für die jeweilige Branche. Die Ansätze sind jedoch für Cradle-to-Gate- und nicht für Cradle-to-Grave-Betrachtungen ausgelegt und berücksichtigen daher nicht den gesamten Lebenszyklus [BH22, S. 1ff.], [Cat22, S. 1ff.], [ZVE23]. Gerade bei CPS fallen zahlreiche Emissionen in der Nutzungsphase an (vgl. Kapitel 1), weshalb eine solche Betrachtung zu kurz greift. Weitere Ansätze aus der Theorie nach HOTTENROTH ET AL. und DAMIANI ET AL. betonen die Bedeutung einer ganzheitlichen Betrachtung, sind aber nicht für mechatronische Produkte bzw. Cyber-Physische Systeme ausgelegt [HJS13], [DFA22]. Insbesondere [Cat22, S. 1ff.] und [WBC21, S. 1ff.] geben wichtige Hinweise für die Integration der Lieferkette, indem sie den Datentransfer entlang der Lieferkette berücksichtigen und definieren. Der VDMA gibt Hilfestellungen zur Priorisierung von Daten und deren Qualität, um Qualitätsstandards zu vereinheitlichen [BH22, S. 1ff.]. Darüber hinaus bietet der strukturierte Ansatz nach HOTTENROTH ET AL. eine Vielzahl von methodischen Hilfestellungen, wie Beispiele für externe/interne Anforderungen oder Kriterien für die Produktauswahl [HJS13, S. 22ff.]. Insgesamt weisen alle betrachteten Ansätze einen iterativen Charakter auf, wobei der Grad der Iteration stark variiert. Weiterhin ist die Optimierung des CO₂-Fußabdrucks kein Bestandteil der betrachteten Ansätze. Lediglich in einer Ausnahme wird ein anschließender Ökodesign-Workshop vorgeschlagen [HJS13].

Aufgrund des Defizits der fehlenden Betrachtung der **PCF-Optimierung** werden weitere Ansätze aus der dem Thema zugrundeliegenden Wissenschaft des Ökodesigns analysiert. Das Ökodesign besteht erst seit wenigen Jahrzehnten und gewinnt immer mehr an Popularität [Bv97], [WZ03], [VS06]. Entsprechend groß ist die Vielzahl an generellen Ökodesign-Ansätzen [WZ03], [Bv97], [VS06], [CMG13]. Weit aus begrenzter ist die Forschung in Bezug auf die Dekarbonisierung (engl. Low-Carbon-Design) [LZX+18], [MW22]. Während das Denken in Lebenszyklen ein grundlegendes und etabliertes Konzept im allgemeinen Ökodesign ist, gilt dies nicht für Low-Carbon-Design Ansätze. Diese Ansätze konzentrieren sich häufig auf einzelne Lebenszyklusphasen oder -aspekte, wie die Reduzierung des Energieverbrauchs [LZX+18], [MW22]. Insofern diese Aspekte CO₂-Hotspots darstellen, sind solche Ansätze effizient, wenn es darum geht, die Emissionen für eine bestimmte Produktlebenszyklusphase zu reduzieren, aber kontraproduktiv, wenn eine ganzheitliche Dekarbonisierung angestrebt wird. Weiterhin lässt sich der Großteil der Ökodesign-Literatur nur bedingt auf CPS anwenden. Die wettbewerbsbedingten Anforderungen an die Systeme sowie der digitale Charakter machen CPS zu hochkomplexen Produkten, die den Rahmen der meisten Ökodesign-Ansätze sprengen. Zudem werden die Möglichkeiten, die digitale Technologien für das Ökodesign bieten, trotz ihres hohen Dekarbonisierungspotenzials nicht berücksichtigt.

Damit lässt sich festhalten, dass zwar eine Reihe von Ansätzen zur Analyse und Optimierung des PCF existieren, die beiden Handlungsfelder aber nicht integrativ betrachtet werden. Einige Ansätze, wie HOTTENROTH ET AL. bieten zwar methodische Unterstützung, jedoch fehlt der Bezug zu CPS. Weiterhin bieten Ansätze, die speziell für CPS entwickelt wurden, wie der

VDMA-Leitfaden, keine ganzheitliche Betrachtung des Produktlebenszyklus und adressieren ebenfalls die PCF-Optimierung nicht. Die bestehende Diskrepanz zwischen den Herausforderungen in der Praxis und den theoretischen Defiziten dieser Ansätze unterstreicht den **Forschungsbedarf** für ein iteratives Vorgehensmodell zur Dekarbonisierung von CPS. Das Modell muss die integrative Analyse und Optimierung des CO2-Fußabdrucks ermöglichen, aber auch die notwendige Anleitung für eine effiziente und genaue Anwendung bieten.

4 Vorgehen zur Dekarbonisierung Cyber-Physischer Systeme

Als Lösungsansatz des vorliegenden Beitrags wird ein iteratives Vorgehensmodell zur integrativen Analyse und Optimierung des CO2-Fußabdrucks von Cyber-Physischen Systemen vorgestellt. Das Vorgehensmodell besteht aus einem achtschrittigen Vorgehen und methodischer Unterstützung zu dessen Umsetzung. Die **inhaltliche Grundlage** stellen die Ausführungen zur CO2-Fußabdruck-Bestimmung in Anlehnung an HOTTENROTH ET AL. [HJS13, S. 3], für die linke Hälfte der PCF-Bestimmung, und die Wertanalyse in Anlehnung an Wiest [Wie11, S. 40], für die rechte Hälfte der PCF-Optimierung, dar. Die **prozessuale Grundlage** bildet das iterative und agile Vorgehen in Anlehnung an ERP und RYTTER [ER23, S. 96]. Das entwickelte Vorgehen ist in Bild 2 dargestellt.

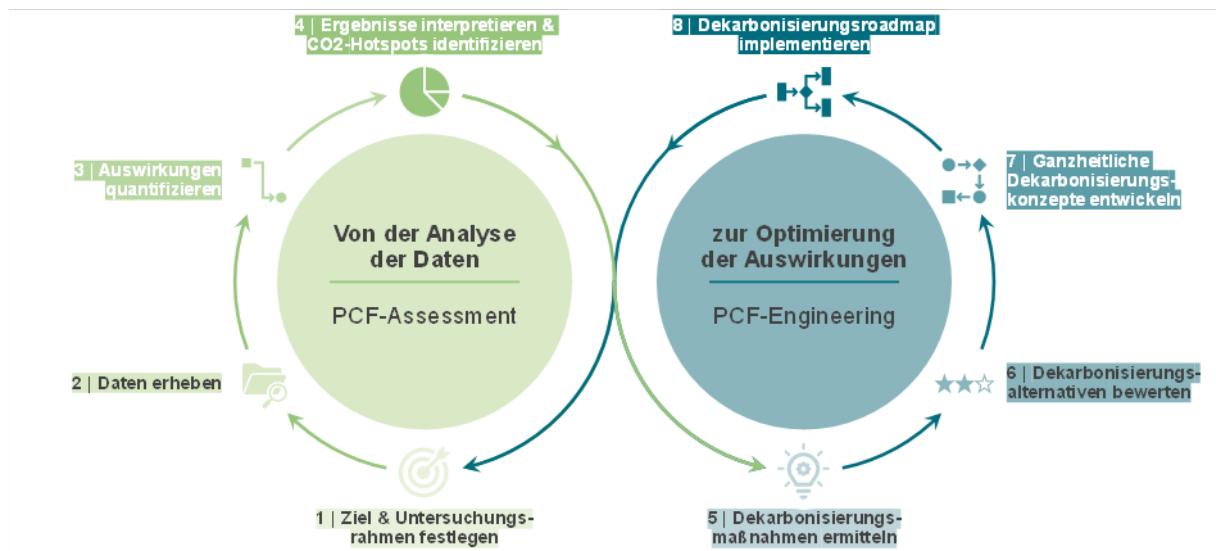


Bild 2: Vorgehen zur Dekarbonisierung Cyber-Physischer Systeme

Das iterative Vorgehen adressiert mit insgesamt acht Schritten gleichermaßen die beiden Handlungsfelder der Analyse und Optimierung des CO2-Fußabdrucks und ist dabei auf die spezifischen Merkmale von CPS zugeschnitten. Für die einzelnen Schritte von der Analyse der Daten (engl. PCF-Assessment) bis zur Optimierung der Auswirkungen (engl. PCF-Engineering) werden methodische Instrumente bereitgestellt, die im Folgenden mit der Detaillierung der einzelnen Vorgehensschritte beschrieben werden.

4.1 Ziel und Untersuchungsrahmen festlegen

Im ersten Schritt gilt es das Ziel und den Untersuchungsrahmen der Analyse festzulegen. Dafür sind die **vier Teilschritte**, Zieldefinition, Produktauswahl, funktionelle Einheit und Systemgrenze festlegen, notwendig [Sch22-ol, S. 1ff.], die in Bild 3 dargestellt sind.



Bild 3: Erster Schritt – Ziel und Untersuchungsrahmen festlegen

Die **Zieldefinition** beinhaltet die Beschreibung des übergeordneten Ziels, das mit der Ermittlung des PCF verfolgt wird [HJS13, S. 22ff.]. Die Formulierung des Ziels einer PCF-Bestimmung kann im Kontext verschiedener Anforderungsbereiche erfolgen. Für eine **Anforderungsübersicht** relevanter externer Anforderungen, wie Endkunden- oder regulatorische Anforderungen, sowie interner Anforderungen, wie Schaffung von Transparenz, Mitarbeiterbindung oder Markenimage, wird auf die Ausführungen nach HOTTENROTH ET AL. verwiesen [HJS13, S. 22]. Die Zieldefinition bildet die Grundlage für alle nachgelagerten Entscheidungen im Rahmen der Analyse und Optimierung. Es wird daher empfohlen neben dem Kernteam, bestehend aus den vier **Kompetenzen** PCF-Analyst, Nachhaltigkeitsmanagement, Einkauf und Entwicklung, den Entscheider in Form des Managements bzw. der Geschäftsführung miteinzubeziehen.

Auf Basis der Zieldefinition erfolgt die **Produktauswahl**. Die Auswahl dient der Priorisierung der eigenen Produkte für die PCF-Bestimmung. Basierend auf den Charakteristika von CPS (vgl. Kapitel 1) werden für die Produktauswahl spezifische Auswahlkriterien vorgeschlagen. Im Rahmen einer Aufwand-Nutzen-Analyse sind die Kriterien auf das eigene Produktportfolio anzuwenden (vgl. Bild 4).

| | | Aufwandskriterien | | | | | Nutzenkriterien | | | | |
|--|--|--------------------|--------------------|------------------------------------|--------------------------|---------------|-------------------------------------|---|----------------------------------|--|--------------|
| | | Produktkomplexität | Datenverfügbarkeit | Stabilität der Wertschöpfungskette | Kooperationsbereitschaft | Gesamtaufwand | Strategische Bedeutung des Produkts | Relevanz der CO ₂ Emissionen | Potenzial zur Emissionsreduktion | Repräsentativität für das Produktportfolio | Gesamtnutzen |
| Bewertung | | | | | | | | | | | |
| | 5: Sehr geringer Aufwand / Sehr hoher Nutzen | | | | | | | | | | |
| 4: Geringer Aufwand / Hoher Nutzen | | | | | | | | | | | |
| 3: Mittlerer Aufwand / Mittlerer Nutzen | | | | | | | | | | | |
| 2: Hoher Aufwand / Geringer Nutzen | | | | | | | | | | | |
| 1: Sehr hoher Aufwand / Sehr geringer Nutzen | | | | | | | | | | | |
| Produktkategorie 1 | Produkt 1 | | | | | | | | | | |
| | Produkt 2 | | | | | | | | | | |
| ... | ... | | | | | | | | | | |

Bild 4: Aufwand-Nutzen-Analyse für die Produktauswahl

Die **Aufwand-Nutzen-Analyse** unterstützt dabei einzelne Produkte bzw. Produktkategorien in Bezug auf die Eignung und Relevanz für die PCF-Bestimmung zu bewerten. Bei einem großen Produktpool wird eine zweistufige Bewertung empfohlen, bei der zunächst verschiedene

Produktkategorien und anschließend die Produkte der relevantesten Produktkategorien bewertet werden. Es wird empfohlen, spaltenweise vorzugehen, d.h. die zu betrachtenden Produkte nach jeweils einem Kriterium zu bewerten. Der Aufwand wird anhand von vier **Aufwandskriterien** bewertet: Produktkomplexität, Datenverfügbarkeit, Stabilität der Wertschöpfungskette und Kooperationsbereitschaft relevanter Stakeholder. Die Produktkomplexität beschreibt den Grad der Vielfalt und Vernetzung von Merkmalen und Elementen des Produkts, z. B. Materialvielfalt, Anzahl der Baugruppen und Komponenten. Die Datenverfügbarkeit bewertet das Ausmaß, in dem relevante Produktdaten zugänglich sind. Dabei gilt es auch die Qualität der Daten zu berücksichtigen. Die Stabilität der Wertschöpfungskette bewertet die Wahrscheinlichkeit, dass Lieferanten oder Kunden wechseln. Dabei sollten Aspekte wie die Langfristigkeit der Lieferanten-/Kundenbeziehungen oder deren Anzahl berücksichtigt werden. Die Kooperationsbereitschaft relevanter Stakeholder bewertet das Ausmaß, in dem Lieferanten und Kunden bereit sind, Informationen für die PCF-Bestimmung zu teilen. Insbesondere für CPS ist die Kooperationsbereitschaft von entscheidender Bedeutung, da der Großteil der benötigten Daten in der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette generiert wird. Neben dem Aufwand wird der Nutzen des PCF ebenfalls anhand von vier **Nutzenkriterien** bestimmt: strategische Bedeutung des Produkts, Relevanz der CO2-Emissionen, Potenzial zur Emissionsreduktion und Repräsentativität für das Produktportfolio. Die strategische Bedeutung des Produkts bewertet die Relevanz des Produkts für das Unternehmen und kann z. B. durch die Anzahl der verkauften Einheiten oder den Umsatzanteil bestimmt werden. Die Relevanz der CO2-Emissionen bewertet, welchen Einfluss die CO2-Emissionen im Vergleich zu anderen Umweltindikatoren, wie Wasserverbrauch, auf die ökologische Nachhaltigkeit des Produkts haben. Das Emissionsreduktionspotenzial spiegelt den Einfluss des Herstellers auf die Umsetzung von Dekarbonisierungsmaßnahmen im CPS wider. Aspekte wie die Fertigungstiefe müssen berücksichtigt werden, um zu beurteilen, ob Maßnahmen direkt oder über die Einbeziehung von Zulieferern umgesetzt werden können. Darüber hinaus gilt es bei der Bewertung zu berücksichtigen, ob sich das Produkt beispielsweise in der Neu- oder Produktgenerationenentwicklung befindet. Die Repräsentativität für das Produktportfolio bewertet schließlich, inwieweit das Produkt und die PCF-Analyse und -Optimierung als Blaupause für andere Produkte dienen können. Durch die Bewertung aller acht Kriterien werden Aufwand und Nutzen der PCF-Bestimmung quantifiziert. Die Bewertung kann anschließend in das Aufwand-Nutzen-Portfolio übertragen werden (vgl. Bild 5).



Bild 5: Aufwand-Nutzen-Portfolio für die Produktauswahl

Das **Aufwand-Nutzen-Portfolio** wird für die Produktauswahl verwendet und kann in vier Segmente unterteilt werden: Initialer, Strategischer, Ausrollender und Finaler PCF. Die bewerteten CPS werden je nach Aufwand und Nutzen der PCF-Bestimmung einem Segment zugeordnet. CPS des Segments „Initialer PCF“ entsprechen einer PCF-Bestimmung mit hohem Nutzen und vergleichsweise geringem Aufwand. Dies sind Produkte, die sich besonders für den Einstieg in die PCF-Berechnung eignen. CPS des Segments „Strategischer PCF“ entsprechen einer PCF-Bestimmung mit hohem Nutzen, aber gleichzeitig hohen Aufwand. Dies sind Produkte mit strategischer Bedeutung, die neben den initialen PCFs so früh wie möglich ermittelt werden sollten, wenn das Unternehmen mit der PCF-Methodik vertraut ist. Das Segment „Ausrollender PCF“ umfasst PCFs mit geringem Nutzen und geringen Aufwand. Es ist sinnvoll, mit diesen Produkten fortzufahren, sobald die initialen und strategischen PCFs bilanziert worden sind und der PCF für das breitere Produktpotfolio bestimmt werden muss. CPS mit einer PCF-Bestimmung mit geringem Nutzen, aber hohen Aufwand gehören zum Segment „Finaler PCF“. Für dieses Produktsegment sollte der PCF zuletzt oder nur bei Bedarf bestimmt werden, da der Nutzen in einem schlechten Verhältnis zum Aufwand steht. Als Ergebnis lässt sich aus dem Portfolio eine Priorisierung der PCF-Bestimmung für das eigene Produktpotfolio ableiten.

Im Anschluss an die Produktauswahl, wird die **funktionelle Einheit** bestimmt, d.h. die Menge eines Produkts, basierend auf der Leistung, die es in seiner Endanwendung erbringt [ADR+20]. Die funktionelle Einheit dient der Vergleichbarkeit mit anderen Produkten [BH22]. Diese sollte in Übereinstimmung mit den Zielen und dem Untersuchungsrahmen der Studie festgelegt werden und dient dazu, eine Bezugsgröße zu schaffen, auf die alle Input- und Output-Prozesse des Produktsystems bezogen werden. Die funktionelle Einheit kann durch die Beschreibung der folgenden vier Merkmale definiert werden: Funktion, Lebensdauer, Quantität und Qualität des Produkts [HJS13, S. 9]. Für CPS können zur Bestimmung der funktionellen Einheit die folgenden **Leitfragen** verwendet werden:

- Zu welchem Zweck wurde das CPS entwickelt?
- Welche Funktion erfüllt das CPS?
- Was ist die typische Lebensdauer?
- Welche Mengen kann das CPS prozessieren?
- Was sind die wichtigsten Qualitätsmerkmale des CPS?
- Welche Quantität/Qualität erwartet der Kunde beim Kauf des CPS?

Die funktionelle Einheit ergibt sich aus den vier aggregierten Merkmalen. Als Beispiel könnte die funktionale Einheit für ein kommerzielles Batteriespeichersystem wie folgt aussehen: Speicherung von 1,74 MWh elektrischer Energie mit einer Leistung von bis zu 920 kW, einem Wirkungsgrad von 99,1% und einer Lebensdauer von 25 Jahren bei einer minimalen Restkapazität von 82%. Darauf aufbauend kann der Referenzfluss beschrieben werden, d.h. die Menge eines Produkts, die zur Bereitstellung der Funktionseinheit benötigt wird [HJS13, S. 25ff.]. Der Referenzfluss kann mit der funktionalen Einheit identisch sein, wenn diese als Produktmenge formuliert wird. Für weitere Hinweise zur Definition der funktionellen Einheit wird auf die Ausführungen nach HOTTENROTH ET AL. verwiesen [HJS13, S. 27f.].

Schließlich wird die **Systemgrenze** festgelegt. Die Systemgrenze bestimmt, welche Prozesse, Inputs und Outputs in die PCF-Bestimmung einbezogen bzw. ausgeschlossen werden [HJS13,

S. 32ff.]. Bei technisch komplexen Produkten, wie z. B. Cyber-Physischen Systemen, ist es ratsam, die Systemgrenze auf Basis der Produktarchitektur einschließlich einer Umfeldanalyse zu bestimmen. Hierfür stehen verschiedene Modellierungssprachen zur Verfügung, wie **CONSENS** [GGT13]. Durch die Beschreibung der Produktarchitektur und des Produktumfelds kann definiert werden, welche Systemelemente in der PCF-Bestimmung enthalten. Neben den Systemgrenzen des Produkts muss auch der Anwendungsbereich definiert werden. Anhand des GHG-Produkt-Standards kann entschieden werden, ob eine Cradle-to-Gate- oder ein Cradle-to-Grave-Betrachtung im Projekt berücksichtigt werden soll. Insbesondere für CPS, die sich durch eine mehrdimensionale Nutzungsphase charakterisieren, wird die Cradle-to-Grave-Betrachtung empfohlen, um ganzheitlich CO₂-Hotspots entlang des gesamten Produktlebenszyklus zu identifizieren. Nach HOTTENROTH ET AL. müssen Abschneidekriterien sowie eine technologische, geografische und zeitliche Abgrenzung beschrieben werden [HJS13, S. 32ff.]. Für die Produktauswahl sowie die Festlegung der funktionellen Einheit und der Systemgrenze gilt es das Kernteam und deren **Kompetenzen** miteinzubeziehen. Als **Ergebnis** liegen nach dem ersten Schritt das beschriebene Ziel, das ausgewählte Produkt, die definierte funktionelle Einheit und die Systemgrenze vor, die die Grundlage für die Erhebung der Daten bilden.

4.2 Daten erheben

Im zweiten Schritt, der Datenerhebung, werden alle Daten, die für die Bestimmung des PCF von CPS relevant sind, identifiziert, gesammelt und strukturiert. Bild 6 gibt einen Überblick über hilfreiche methodische Instrumente sowie die notwendigen Stakeholder.

| Vorgehen | Einsatz von methodischen Instrumenten | Kompetenzen |
|--|--|--|
| 2) Daten erheben 2.1) Daten sammeln und strukturieren 2.2) Datenqualität steigern | <ul style="list-style-type: none"> Sustainability Data Map zur Identifikation und Strukturierung relevanter Daten und deren Quellen Datenanforderungen für eine objektive Vergleichbarkeit Genauigkeitsstufen zur Unterscheidung verschiedener Qualitätsstufen | Kernteam + Produktion + Zulieferer (+ Kunde) |

Bild 6: Zweiter Schritt – Daten erheben

Im Rahmen der **Datensammlung und -strukturierung** sind grundsätzlich zwei Fragen zu beantworten: Welche Daten werden benötigt und wo sind diese zu finden? CPS charakterisieren sich durch eine Vielzahl an mechanischen, elektronischen, informatischen und softwaretechnischen Komponenten (vgl. Kapitel 1), wodurch bereits vielfältige statische Daten für die PCF-Bestimmung benötigt werden. Hinzu kommt die mehrdimensionale und meist kundenindividuelle Nutzungsphase von CPS, die für eine Vielzahl an dynamischen Daten sorgt. Um diese Vielzahl an Daten beherrschbar zu machen, wird auf die **Sustainability Data Map** verwiesen, die bei der Identifizierung und Strukturierung relevanter Daten unterstützt [SKK+23]. Die Sustainability Data Map basiert auf dem Produktlebenszyklus und den einzelnen Produktkomponenten, die sich aus der Stückliste und dem Arbeitsplan ergeben. Darüber hinaus dient sie als workshopbasiertes Medium zur Kommunikation, Integration und Beteiligung aller relevanten Akteure in der Wertschöpfungskette. Neben den **Kompetenzen** aus dem Kernteam bedarf es zusätzlich dem Fachbereich der Produktion für Fragen rund um Arbeitsplan- und Produktionsprozessdaten sowie der Zusammenarbeit mit ausgewählten Zulieferern und optional je nach gewähltem Betrachtungsbereich der Einbindung des Kunden.

Insgesamt sind alle sogenannten Aktivitätsdaten durch die funktionale Einheit, deren Systemgrenzen und die entsprechenden Abgrenzungskriterien definiert. Aktivitätsdaten beschreiben die Input- und Output-Prozesse des Systems, wie Materialmenge, Energieverbrauch etc. [HJS13, S. 39]. Aktivitätsdaten sollten alle Lebenszyklusstadien umfassen, die unter die Definition des Scopes fallen. Daher fallen Daten wie Verwaltungskosten für verschiedene Abteilungen, Dienstreisen, Abschreibungen auf Gebäude, Werkzeuge und andere Investitionsgüter nicht in den Anwendungsbereich des PCF.

Im Zuge der Datenerhebung gilt es fortlaufend die **Datenqualität zu steigern**. Wie in der ISO 14067 definiert, gibt es eine Reihe von **Datenanforderungen**. So sollten die Daten transparent, relevant, vollständig, konsistent und genau sein und Doppelzählungen vermieden werden [14067]. Darüber hinaus müssen die Daten präzise und reproduzierbar sein und Informationen über die Quelle der Daten und die Unsicherheit der Informationen enthalten [14067; DFA22, S. 1ff.]. Um die Datenqualität zu gewährleisten, können sechs verschiedene **Genauigkeitsstufen** unterschieden werden, wobei die Genauigkeit mit jeder Stufe abnimmt. So können (1) Emissionen direkt gemessen werden, (2) der Primärenergieverbrauch oder (3) der Sekundärenergieverbrauch ermittelt werden, (4) andere Betriebsdaten wie z. B. gefahrene Kilometer, (5) Finanzdaten oder (6) Strukturdaten als Aktivitätsdaten verwendet werden [BH22, S. 1ff.]. Aufgrund der Komplexität von CPS ist es nicht immer möglich, alle relevanten Daten in einer Iteration zu erheben, insbesondere bei der erstmaligen Bewertung eines Produkts. Daher kann die Datenerhebung in mehreren Iterationen durchgeführt werden. Es wird empfohlen, die Daten nach der allgemeinen 80/20-Regel zu erheben, d.h. in jeder Iteration 80% der fehlenden Daten zu sammeln. Nach Angaben des VDMA werden für einen vollständigen PCF von Maschinen und Anlagen 95% der CO₂-Emissionen benötigt [BH22]. Die Iterationen sollten entsprechend wiederholt werden, bis der angestrebte Grenzwert erreicht ist. Als **Ergebnis** liegen alle relevanten Aktivitätsdaten in Form einer Datenmatrix vor. Basierend auf den erhobenen Daten lassen sich im nächsten Schritt die ökologischen Auswirkungen quantifizieren.

4.3 Auswirkungen quantifizieren

Im dritten Schritt, der Quantifizierung der Auswirkungen, wird eine Wirkungsabschätzung basierend auf den erhobenen Daten durchgeführt. Das dafür notwendige methodische Hilfsmittel und die benötigten Kompetenzen sind in Bild 7 dargestellt.



Bild 7: Dritter Schritt – Auswirkungen quantifizieren

Die **Quantifizierung der Auswirkungen** gelingt durch Kombination der Daten mit relevanten Emissionsfaktoren. Mit Hilfe der Emissionsfaktoren werden die Daten in CO₂-Äquivalente (CO₂e) umgerechnet und damit für Vergleiche standardisiert. Dazu wird die folgende etablierte Formel verwendet [Sch22-ol, S. 1ff.]:

$$\text{Aktivitätsdaten} * \text{Emissionsfaktoren} = \text{CO}_2 \text{ Fußabdruck}$$

Die Gleichung beschreibt, dass die CO₂-Äquivalente einer funktionellen Einheit durch Multiplikation der Aktivitätsdaten mit Emissionsfaktoren berechnet werden. Zum Beispiel würde ein Produkt, das aus 42,3 kg Edelstahlblech mit einem Emissionswert von 5,18414 tCO₂e/t besteht, 0,219 tCO₂e ergeben. Bei der Wahl des Emissionsfaktors für Materialien müssen Faktoren wie das Herkunftsland und der Herstellungsprozess berücksichtigt werden. Der Zugang zu einer **Datenbank** mit Emissionsfaktoren ist unerlässlich. Es existieren sowohl kostenpflichtige (z. B. EcoInvent) als auch kostenfreie Alternativen. Alle CO₂e-Datenpunkte müssen addiert werden, um den endgültigen Wert für die Wirkungskategorie Klimawandel der funktionellen Einheit zu erhalten. In diesem Schritt ist die PCF-Expertise die zentrale **Kompetenz**, die bedarfsgerecht um Input aus dem Einkauf, der Entwicklung und Produktion ergänzt werden sollte. Das **Ergebnis** der Quantifizierung der Auswirkungen ist der CO₂-Fußabdruck. Dieser dient als quantitatives Maß für die CO₂-Emissionen, die über den betrachteten Lebenszyklus des CPS emittiert werden und bildet die Grundlage für die Identifikation der CO₂-Hotspots.

4.4 Ergebnisse überprüfen und CO₂-Hotspots identifizieren

Gegenstand des vierten Schritts ist die Überprüfung der Ergebnisse und die Identifikation der CO₂-Hotspots. Bild 8 zeigt die relevanten Teilschritte, hilfreiche methodische Instrumente sowie notwendige Kompetenzen.

| Vorgehen | Einsatz von methodischen Instrumenten | Kompetenzen |
|---|---|---|
| <p>4) Ergebnisse überprüfen und CO₂-Hotspots identifizieren</p> <p>4.1) Ergebnisse überprüfen 4.2) CO₂-Hotspots identifizieren 4.3) Ergebnisse berichten</p> | <ul style="list-style-type: none"> Bewertungskriterien für kritische Ergebnisüberprüfung ABC-Analyse zur Charakterisierung der CO₂-Hotspots Anforderungen an die Berichterstattung | PCF-Analyst (+ externer PCF-Experte) |

Bild 8: Vierter Schritt – Ergebnisse überprüfen und CO₂-Hotspots identifizieren

Nach der Durchführung der Wirkungsabschätzung gilt es zunächst die **Ergebnisse zu überprüfen**. Je nach Zielsetzung der Evaluation können die Ergebnisse optional kommuniziert werden. Die Überprüfung der Ergebnisse kann für die gesamte Bewertungsmethodik oder für einzelne CO₂-Fußabdrücke erfolgen. Die Durchführung der Bewertung erfolgt entweder durch einen internen oder externen PCF-Experten [BH22, S. 1ff.]. HOTTENROTH ET AL. definieren **Bewertungskriterien** für eine kritische Prüfung der Ergebnisse, die als Referenz herangezogen werden können [HJS13, S. 75]. Für die Überprüfung der Ergebnisse sowie die weiteren Teilschritte bedarf es der **Kompetenz** des PCF-Analysten.

Im Rahmen der **Identifikation der CO₂-Hotspots** gilt es die größten Stellhebel zur effektiven Dekarbonisierung zu identifizieren. Zur Charakterisierung der CO₂-Hotspots kann die **ABC-Analyse** herangezogen werden. Demnach werden die Hotspots die kumulativ 80% der Emissionen des Produkts entsprechen zu A-Hotspots klassifiziert, die weiteren 15% zu B-Hotspots und alle weiteren zu C-Hotspots. Für die A-Hotspots gilt es im nächsten Schritt gezielt Dekarbonisierungsmaßnahmen zu ermitteln. In diesem Schritt kann auch eine Interpretation der Ergebnisse bspw. im Vergleich zu anderen Produkten mit gleicher Funktionseinheit durchgeführt werden, um etwaige Vor- und Nachteile zu identifizieren und so zusätzliche Dekarbonisierungshebel zu identifizieren.

Wenn das Ziel der Bewertung eine ISO-Zertifizierung ist, ist das **Berichten der Ergebnisse** erforderlich. Der Bericht muss alle Datenquellen, die Datenqualität sowie Maßnahmen zur Verbesserung der Datenqualität für alle relevanten Prozesse enthalten [HJS13, S. 81f.]. Die Ergebnisse müssen auf Basis der funktionalen Einheit und der Systemgrenze berichtet werden [HJS13, S. 108]. Weitere Informationen zu den **Anforderungen** an die Berichterstattung finden sich in den einschlägigen ISO-Normen, wie der ISO 14067. Als **Ergebnis** sind die CO2-Hotspots bekannt, die die Basis für die Ermittlung der Dekarbonisierungsmaßnahmen bilden.

4.5 Dekarbonisierungsmaßnahmen ermitteln

Der fünfte Schritt zielt auf die Ermittlung von Dekarbonisierungsmaßnahmen ab. Hierzu werden individuelle und generische Maßnahmen gesammelt und priorisiert (vgl. Bild 9).

| Vorgehen | Einsatz von methodischen Instrumenten | Kompetenzen |
|--|---|---|
| <p>5) Dekarbonisierungsmaßnahmen ermitteln</p> <p>5.1) Individuelle Maßnahmen generieren</p> <p>5.2) Generische Maßnahmen ableiten</p> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Think-Pair-Share-Methode</i> zur Ideengenerierung • <i>Maßnahmenkatalog</i> zur Ableitung generischer Maßnahmen | <p>Kernteam + Produktion + Qualitätsmanagement + Zulieferer (+ Kunde)</p> |

Bild 9: Fünfter Schritt – Dekarbonisierungsmaßnahmen ermitteln

Die Ermittlung der Dekarbonisierungsmaßnahmen markiert den Übergang von der PCF-Analyse nach ISO 14067 hin zu einer modifizierten Wertanalyse gemäß EN 12973, die die Grundlage für die PCF-Optimierung bildet. In Abhängigkeit der ermittelten CO2-Hotspots aus dem vierten Schritt sollte das Kompetenzteam für diesen Schritt zusammengestellt werden. Grundsätzlich bietet es sich an Kompetenzen der folgenden Bereiche zu inkludieren: Kernteam (inkl. PCF-Analyst, Nachhaltigkeitsmanagement, Einkauf und Entwicklung) ergänzt um die Fachbereiche der Produktion und des Qualitätsmanagements. Die Einbindung von Zulieferern und Kunden kann zudem eine wertvolle Erweiterung der Expertise und des Know-hows darstellen, um Lösungsideen für die vor- und nachgelagerte Wertschöpfungskette zu integrieren. Es wird empfohlen diesen Schritt als interaktiven Workshop zu gestalten. Für eine möglichst umfangreiche Ermittlung von Maßnahmen bietet sich ein zweischrittiges Teilverfahren an, indem zunächst individuelle Maßnahmen generiert werden, die anschließend durch generische Maßnahmen komplementiert werden. Bei der Generierung individueller Maßnahmen geht es zunächst darum für die einzelnen A-Hotspots quantitative Lösungsideen zu sammeln. Hier bietet sich der Einsatz von Kreativitätstechniken, wie die Think-Pair-Share-Methode (TPS) oder Brainstorming-Methode an. Ein Vorteil der TPS ist das dreistufige sowohl individuelle als auch kooperative Vorgehen. Dadurch finden einerseits die Ideen aller Teilnehmenden Berücksichtigung und werden gleichzeitig zu den vielversprechendsten Ideen kondensiert.

Im zweiten Teilschritt, der Ableitung von generischen Maßnahmen, geht es darum bereits bekannte Dekarbonisierungsmaßnahmen aus Best Practices oder etablierte Maßnahmen aus dem Ökodesign auf das eigene Produkt zu transferieren. Dazu bieten sich generische Maßnahmenkataloge an, wie die Sammlung von Ökodesign-Maßnahmen im Ecodesign PILOT nach WIMMER und ZÜST¹. Je nach Produkt bietet sich eine Vorauswahl an Maßnahmen an, aufbereitet in

¹ Die Ökodesign-Maßnahmen nach WIMMER und ZÜST sind online einsehbar unter <http://pilot.ecodesign.at>

Steckbriefen, die im Workshop im Hinblick auf eine mögliche Übertragbarkeit auf das eigene Produkt diskutiert werden.

Zum Abschluss des Workshops steht die Priorisierung der Maßnahmen an. Dazu müssen die gesammelten Maßnahmen durch die Anwesenden nach Effektivität bewertet werden, wobei auf eine detaillierte Betrachtung der einzelnen Aspekte vorerst verzichtet wird. Auf Basis der Erstbewertung erfolgt eine Selektion der vielversprechendsten Maßnahmen pro CO2-Hotspot, wobei eine Anzahl von drei bis fünf Maßnahmen als Zielgröße definiert wird. Die übrigen Ansätze werden in einen Ideenspeicher für spätere Betrachtungen überführt. Als Ergebnis liegt eine priorisierte Auswahl an Maßnahmen zur Dekarbonisierung basierend auf den CO2-Hotspots vor. Diese Auswahl an Maßnahmen wird im nächsten Schritt detailliert und bewertet.

4.6 Dekarbonisierungsalternativen bewerten

Das Ziel des sechsten Schritts besteht in der Entwicklung von qualitativen Dekarbonisierungsalternativen. Dazu werden die Maßnahmen zu Alternativen detailliert, bewertet und deren Auswirkungen auf das Produkt untersucht (vgl. Bild 10).

| Vorgehen | Einsatz von methodischen Instrumenten | Kompetenzen |
|---|--|--|
| 6) Dekarbonisierungsalternativen bewerten 6.1) Maßnahmen in Alternativen detaillieren 6.2) Alternativen bewerten 6.3) Einflüsse analysieren | <ul style="list-style-type: none"> • Morphologischer Kasten zur Detaillierung der Lösungs Ideen • Bewertungskriterien zur Bewertung der Alternativen • Design-Structure-Matrix zur Analyse der Einflüsse einzelner Maßnahmen auf das Produkt | Kernteam + Produktion + Qualitätsmanagement + Zulieferer (+ Kunde) |

Bild 10: Sechster Schritt – Dekarbonisierungsalternativen bewerten

Die **Detaillierung der Alternativen** kann durch einen **morphologischen Kasten** unterstützt werden. Hierzu werden die Dekarbonisierungsmaßnahmen in der ersten Spalte nach priorisierter Reihenfolge aufgenommen und in der jeweiligen Zeile ausdetailliert. Beispielsweise kann die Dekarbonisierungsmaßnahme eines alternativen Fertigungsverfahrens durch Gießen, Fräsen, Drehen, etc. erfüllt werden. Diese Detaillierung hilft dabei einen umfangreichen Überblick über mögliche Alternativen zu erhalten.

Im Anschluss erfolgt eine mehrdimensionale **Bewertung der ausgewählten Alternativen**, die in Einzelarbeit durchgeführt wird. Als Empfehlung sollten nachfolgende **Bewertungskriterien** und Verantwortlichkeiten herangezogen werden: Die Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit erfolgt durch den PCF-Analysten sowie das Nachhaltigkeitsmanagement. Als Bewertungsgrundlage dienen Standarddatensätze, beispielsweise aus Ecoinvent, aktuelle Forschungsergebnisse oder individuelle Simulationen, beispielsweise in openLCA. Im Rahmen der Bewertung der technischen Machbarkeit erfolgt eine Einschätzung durch die Abteilungen Entwicklung, Produktionstechnik und Qualitätsmanagement. Die Bewertung der wirtschaftlichen Tragfähigkeit sollte durch den Einkauf und die Entwicklung erfolgen. Dazu gehört eine Abschätzung der Investitions- und Betriebskosten sowie des Einflusses der Alternative auf die Total-Cost-of-Ownership des jeweiligen CPS. Weiterhin wird empfohlen, die Bewertung der gesellschaftlichen Akzeptanz anhand von ausgewählten Kunden durchzuführen sowie ggfs. durch eine Marktanalyse zu fundieren.

Weiterhin sollte die **Analyse des Einflusses** einzelner Alternativen auf das Produkt bzw. dessen Architektur in diesem Schritt durchgeführt werden. Die **Design Structure Matrix** (DSM) stellt eine geeignete Methode dar, um den Einfluss der Dekarbonisierungsalternativen auf weitere Teilsysteme des Produkts abzubilden und zu untersuchen. Als **Ergebnis** sollten pro CO2-Hotspot drei bis fünf bewertete Dekarbonisierungsalternativen vorliegen.

4.7 Ganzheitliche Dekarbonisierungskonzepte entwickeln

Der siebte Schritt zielt auf die Aggregation der Dekarbonisierungsalternativen zu ganzheitlichen Konzepten ab. Dementsprechend gilt es zunächst die Abhängigkeiten einzelner qualitativer Alternativen untereinander zu analysieren und diese anschließend in Konzeptvorschlägen zu aggregieren und ein Konzept auszuwählen (vgl. Bild 11).

| Vorgehen | Einsatz von methodischen Instrumenten | Kompetenzen |
|---|--|---|
| <p>7) Ganzheitliche Dekarbonisierungskonzepte entwickeln</p> <p>7.1) Abhängigkeiten analysieren</p> <p>7.2) Alternativen in mehreren Konzeptvorschlägen strukturieren</p> <p>7.3) Konzept auswählen</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Kraftfeldanalyse zur Analyse der treibenden und hindernden Faktoren • Aktiv-Passiv-Analyse zur Strukturierung der Maßnahmen | <p>Kernteam + Produktion + Qualitätsmanagement + Zulieferer (+ Kunde)</p> |

Bild 11: Siebter Schritt – Ganzheitliche Dekarbonisierungskonzepte entwickeln

Für die **Analyse der Abhängigkeiten der Alternativen** bietet sich die **Kraftfeldanalyse** an. Damit lassen sich unterstützende und hindernde Faktoren identifizieren. Im Kontext der Dekarbonisierung kommt es häufig zu sogenannten Rebound-Effekten, d.h. eine bestimmte Dekarbonisierungsalternative hat bspw. einen positiven Einfluss auf die Nutzungsphase, allerdings einen negativen auf die Herstellungsphase. Diese Unsicherheiten lassen mithilfe der Kraftfeldanalyse berücksichtigen, um derartige Rebound-Effekte zu minimieren.

Zur Entwicklung eines ganzheitlichen Konzepts ist die **Strukturierung der Alternativen** eine wichtige Voraussetzung. Dabei geht es darum, die Alternativen in eine sachlogische Reihenfolge zu bringen. Beispielsweise ist für die Realisierung von upgradefähigen CPS die Modularität des Grundsystems eine zwingende Voraussetzung. Um derartige direkte oder indirekte Abhängigkeiten zu berücksichtigen, kann eine **Einflussanalyse** nach GAUSEMEIER und PLASS durchgeführt werden [GP14, S. 51ff.]. Im Anschluss werden die Alternativen gemäß ihrer Abhängigkeiten zu Konzeptvorschlägen aggregiert.

Im nächsten Teilschritt erfolgt die Präsentation der Ergebnisse vor den Entscheidern im Unternehmen. Sofern mehrere Gesamtlösungen existieren, ist eine Gegenüberstellung der jeweiligen Vor- und Nachteile erforderlich. Als **Ergebnis** sollte ein Dekarbonisierungskonzept ausgewählt werden, mit dem das initial definierte Ziel realisiert werden kann. Das Konzept dient als Grundlage für die Dekarbonisierungsroadmap.

4.8 Dekarbonisierungsroadmap implementieren

Im achten Schritt wird das ausgewählte Konzept in eine Roadmap überführt. Neben der Entwicklung nimmt vor allem die Implementierung eine wichtige Rolle ein (vgl. Bild 12).

| Vorgehen | Einsatz von methodischen Instrumenten | Kompetenzen |
|--|---|---|
| 8) Dekarbonisierungsroadmap implementieren 8.1) Roadmap entwickeln 8.2) Roadmap implementieren | <ul style="list-style-type: none"> Umsetzungsroadmap zur Strukturierung der Implementierung Projektmanagement, Netzplantechnik, Projekt-Controlling | Kernteam + Entscheider Realisierungsteam |

Bild 12: Achter Schritt – Dekarbonisierungsroadmap implementieren

Im Rahmen der **Entwicklung der Roadmap** gilt es Verantwortlichkeiten festzulegen, einen Zeitplan zu erstellen und Ressourcen bereitzustellen. Ein praktisches und bereits etabliertes Hilfsmittel stellt die **Umsetzungsroadmap** dar, aus der hervorgeht, wann welche Maßnahmen umzusetzen sind [GP14, S. 331]. Wichtige **Kompetenzen**, um eine derartige Roadmap zu erarbeiten, stellen in diesem Kontext das Kernteam und die Entscheider im Unternehmen dar.

Im Anschluss an die Erstellung kann mit der **Implementierung der Roadmap** begonnen werden. Gemäß Wertanalyse werden für den Umsetzungsschritt Hilfsmittel wie **Projektmanagement, Netzplantechnik** oder **Projekt-Controlling** empfohlen [Wie11, S. 51f.]. Da in vielen Unternehmen verschiedene Instrumente im Umlauf sind, wird empfohlen auf eigenen, etablierten Hilfsmittel zurückzugreifen. Gemäß der festgelegten Verantwortlichkeiten übernimmt ab diesem Teilschritt das Realisierungsteam die Umsetzung der Maßnahmen.

Als **Ergebnis** des achten Schritts liegt mit der Roadmap ein konkreter Plan für die Dekarbonisierung des zu betrachtenden Systems vor, den es zu implementieren gilt. Im Anschluss an die Implementierung der Dekarbonisierungsroadmap gilt es iterativ mit der Analyse des CO2-Fußabdrucks erneut fortzufahren, um die Auswirkungen der ergriffenen Maßnahmen zu bewerten.

5 Anwendung und kritische Reflektion

Das Vorgehen zur Dekarbonisierung von Cyber-Physischen Systemen wurde in einem Forschungsprojekt mit einem Hersteller von intelligenten industriellen Ventilen aus dem Maschinen- und Anlagenbau angewendet. Als Ergebnis der **Anwendung** wurde der CO2-Fußabdruck des Produkts bestimmt und zwei effektive Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen identifiziert und für das Produkt simuliert. Im Folgenden wird die Anwendung anhand der acht Schritte des Vorgehensmodells skizziert.

Im **ersten Schritt** wurde das Projektziel in einem Kick-Off Meeting formuliert. Im Rahmen des Anwendungsbeispiels zielt die Bestimmung des PCF darauf ab, Transparenz über entstehende CO2-Emissionen zu schaffen, gesetzliche Vorgaben einzuhalten und die Produkte wettbewerbsfähiger, wirtschaftlicher und ökologisch nachhaltiger zu gestalten. Bei der Produktauswahl wurde anhand der Aufwands- und Nutzenkriterien ein repräsentatives und strategisch bedeutungsvolles Produkt ausgewählt. Für das ausgewählte Produkt wurde im Anschluss das Umfeld sowie die Produktarchitektur mit den sechs Hauptkomponenten mittels CONSENS modelliert, um das Produkt zu verstehen und die Systemgrenze festzulegen. Da es sich um die erste PCF-Bestimmung des Unternehmens handelte, wurde zunächst ein Cradle-to-Gate PCF bestimmt. Im **zweiten Schritt** wurden basierend auf der Stückliste und dem Arbeitsplan relevante Daten erhoben. Dazu wurde die Sustainability Data Map in einem Workshop mit einem ausgewählten Zulieferer angewandt, um relevante Daten zu identifizieren und zu strukturieren. Die

Daten wurden im Anschluss in einem iterativen Vorgehen anhand der Stückliste und des Arbeitsplans und in Zusammenarbeit mit einigen Zulieferern gesammelt und in einer Datenmatrix zusammengetragen. Im **dritten Schritt** wurden die Auswirkungen durch Kombination der gesammelten Daten mit Emissionsfaktoren aus EcoInvent als Datenbank quantifiziert. Im **vierten Schritt** wurden im Zuge der Ergebnisinterpretation die CO2-Hotspots identifiziert. Für das Anwendungsbeispiel zeigte sich, dass vor allem die Materialien und Produktionsverfahren der Gusssteile für den Großteil der Emissionen verantwortlich sind. Damit stellen die Gussmaterialien sowie das Gussverfahren die größten Hebel zur Dekarbonisierung des Produkts dar und wurden entsprechend ABC-Analyse als A-Hotspots klassifiziert. Basierend auf den identifizierten A-Hotspots wurden im **fünften Schritt** im Rahmen eines Workshops Ideen für die Dekarbonisierung der beiden Hotspots gesammelt und um generische Maßnahmen aus einem Maßnahmenkatalog komplementiert. Als Ergebnis konnten insgesamt fünf konkrete Maßnahmen ausgewählt werden, die im **sechsten Schritt** bewertet wurden. Die Bewertung erfolgte anhand der vier Bewertungsdimensionen (ökologische Nachhaltigkeit, technische Machbarkeit, wirtschaftliche Tragfähigkeit und gesellschaftliche Akzeptanz) und unter Nutzung von CAD- und Ökobilanzierungssoftware sowie im Fachgespräch mit Experten aus dem Unternehmen. Als Ergebnis der Bewertung wurden zwei Maßnahmen identifiziert, mittels derer sich die Emissionen um 10% reduzieren lassen bei gleichzeitig minimal geringeren Herstellkosten. Im **siebten Schritt** wurden die beiden Maßnahmen zu einem Dekarbonisierungskonzept aggregiert. Bei den beiden Maßnahmen handelt es sich jeweils um eine Umstellung des Herstellungsverfahrens, die sich nicht gegenseitig bedingen. Dementsprechend können beide Maßnahmen ohne bestehende Abhängigkeit umgesetzt werden. Die Ergebnisse wurden in einem Abschlussworkshop gemeinsam mit den Entscheidern diskutiert. Im **achten Schritt** wird nun geprüft, wann mit der Umsetzung der beiden Maßnahmen begonnen werden kann.

Die **kritische Reflektion** des Praxisbeispiels zeigt, dass der bilanzierte CO2-Fußabdruck eine effektive Ermittlung von Dekarbonisierungsmaßnahmen ermöglicht. Die generelle Anwendbarkeit des Modells sowie die nutzenbringende integrative Betrachtung der beiden Handlungsfelder, bestehend aus der Analyse und der Optimierung, konnten damit nachgewiesen werden. Die Evaluierung der Anwendungserfahrung hat jedoch aufgezeigt, dass das Modell gewisse Limitationen aufweist. So stellt die Bottom-Up-Bestimmung des CO2-Fußabdrucks auf Basis der Stückliste und des Arbeitsplans zwar eine sehr detaillierte Entscheidungsgrundlage für die anschließende Optimierung dar, allerdings ist diese Art der Bilanzierung auch mit einem hohen Zeitaufwand verbunden. Zur Steigerung der Effektivität der Maßnahmen empfiehlt es sich, neben der Komponenten- ebenfalls die Funktionsstruktur zu berücksichtigen und die CO2-Hotspots und Maßnahmen ebenfalls auf die Funktionen des Produkts zu übertragen. Die Fokussierung auf inkrementelle Weiterentwicklungen und die fehlende Berücksichtigung radikaler Lösungen stellte eine Limitation des Vorgehensmodells dar. Die Entwicklung radikaler Lösungen und neuer Produktkonzepte erfordert innovative Methoden und Techniken zur Lösungsfindung, die mit dem in diesem Beitrag angestrebten maßnahmenorientierten Ansatz nicht vereinbar sind.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend wurde in diesem Beitrag ein iteratives Vorgehensmodell zur integrativen Analyse und Optimierung des CO2-Fußabdrucks speziell für Cyber-Physischen Systeme vorgestellt. CPS konstituieren sich durch eine Vielzahl domänenübergreifender Komponenten und eine mehrdimensionale Nutzungsphase, wodurch einerseits das große Potenzial von CPS für die Dekarbonisierung entsteht. Andererseits bedingt dies eine Vielzahl an Herausforderungen in Bezug auf die Analyse und Optimierung des CO2-Fußabdrucks dieser Systeme. Mit der Produktkonzipierung, innerhalb derer 80% der Lebenszyklusemissionen eines Produkts festgelegt und beeinflusst werden können, stellen vor allem die frühen Phasen der Produktentwicklung den größten Ansatzpunkt zur Dekarbonisierung von Produkten dar. Vor diesem Hintergrund wurden relevante Ansätze der PCF-Bestimmung und des Ökodesigns analysiert, wobei keine adäquaten Lösungsansätze zur Adressierung der praktischen Herausforderungen bereitstehen. Um dem daraus abgeleiteten Forschungsbedarf gerecht zu werden, wurde das achtschrittige Vorgehensmodell entwickelt. Das Vorgehen charakterisiert sich durch die integrative Betrachtung der Analyse und Optimierung des CO2-Fußabdrucks und stellt dabei für alle Schritte methodische Unterstützung bereit. Die Anwendung des Modells anhand eines realen Praxisbeispiels verdeutlicht die nutzenbringende Unterstützung und Effektivität der erzielten Ergebnisse, mittels derer die Emissionen des Anwendungsbeispiels um 10% bei gleichzeitig geringeren Herstellkosten realisiert werden konnten.

Gleichzeitig wurde durch die Anwendung weiterer **Forschungsbedarf** abgeleitet. Demnach erscheint den Autoren eine Erweiterung des Vorgehensmodells um weitere Umweltkategorien als vielversprechend, um die ökologische Nachhaltigkeit ganzheitlicher mittels Ökobilanzierung bewerten zu können. Weiterhin gilt es zu prüfen, inwiefern die identifizierten CO2-Hotspots anstelle von Komponenten zu Funktionen zugewiesen werden können. Darüber hinaus differenziert das Modell bisher nicht ausreichend zwischen der Komponenten-, Modul- und Systemebene, die wesentliche Bestandteile von CPS sind. Die Differenzierung nach den Ebenen könnte eine noch effektivere Zuordnung der Dekarbonisierungsmaßnahmen ermöglichen. Schließlich ist die Anwendung des Vorgehensmodells auf weitere Produkte erforderlich, um zusätzliche Erkenntnisse in Bezug auf eine mögliche Weiterentwicklung zu gewinnen.

Literatur

- [ADR+20] ARZOUMANIDIS, I.; D'EUSANIO, M.; RAGGI, A.; PETTI, L.: Functional Unit Definition Criteria in Life Cycle Assessment and Social Life Cycle Assessment: A Discussion. In: Traverso, M.; Petti, L.; Zamagni, A. (Eds.): Perspectives on Social LCA, 2020, Springer International Publishing, Cham
- [ZVE23]: Berechnung eines CO2-Fußabdrucks - Anwendungsbeispiel Steckverbinder - Anforderungen, Herausforderungen, Umsetzung, 2023
- [BCB+11] BHATIA, P.; CUMMIS, C.; BROWN, A.; DRAUCKER, L.; RICH, D.; LAHD, H.: Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard, 2011
- [Bit24-ol] BITKOM E.V.: Klimaeffekte der Digitalisierung 2.0 - Studie zur Abschätzung des Beitrags digitaler Technologien zum Klimaschutz in Deutschland
- [Bv97] BREZET, H.; VAN HEMEL, C.: Ecodesign - A promising approach to sustainable production and consumption. U.N.E.P, [S.I.], 1997

- [Bro10] BROY, M. - Cyber-Physical Systems - Wissenschaftliche Herausforderungen bei der Entwicklung. In: Broy, M. (Ed.): Cyber-Physical Systems - Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme ; [acatech Symposium, 2010, Springer; Acatech Dt. Akad. d.Technikwiss, Berlin, Heidelberg, München
- [BH22] BRÜCKNER, S.; HARLOS, H. L.: VDMA-Guideline: Berechnung des Product Carbon Footprint im Maschinen- und Anlagenbau, 2022
- [CMG13] CARVALHO, A.; MATOS, H. A.; GANI, R.: SustainPro—A tool for systematic process analysis, generation and evaluation of sustainable design alternatives. *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 50, 2013
- [Cat22] CATENA-X: Product Carbon Footprint Rulebook, 2022
- [CFH+22] CLEMENS, R.; FRITSCHE, V.; HERRING, D.; SCHLEYER, T.; LAUFENBERG, K. von; BRÜCKNER, S.; KÜHMANN, T.; HEERING, M.; SCHWARZKOPF, P.; YÜKSEL, F.: Nachhaltigkeit – Chance für den Maschinen- und Anlagenbau in Deutschland - Industrieperspektive mit Schwerpunkt Nahrungsmittelmaschinen und Verpackungsmaschinen, 2022
- [DFA22] DAMIANI, M.; FERRARA, N.; ARDENTE, F.: Understanding Product Environmental Footprint and Organisation Environmental Footprint methods, 2022
- [DJR+23] DEHIO, J.; JANßen-TIMMEN, R.; ROTHGANG, M.; RAMESOHL, S.; BIEHLER, J.; GRÜNKE, P.; STEINER, T.; SCHMIDT, C. M.: Digitainability - Digitale Schlüsseltechnologien für ökologisch nachhaltiges Wirtschaften: Marktpotenziale und strategische Implikationen. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2023
- [14067]: DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2019
- [Dod23-ol] DODD, T.: European Sustainability Reporting Standards - Presentation to EFRAG SRB, 11. November 2023
- [DKS+18] DUMITRESCU, R.; KÜHN, A.; STEFFEN, D.; THIELEMANN, F.: Entwicklung intelligenter technischer Systeme. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, Vol. 113, Iss. 6, 2018
- [FMO+22] FUCHS, S.; MOHR, S.; OREBÄCK, M.; RYS, J.: Product sustainability: Back to the drawing board, 2022
- [GGT13] GAUSEMEIER, J.; GAUKSTERN, T.; TSCHIRNER, C.: Systems Engineering Management Based on a Discipline-Spanning System Model. *Procedia Computer Science*, Vol. 16, 2013
- [GP14] GAUSEMEIER, J.; PLASS, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung - Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. Hanser, München, 2., überarb. Aufl., 2014
- [Hos20-ol] HOSP, M.-T.: Welchen Beitrag der Maschinenbau zur Dekarbonisierung leisten kann. Unter: https://www.ey.com/de_de/decarbonization/welchen-beitrag-der-maschinenbau-zur-dekarbonisierung-leisten-kann, 11. November 2023
- [HJS13] HOTTENROTH, H.; JOA, B.; SCHMIDT, M.: Carbon Footprints für Produkte - Handbuch für die betriebliche Praxis kleiner und mittlerer Unternehmen. Verl.-Haus Monsenstein und Vannerdat, Münster, 2013
- [JBB+24] JELINEK, T.; BHAVE, A.; BUCHOUD, N.; BÜHLER, M. M.; GLAUNER, P.; INDERWILDI, O.; KRAFT, M.; MOK, C.; NÜBEL, K.; VOSS, A.: International Collaboration: Mainstreaming Artificial Intelligence and Cyberphysical Systems for Carbon Neutrality. *IEEE Transactions on Industrial Cyber-Physical Systems*, Vol. 2, 2024
- [KK23-ol] KÄMMLER-BURRAK, A.; KRUCK, F.: Sustainability as a top priority on the corporate agenda. Unter: <https://www.horvath-partners.com/en/media-center/featured-articles/sustainability-as-a-top-priority-on-the-corporate-agenda#:~:text=Driven%20by%20stakeholder%20demands%20and,role%20for%20long%2Dterm%20development.>, 11. November 2023
- [LE13] LINDAHL, M.; EKERMANN, S.: Structure for Categorization of EcoDesign Methods and Tools. In: Nee, A. Y. C.; Song, B.; Ong, S.-K. (Eds.): *Re-engineering Manufacturing for Sustainability*, 2013, Springer Singapore, Singapore

- [LWA+17] LIPSMEIER, A.; WESTERMANN, T.; ANACKER, H.; DUMITRESCU, R.: Mechatronic Modularization of Intelligent Technical Systems. Proceedings of the 21st International Conference on Engineering Design (ICED17),, 2017
- [LZX+18] LU, Q.; ZHOU, G.-H.; XIAO, Z.-D.; CHANG, F.-T.; TIAN, C.-L.: A selection methodology of key parts based on the characteristic of carbon emissions for low-carbon design. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 94, Iss. 9-12, 2018
- [MP21] MCALOONE, T. C.; PIGOSSO, D. C. A.: Ökodesign. In: Bender, B.; Gericke, K. (Eds.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre, 2021, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg
- [Mey20] MEYER, G.: Grüne Technologien für grünes Geschäft, 2020
- [MW22] MIKLAUTSCH, P.; WOSCHANK, M.: A framework of measures to mitigate greenhouse gas emissions in freight transport: Systematic literature review from a Manufacturer's perspective. Journal of Cleaner Production, Vol. 366, 2022
- [PTG+07] PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; GENGLER, C. E.; ROSSI, M.; HUI, W.; VIRTANEN, V.; BRAGGE, J.: The Design Science Research Process: - A Model for Producing and Presenting Information Systems Research. DESRIST 2006 Proceedings, Vol. 2006, 2007
- [PRM13] PIGOSSO, D. C.; ROZENFELD, H.; MCALOONE, T. C.: Ecodesign maturity model: a management framework to support ecodesign implementation into manufacturing companies. Journal of Cleaner Production, Vol. 59, 2013
- [RGB+17] ROUSSEAUX, P.; GREMY-GROS, C.; BONNIN, M.; HENRIEL-RICORDEL, C.; BERNARD, P.; FLOURY, L.; STAIGRE, G.; VINCENT, P.: "Eco-tool-seeker": A new and unique business guide for choosing ecodesign tools. Journal of Cleaner Production, Vol. 151, 2017
- [RFK+22] RUF, Y.; FRANS, D.; KOROLEVA, D.; RABE, J.; ELSEN, S.; GEISLER, G.; VERVANDIER, A.; MYTSAK, U.; POLISHCHUK, O.: Accelerating decarbonization, 2022
- [Sch22-ol] SCHAEFFLER: Product Carbon Footprint | How-to Guide. Unter: https://www.schaeffler.de/remotedien/media/_shared_media_rwd/01_company_1/suppliers_4/sustainability_1/carbon_footprint-calculation_insight_en.pdf, 11. November 2023
- [SKK+23] SCHREINER, N.; KÜRPICK, C.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Sustainability Data Map (In Print) - Framework for Data-Based Product Carbon Footprinting of Technical Products, 2023
- [SV21] STERN, N.; VALERO, A.: Innovation, growth and the transition to net-zero emissions. Research policy, Vol. 50, Iss. 9, 2021
- [Thi18] THIEDE, S.: Environmental Sustainability of Cyber Physical Production Systems. Procedia CIRP, Vol. 69, 2018
- [Thi22] THIEDE, S.: Cyber Physical Production Systems and Their Role for Decarbonization of Industry. In: Inderwildi, O.; Kraft, M. (Eds.): Intelligent Decarbonisation - Can Artificial Intelligence and Cyber-Physical Systems Help Achieve Climate Mitigation Targets?, 2022, Springer International Publishing; Imprint Springer, Cham
- [ER23] VAN ERP, T.; RYTTER, N.: Design and operations framework for the Twin Transition of manufacturing systems. Advances in Production Engineering & Management, Vol. 18, Iss. 1, 2023
- [VS06] VEZZOLI, C.; SCIAMA, D.: Life Cycle Design: from general methods to product type specific guidelines and checklists: a method adopted to develop a set of guidelines/checklist handbook for the eco-efficient design of NECTA vending machines. Journal of Cleaner Production, Vol. 14, Iss. 15-16, 2006
- [WBC21] Pathfinder Framework - Guidance for the Accounting and Exchange of Product Life Cycle Emissions, 2021
- [Wie11] WIEST, R.: Der Wertanalyse-Arbeitsplan: Wertanalyse - das Tool im Value Management, 2011, Springer, Berlin, Heidelberg u. a.
- [WZ03] WIMMER, W.; ZÜST, R.: ECODesign Pilot - Produkt-Innovations-, Lern- und Optimierungs-Tool. Verlag Industrielle Organisation, TestOrt, 2003

Autoren

M.Sc. Nick Schreiner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung „Corporate Innovation“ am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM in Paderborn. Dort ist er in Forschungs- und Industrieprojekte mit einem Fokus auf die Nachhaltigkeitsanalyse und -optimierung von Cyber-Physischen Systemen im Rahmen der strategischen Produktplanung tätig. Er studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der RWTH Aachen und Maschinenbau an der Tsinghua Universität.

M.Sc. Felix Siems ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung „Scientific Automation“ am Fraunhofer IEM in Paderborn. Dort ist er in Forschungs- und Industrieprojekte mit einem Fokus auf die Ökobilanzierung von Cyber-Physischen Systemen tätig. Er studierte Regenerative Energien und Energieeffizienz an der Universität Kassel.

M.Sc. Christian Kürpick leitet die Abteilung „Digital Transformation“ am Fraunhofer IEM in Paderborn. Mit seinem Team bearbeitet er schwerpunktmäßig Forschungs- und Industrieprojekte zur strategischen Transformationsplanung von Unternehmen in der Schnittstelle zwischen Digitalisierung und Nachhaltigkeit. Er studierte Wirtschaftsingenieurwesen mit der Fachrichtung Maschinenbau an der Universität Paderborn.

Dr.-Ing. Arno Kühn leitet den Forschungsbereich „Advanced Systems Engineering“ am Fraunhofer IEM in Paderborn. Ferner ist er Leiter Strategie für das Spartencluster Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe (it's OWL) und gestaltet die weiterentwickelte Strategie „Industrie.Zero“ federführend aus. Er studierte Wirtschaftsingenieurwesen und promovierte an der Fakultät Maschinenbau der Universität Paderborn.

M.Sc. Stephan Stieren leitet die Gruppe "Smart Home" in der Abteilung „Scientific Automation“ am Fraunhofer IEM in Paderborn. Die Gruppe beschäftigt sich mit den Themen der Modellierung und Simulation und fokussiert sich derzeit in der Forschungsarbeiten auf die Schnittstelle zwischen Simulation und Life-Cycle-Assessment. Er studierte Maschinenbau mit Schwerpunkt Produktentwicklung an der Universität Paderborn.

Dr.-Ing. Christian Henke leitet die Abteilung "Scientific Automation" am Fraunhofer IEM in Paderborn. Fokus der Forschungsarbeiten sind die Themen modellbasierte Entwicklung, Life-Cycle-Assessment, Fertigungstechnik sowie vertrauenswürdige KI. Er promovierte in der Elektrotechnik an der Universität Paderborn.

Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu ist Direktor am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM und Leiter der Fachgruppe Advanced Systems Engineering am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Produktentstehung intelligenter technischer Systeme. In Personalunion ist Prof. Dumitrescu Geschäftsführer des Technologienetzwerks Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe (it's OWL).

Session V

Open Foresight als Ansatz einer ressourceneffizienten strategischen Vorausschau für KMU

***M.A. Christina Moser¹, Prof. Dr.-Ing. Stefanie Wrobel¹,
Prof. Dr.-Ing. Alexander Schönmann¹***

¹ *Technische Hochschule Ingolstadt, christina.moser@thi.de, stefanie.wrobel@thi.de;
alexander.schoenmann@thi.de*

Zusammenfassung

In krisenbehafteten Zeiten wie diesen ist es elementar für Unternehmen, sich systematisch mit (ihrer) Zukunft auseinanderzusetzen. Gleichzeitig sind Ressourcen von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) stark im operativen Geschäft gebunden und limitiert, um die Auswirkungen von immanenten Herausforderungen wie Fachkräftemangel und geopolitischen Krisen zu bewältigen. Klassische Foresight-Methoden erfordern zumeist neben tiefer Methodenkenntnis auch einen hohen unternehmensindividuellen Ressourceneinsatz, insbesondere Personalressourcen.

Open Foresight (OF) bietet das Potenzial, Ressourcen unternehmensübergreifend einzusetzen, die eigenen Denkmuster zu hinterfragen und somit einschneidende disruptive Ereignisse bzw. Entwicklungen schneller zu identifizieren und sich im nächsten Schritt darauf vorzubereiten. OF kann daher eine vielversprechende Möglichkeit sein, um hinsichtlich der möglichen Ergebnisse ressourceneffizient Vorausschau zu betreiben. Darüber hinaus werden Unternehmensnetzwerke in ihre Entwicklung befördert sowie wertvolle Impulse von außen in das Unternehmen gebracht. Dieser Beitrag nimmt sich der Frage an, inwiefern OF helfen kann, strategische Vorausschau ressourceneffizient im Sinne der Zukunftsfähigkeit insbesondere von KMU zu nutzen.

Um einen möglichen Mehrwert von OF zu spezifizieren, werden über eine umfassende Literaturrecherche vorrangig wissenschaftliche Arbeiten und Studien zu OF ausgewertet. Dabei werden sowohl OF-Methoden als auch mögliche Kriterien zur Einordnung dieser extrahiert und diskutiert. Als Ergebnis präsentiert der Beitrag das Konzept für ein Bewertungsschema zur Auswahl von OF-Methoden für KMU.

Schlüsselworte

Open Foresight; Open Innovation; Frühaufklärung; effiziente strategische Vorausschau; KMU

Open Foresight as resource-efficient approach for SMEs to engage in foresight

Abstract

In times of crisis, it is crucial for organizations to adopt a systematic approach to future planning. Concurrently, the resources of small and medium-sized enterprises (SMEs) are significantly constrained by the demands of daily business operations, limiting their capacity to address imminent challenges such as skills shortages and geopolitical crises. Conventional foresight techniques typically necessitate not only a profound understanding of methodological expertise but also a considerable investment of company-specific resources, particularly in terms of human capital.

In contrast, Open Foresight (OF) offers the potential to leverage resources across organizations, challenge one's own thinking patterns and thus identify and prepare for major disruptive events or developments more quickly. Open Foresight (OF) can therefore be a promising approach to anticipate potential outcomes in a resource-efficient manner. Furthermore, it fosters the growth of company networks and facilitates the influx of valuable external insights. This article assesses the extent to which OF can contribute to the resource-efficient utilization of strategic foresight especially considering the future viability of SMEs.

In order to specify the potential added value of OF, a comprehensive literature search is conducted to analyze scientific papers and studies on OF. Thereby OF methods and possible criteria for categorizing them are extracted and discussed. As a result, the article presents a concept of an evaluation scheme for the selection of OF methods for SMEs.

Keywords

Open foresight; open innovation; early warning system; efficient strategic foresight; SMEs

1 Thematische Einführung: Open Foresight und KMU

Der Begriff der Polykrise ist mittlerweile etabliert, um die großen, teils globalen Krisen unserer Zeit zu beschreiben. Akronyme wie VUCA, TUNA oder BANI weisen auf die Unsicherheit und Dynamik im heutigen Weltgeschehen hin. Auch Unternehmen sind dementsprechend häufig mit oft disruptiven Veränderungen ihrer Umwelt konfrontiert. Strategische Frühaufklärung und in diesem Sinne weiter gefasst Foresight ermöglicht die Identifikation und Interpretation von veränderungsinduzierenden Faktoren sowie die Ableitung von unternehmensspezifischen Implikationen und Handlungsoptionen [RBH15]. Foresight kann darüber hinaus genutzt werden, um diese Veränderungsindikatoren frühzeitig auf damit einhergehende Chancen und Risiken hin zu untersuchen. Damit können sich Unternehmen durch Vorbereitung und schnellere und effektivere Anpassung Vorteile erarbeiten [Vec15]. Foresight wird daher als wichtiger und zielführender Ansatz in den Fokus gerückt. Mögliche Limitierungen werden hier insbesondere in Bezug auf die Zielgruppe spezifisch betrachtet.

Das Forschungsfeld Foresight entwickelt sich dynamisch, WEBER ET AL. merken beispielsweise an, dass auch Foresight-Ansätze im Hinblick auf hohe Komplexität und Schnelligkeit weiterentwickelt werden sollten [WSK15]. Ein Grund dafür ist, dass geschlossene Foresight-Methoden Limitierungen aufweisen, da beziehungsweise wenn sie ausschließlich auf die Einbindung von Wissen und Kapazität innerhalb der Organisation ausgelegt sind [Wie18]. Als eine Antwort darauf entwickelt sich eine Strömung, welche explizit die Öffnung von Vorausschau über Organisationsgrenzen hinweg betrachtet: Open Foresight [DU08]. Es zielt darauf ab, die Limitierungen der nicht organisations-übergreifenden Ansätze durch Kollaboration zu überbrücken [Wie18], da ein wesentlicher Vorteil darin liegt, durch die Öffnung von Foresight-Prozessen zusätzliche, wertvolle Wissensquellen effektiv und systematisch einzubeziehen [ZKJ19].

1.1 Open Foresight (OF)

Das Konzept von Open Foresight kann als aktuelle, paradigmatische Strömung von Foresight betrachtet werden. DAHEIM UND UERZ sprechen beispielsweise von vier Wellen, die jeweils Ausdruck einer dominanten Foresight-Logik sind. Die vierte, aktuell emergierende Welle wird „Open Foresight“ genannt. Die Öffnung von Foresight ist hier inhärent, basierend auf der Annahme, dass Zukunft insbesondere durch Anticipationsaktivitäten in Form von offenem Dialog und Interaktion gestaltbar ist [DU08]. Grundgedanke und Kern von Open Foresight sind demnach Partizipation und Interaktion entlang des gesamten Foresight-Prozesses [SSE13a].

Analogien lassen sich dabei zu Open Innovation feststellen [vHS14]. Konkret ist hier zu nennen, dass Aktivitäten im Fokus stehen, die der Generierung und dem Austausch von Informationen und Wissen über neue Technologien dienen, deren Quellen außerhalb der Organisation liegen, beispielweise bei Kunden, Lieferanten, Konkurrenten oder Universitäten [VDP+24].

Die Öffnung von Foresight-Prozessen über Organisationsgrenzen hinweg erscheint analog zu Open Innovation als gemeinsamer Nenner innerhalb des Open Foresight Feldes. Die eigentlichen Ausprägungen, Ansätze und Methoden weisen jedoch eine recht große Bandbreite auf.

Eine Ausprägung ist die vertikale Öffnung mit teils ungerichteter und teils gerichteter Stakeholder Einbindung. Der Fokus liegt auf der Berücksichtigung von Wissen aus dem externen Umfeld, welche nicht notwendigerweise inter-organisationale Kollaboration einschließt. Dazu zählen Methoden wie Open Radar Groups [ZKJ19], Social Media Analytics [LS22] oder auch Crowdsourcing und Open Delphi [Kor18]. Die Wissensquellen sind dabei häufig potenzielle Kundengruppen, die aktiv oder passiv beteiligt sein können. Eine weitere Ausprägung, welche den Nutzen von Foresight in Netzwerken in den Vordergrund stellt, nennt sich „networked foresight“ [HB15]. Die meisten in diesem Zusammenhang genannten Netzwerke sind eher größer und weisen eine übergreifende Steuerungsentität auf. Eine dritte, „collaborative open foresight“ genannte, Ausprägung zeichnet sich durch tendenziell horizontale inter-organisationale Kollaboration aus. Im Vordergrund stehen dabei die gemeinsamen Analyse- und Diskussionsaktivitäten bezüglich zukünftiger Entwicklungen, im Rahmen einer Kollaboration von verschiedenen Organisationen [WGS18].

Wenngleich oder eben weil unterschiedliche Ausprägungen mit verschiedenen Foki unter Open Foresight zusammengefasst werden können, besteht Bedarf, das Feld noch weiter zu erforschen und für die Anwendung in der Praxis zu strukturieren. Besonderes Augenmerk liegt darauf, welche Methoden unter welchen Rahmenbedingungen anwendbar und mit hohem Nutzen verknüpft sind [Kor18]. Auch SPANIOL UND ROWLAND stellen heraus, dass es hinsichtlich Methoden zur kollektiven und kollaborativen Steuerung von Ökosystemen in Zusammenhang mit Foresight weiteren Identifizierungsbedarf gibt [SR22]. HEGER UND ROHRBECK argumentieren, dass die Kombination von Methoden Vorteile bringen kann und weisen auf weiteren Forschungsbedarf in Bezug auf die erfolgreiche Anwendung und den Nutzen von Foresight-Aktivitäten hin [HR12].

Die für Open Foresight charakteristische Öffnung entlang des gesamten Foresight-Prozesses birgt in verschiedener Hinsicht großes Potenzial: Durch eine Akkumulation und der gemeinsamen Nutzung von zukunftsorientiertem Wissen können Kosten eingespart werden [SSE13b]. Sowohl die Wissensbasis als auch die Asset-Basis können erweitert werden [HB15]. Insbesondere bei inter-organisationalem Open Foresight kann substanzialer Mehrwert bei der Identifikation von Veränderungsindikatoren generiert werden. Das Wissen anderer Organisationen mit ähnlichen Herausforderungen kann darüber hinaus neue Aktivitäten und strategische Diskurse anstoßen [SW18]. Durch den Diskurs und die gemeinsamen Analysen können außerdem neue Einblicke zu Risiken und Chancen im Hinblick auf identifizierte, disruptive Veränderungen generiert werden. Zusätzlich positive Faktoren dabei sind die Überwindung von Pfadabhängigkeiten und das out-of-the-box Denken [WGS20].

Das große Potenzial von Kollaboration, als zentraler Aspekt von OF, liegt zusammengefasst im ressourceneffizienten Zugang zu Informationen und methodischem Wissen, der Nutzung von Synergien, sowie der Reflektion und Bewertung von Informationen und erarbeiteten Ergebnissen. Während es einzelnen Unternehmen nicht gelingt, ihre Bedarfe hinsichtlich Ressourcen, Wissen und Fähigkeiten alleine zu decken, kann ein kollaborativer Ansatz zu Kostenreduzierung bei der Informationsbeschaffung und -verarbeitung führen sowie den Zugang zu Informationen und (Methoden-)Wissen erleichtern oder verbessern [BTP15]. Speziell für KMU bietet Kollaboration mit anderen Unternehmen und Kunden in den Dimensionen Nutzung von Informationen, Methoden der Integration sowie Ausbau von Netzwerken somit hohes Potenzial, das

gezielt ausgebaut und genutzt werden sollte, um Foresight auch in dieser Gruppe von Unternehmen zu etablieren [GRR+20], [SHM19]. Auch RASZTAR UND HÖLZLE [RH23] benennen konkret das Potenzial, fehlende Fähigkeiten in der Informationsbeschaffung und -bewertung durch das Anpassen von Foresight-Methoden und die Kooperation mit externen Akteuren auszugleichen. Letzteres führt direkt zu Open Foresight als vielversprechenden Foresight-Ansatz für KMU.

Vor dem Hintergrund des beschriebenen Potenzials von OF speziell für KMU [HB15] liegt der Fokus der weiteren Betrachtung einerseits auf den besonderen Merkmalen und Restriktionen von KMU, andererseits auf der Beschreibung und Bewertung von Methoden, die Open Foresight zugeordnet werden können. Der innovative Aspekt dieser Arbeit begründet sich auf der systematischen Zusammenstellung und Klassifikation von Open Foresight-Methoden hinsichtlich der Anwendbarkeit für kleine und mittlere Unternehmen (KMU).

1.2 Besonderheiten KMU

Neben den bereits dargestellten Potenzialen von OF speziell für KMU begründet sich die Fokussierung auf diese Gruppe von Unternehmen darauf, dass sie

- einerseits gemäß statistischem Bundesamt über 99 % aller Unternehmen in Deutschland und der EU ausmachen und das Rückgrat der deutschen und europäischen Wirtschaft darstellen, und
- andererseits in höherem Maße von Veränderungen in der Unternehmensumwelt und damit einhergehenden Risiken getroffen wird, wie MEYER ET AL. [MGH22] in ihrer Studie darlegen.

Durch den Einsatz von Foresight-Methoden können Unternehmen die Qualität ihrer strategischen Entscheidungen verbessern [HL20], was auch auf KMU zutrifft [HKA22]. KMU können aufgrund ihrer geringen Größe schneller und flexibler auf Veränderungen reagieren [MGH22]. Dies allein hilft den Unternehmen aber nicht in Krisenzeiten, wie die hohe Vulnerabilität dieser Unternehmensgruppe mit Blick auf die Folgen der Pandemie oder geopolitischen Krisen mit Einfluss auf Lieferketten, Rohstoffverfügbarkeiten und -kosten zeigt.

Während in großen Unternehmen Foresight-Prozesse schon häufig, beispielsweise in der Strategieentwicklung oder im Innovationsmanagement, genutzt werden [RS13], [RK18], [SRW20], ist der Einsatz von Foresight-Methoden in KMU kaum etabliert. Dies ist zum großen Teil mit spezifischen Charakteristika von KMU zu erklären:

Im Vergleich zu größeren Unternehmen verfügen KMU durchschnittlich über geringere Ressourcen, insbesondere Personal und damit Zeit, sowie über weniger methodisches Wissen und etablierte Prozesse [BDR+19]. Aus einer Untersuchung von BATTISTELLA & TONI [BTP15] geht hervor, dass Wissen, Fähigkeiten und Ressourcen in der Regel von der Organisation selbst zur Verfügung gestellt werden. KMU verfügen aber häufig über einen limitierten Zugang zu Informationen und Wissen, Kenntnisse und Fähigkeiten zur Nutzung von Tools wie Datenbanken, Simulations- oder Modellierungssoftware sind ebenfalls oft eingeschränkt. Dies in Kombination mit einer i. d. R. weniger strukturierten Organisation erschwert einen umfassenden Einsatz von Foresight [PDN19]. Aufgrund verschiedener Restriktionen und insbesondere der

geringeren verfügbaren Ressourcen konzentrieren sich KMU stark auf das Tagesgeschäft [RH23] wodurch vernachlässigt wird, sich strukturiert mit Veränderungen und Zukünften auseinanderzusetzen und ein umfassendes Verständnis zur Bedeutung und zum Umgang mit diesen Veränderungen zu entwickeln [ITG+20], [VR10]. Auch gegenüber der Entwicklung von Innovationen, die erfordert, sich strategisch mit Veränderungen zu beschäftigen, um neue Chancen und Möglichkeiten zu erkennen oder zu entwickeln, wird dem Tagesgeschäft oft Priorität eingeräumt [ISD20].

Die starke Ausrichtung auf das Tagesgeschäft und eine eher gering ausgeprägte Zukunftsausrichtung in KMU sind auf eine Kultur und Denkweise zurückzuführen, die einer Planung eine untergeordnete Rolle zuweist. Dies ist wiederum darin begründet ist, dass Entscheidungsträger von KMU aufgrund der geringen Unternehmensgröße oft wenig Bedarf für (längerfristige) Planung sehen [BDR+19], wobei der Nachfolgeplanung in Familienunternehmen eine andere Bedeutung zugeordnet wird und hiervon auszunehmen ist [GB19]. Der bewusste, analysierende Blick auf Veränderungen und eine darauf basierende Planung sind jedoch die Voraussetzung für die Entwicklung und Implementierung von neuen, strukturierten Prozessen z. B. im Innovationsmanagement oder für Foresight [BDR+19].

Die zentralen Entscheider in KMU sind in der Regel die Eigentümer oder Geschäftsführer, die häufig das Tagesgeschäft wegen beschränkter Ressourcen prioritär bedienen [ISD20]. Die oft begrenzte Ressourcenverfügbarkeit und Liquidität von KMU haben eine geringe Experimentierfreude und Risikobereitschaft zur Folge, da ein Scheitern aus Sicht der Unternehmer eher als kritisch bewertet und vermieden wird [FHM+11]. Gerade in Bezug auf Foresight herrscht die Meinung vor, dass dies aufwendig und ressourcenintensiv ist, aber gleichzeitig kaum einen Nutzen für die Wettbewerbsposition oder Resilienz des Unternehmens bringt [BSL18].

Bezogen auf die Rolle und Bedeutung der Eigentümer oder Geschäftsführer von KMU ist ein weiteres wichtiges Merkmal, dass sich diese oft alleine für den Erfolg ihres Unternehmens verantwortlich fühlen, traditionelle Vorstellungen von der Unternehmensführung haben und daher eher seltener Ratschläge oder Hinweise von Mitarbeitenden aufnehmen [SLP19], [HFZ15]. Auch herrscht tendenziell Zurückhaltung, Wissen mit anderen auszutauschen [BFB+22]. Offener sind KMU, Informationen in einem einigermaßen kontrollierbaren Umfeld weiterzugeben [HB15]. Gleichzeitig aber können KMU oft die Entwicklungen in ihrer Umwelt, sogar in ihrer Branche, kaum vollständig erfassen und verstehen [SR14], was im Umkehrschluss umso mehr die Bedeutung des Zugangs zu Informationen, Wissensmanagement, Austausch und Zusammenarbeit hervorhebt.

In einer aktuellen Studie von RASZTAR UND HÖLZLE [RH23] gaben die befragten Eigentümer bzw. Miteigentümer der jeweiligen KMU an, dass sie i. d. R. keine anderen Parteien in Foresight-Aktivitäten einbeziehen. Die häufigste Maßnahme zur Vorbereitung auf Veränderungen oder Krisen ist es, finanzielle Polster für Krisen zu schaffen, um Zeit für erforderliche Maßnahmen und Anpassungen zu gewinnen. Foresight-Aktivitäten waren meist nicht umfassend und ganzheitlich angelegt. Dies ist vermutlich auch darin begründet, dass einerseits der Bezug zur Zukunft eher vage ist und die konkrete Bedeutung z. B. für Innovationen nicht gesehen wird [BB18]. Andererseits sind viele Entscheider der Meinung, Entwicklungen nicht beeinflussen

zu können, was wiederum zu der Einschätzung führt, dass eine Investition in Foresight-Aktivitäten wenig sinnvoll ist. In der Studie von RASZTAR UND HÖLZLE [RH23] bestätigte sich, dass insgesamt das Wissen über Foresight-Aktivitäten und Methoden gering war und im Falle des Einsatzes durchschnittlich nur geringe Wirkungen auf die Gesamtorganisation festgestellt wurden. Dies festigte die Einschätzung, dass sich Foresight-Aktivitäten kaum positiv für das Unternehmen auswirken. Der Grund für die geringe Wirkung lag aber in hohem Maße daran, dass die Aktivitäten und Ergebnisse kaum kommuniziert werden.

Das führt zu dem Schluss, dass es ausschlaggebend für den Einsatz von Foresight in KMU ist, der hohen Nutzenerwartung und Ergebnisorientierung von Unternehmern und Entscheidern in KMU gerecht zu werden.

Zentrale Voraussetzungen für die erfolgreiche Implementierung von Foresight und Nutzung von Foresight-Methoden durch KMU sind zusammengefasst,

- a) die besonderen Eigenschaften und Merkmale dieser Unternehmen zu kennen, zu denen neben Ressourcenverfügbarkeit und geringen Methodenkenntnissen auch die kulturellen Besonderheiten und Denkweisen in KMU zählen,
- b) den Nutzen von Foresight deutlich zu machen, der insbesondere von Entscheidern erkannt werden muss, die sich zudem der internen und externen Kollaboration öffnen und deren Vorteile mit Blick auf verfügbare Ressourcen erkennen müssen,
- c) Foresight-Methoden mit Blick auf die besonderen Belange, Erwartungen und Limitierungen von KMU zu bewerten, anzupassen und zugänglich zu machen.

2 Forschungsfragen und methodische Vorgehensweise

Unter der bereits begründeten Annahme, dass Open Foresight großes Potenzial hat, a) den speziellen Bedarfen und Limitierungen von KMU zu begegnen und b) Foresight ressourceneffizient zu betreiben, befasst sich der Beitrag im Folgenden mit der möglichen Operationalisierung. Da die Forschung im Open Foresight Feld noch fragmentiert ist und wie in 1.1 herausgearbeitet weiterer Forschungsbedarf im Bereich OF-Methoden und deren Anwendungs-Implikationen besteht, soll die vorliegende Publikation einen Beitrag zur Beantwortung folgender Fragestellungen leisten:

- 1) Welche Methoden werden für den Einsatz im Bereich Open Foresight, mit Fokus auf interorganisationale Kollaboration, beschrieben?
- 2) Wie können diese Methoden im Hinblick auf ihre Einsatzmöglichkeiten aus der Sicht von KMU bewertet werden, um den Zugang zu und die Operationalisierung von Foresight in KMU zu verbessern?

Dafür wird eine Literaturanalyse durchgeführt, um eine Liste an Methoden aus wissenschaftlichen Publikationen zu extrahieren. Die identifizierten Methoden werden analysiert sowie beschrieben und bilden die Basis zur iterativen Erarbeitung eines Bewertungsschemas für OF-Methoden. Dieses Schema soll KMU helfen, Methoden für ihre Zwecke besser einordnen zu können und leistet damit einen Beitrag zur zweiten Fragestellung. Entsprechend ist ein weiterer

zentraler Aspekt für die Entwicklung des Bewertungsschemas die Berücksichtigung der dargestellten Besonderheiten von KMU.

2.1 Literaturanalyse

Zur Beantwortung der ersten Fragestellung sollen relevante Methoden herausgearbeitet werden. Der Begriff Methode umfasst in diesem Fall neben explizit als Methoden ausgewiesenen Elementen auch methodische Vorgehen und Ansätze, welche als solche strukturiert vollzogen werden und replizierbar sind.

Da die qualitative systematische Literaturanalyse auf die Suche nach bestimmten Konstrukten in qualitativen Studien fokussiert und sich für den Vergleich sowie die Integration von Erkenntnissen aus diesen Studien eignet [GB09], wurde diese als Methode ausgewählt um OF-Methoden zu identifizieren und zu analysieren. Die OF-Methode versteht sich hier im Sinne des zu suchenden Konstrukts. Das Vorgehen wurde in Anlehnung an LINNENLUECKE ET AL. [LMS20] umgesetzt, entsprechend der folgenden Schritte: klare Eingrenzung des Suchfeldes inklusive einer vorab Suche für erste Einblicke in das Feld; Festlegung der Auswahlkriterien welche Publikationen einbezogen werden; Auswahl der Datenbanken und Schlüsselwörter inklusive zu verwendender Boolean Operators; Suchlauf; Bereinigung der Daten; Analyse, Synthese und Präsentation des finalen Datensatzes.

Suchfeld: Da einerseits eine möglichst große Bandbreite an Methoden im Kontext von interorganisationalem Open Foresight dargestellt werden soll und andererseits das Open Foresight Feld an sich noch nicht extensiv erforscht ist wurde als Suchfeld Open Foresight als gesamtes angesetzt.

Datenbanken, Schlüsselwörter & Suchlauf: Die ähnlichen Begrifflichkeiten „collaborative Foresight“ und „networked Foresight“ werden als relevante Suchfelder eingeschlossen und für die Auswertung zur Vereinfachung unter dem Begriff Open Foresight geführt. Die Schlüsselwörter wurden in ihrer konkreten Form in direkter Reihenfolge verwendet, da es sich dabei um explizite Begrifflichkeiten handelt. Um eine möglichst breite Abdeckung zu gewährleisten, wurden vier unterschiedliche Datenbanken verwendet und ein zusätzlicher Cross Check durchgeführt, für den Fall, dass Methoden nicht speziell den feststehenden Begrifflichkeiten zugeordnet sind. Entsprechend wurde die Recherche mit folgenden Suchbegriffen ausgeführt:

Tabelle 2: Suchläufe Literaturrecherche

| Datenbank | Schlüsselwörter | Einschränkung | Paper |
|----------------|--|----------------------------|-------|
| SCOPUS | „open foresight“ OR „collaborative foresight“ OR „networked foresight“ | Titel, Abstract, Key-words | 37 |
| Science Direct | „open foresight“ OR „collaborative foresight“ OR „networked foresight“ | Keine | 74 |
| IEEE | „open foresight“ OR „collaborative foresight“ OR „networked foresight“ | Keine | 1 |

| | | | |
|-----------------------|--|-----------|----|
| EBSCOhost | „open foresight“ OR „collaborative foresight“ OR „networked foresight“ | Keine | 14 |
| SCOPUS Cross Check | „open“ OR „collaborative“ OR „ecosystem*“ AND „foresight“ | Nur Titel | 45 |

Bereinigung der Daten, Darlegung und Anwendung der Auswahlkriterien: Auf Basis der Suchläufe in allen vier Datenbanken wurde eine Gesamtliste erstellt, die zunächst im Hinblick auf Dubletten bereinigt wurde. Darüber hinaus wurden nur wissenschaftliche, peer-reviewed Publikationen in englischer Sprache inkludiert. Der klare Fokus auf Methoden im Kontext von inter-organisationalem Open Foresight bildet die Basis für die Ableitung der Kriterien zur Auswahl der Publikationen und der Methoden. In einem ersten Schritt wurden alle Publikationen exkludiert, welche keinen wesentlichen Bezug zu OF aufweisen. Auch Publikationen, ohne Beschreibung einer strukturierten Aktivität oder methodischem Vorgehen im Kontext von OF wurden ausgeschlossen. Dies betrifft insbesondere einige Publikationen die zur Theoriebildung, Auffassung sowie Implikationen von Open Foresight beitragen. Inkludiert wurden entsprechend Publikationen, welche mindestens ein methodisches Vorgehen mit explizitem OF-Bezug aufweisen, welcher sich konstituiert auf einem partizipativen Element und der direkten Einsetzbarkeit für OF im Sinne der inter-organisationalen Kollaboration. Darüber hinaus werden Methoden, die keinerlei Abweichung zu klassischem, respektive intra-organisationalem, Foresight aufweisen nicht inkludiert. Methodische Vorgehen die sich innerhalb der Kriterien befinden aber mehrfach in ähnlicher Form auftreten wurden nur einmal berücksichtigt. Auch Foresight-Support-Systeme als solche wurden nicht eingeschlossen, da sie hier nicht als Methode per se begriffen werden. Entsprechend dieser Auswahlkriterien wurden 46 Publikationen detailliert betrachtet und schließlich ein Set von 11 Methoden extrahiert. Die Analyse, Synthese und Präsentation der Recherche werden im weiteren Verlauf dargelegt.

2.2 Extrahierte OF-Methoden

Im Folgenden werden die extrahierten Methoden in einer Übersichtstabelle dargestellt. Zu jeder Methode werden, basierend auf der jeweiligen Publikation, zentrale Charakteristika zusammengefasst. Diese Aspekte werden im Rahmen der Einordnung der Methoden in das Bewertungsschema wieder aufgegriffen

Tabelle 3: OF-Methoden Übersicht

| Methode | Charakteristika |
|--------------------------|--|
| Futures Clinic [HR13] | Prozess von Diagnose bis zu „gesunden“ Zukünften; strukturierte, prozesshafte Abfolge spezifischer Methoden; Fokus auf Imagination und Kreativität statt pragmatischer Problemlösung, mit Kreation von Innovations-Entwürfen |
| Futures Images [JMH+22a] | Interviews für Input, diskursive Workshops, Konstruktion Zukunftsbilder durch Steuerungsentität; Workshops v.a. als Kollaborationsraum mit Freiheitsgraden und zur Datensammlung für die Erstellung der Zukunftsbilder |

| | |
|--|---|
| Futures Literacy Lab [JBH23] | 4 Phasen, vom Diskurs wahrscheinlicher und wünschbarer Zukünfte zu reflektiven Einsichten oder möglichen Maßnahmen; Learning by doing, Imagination und Ideen zu neuen Zukünften; Vorgehensempfehlung UNESCO, Freiheitsgrade im Co-Design des Labs u.a. im Hinblick auf Setting, Outcomes und Art der Aktivitäten pro Phase |
| Kollaboratives Roadmapping [BTP15] | Von Kick-Off über Status Quo & Trend Analyse hin zu Mapping und Follow-up; Kollaborative Evaluation eines Feldes von gemeinsamem Interesse; Map mit strukturierter Information für die Entscheidungsfindung, Ableiten von Geschäftsmöglichkeiten |
| Kollaborative Szenariotechnik [WGS20] | Grundsätzliche Struktur von gemeinsamer Identifikation von Einflussfaktoren und deren Interdependenzen hin zur Entwicklung von Szenarien mit Freiheitsgraden in der Ausgestaltung; Szenarien eher als unscharfe Bilder zur Inspiration für kreative Innovation, über den inkrementellen Horizont hinaus |
| Kollaborative Trend-datenbank [MGK+12] | Gemeinsame Nutzung einer web-basierten Datenbank, Interaktionsanreize sowohl neue Inhalte beizutragen als auch Bewertungen abzugeben; Strukturvorgabe und Konkretisierungsgrad bedingt durch Beschaffenheit des Tools; Inhalte bspw. zur Nutzung für den Innovationsprozess |
| Open Laboratory [Fri18] | Offene, physische „Labore“ zur Kreation von konkreten Prototypen neuer Produkte, Services oder Geschäftsmodelle; Hierarchiefreie Begegnungsstätte zur Überbrückung sektoraler Grenzen, viele Freiheitsgrade, unterschiedliche Ausprägungen wie bspw. als FabLab oder als Living Lab |
| Prediction Markets [SSE13b] | Zukünftige Events über web-basierte Anwendung gehandelt als Aktien, zur Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit; Ableitung von Indikatoren im Hinblick auf die Eintrittswahrscheinlichkeit; hohe Strukturvorgabe durch Beschaffenheit der Methode |
| Zukunfts-werkstatt [KMG15] | Von ursprünglich 4 Phasen (Vorbereitung, Kritik, Fantasie, Implementierung) mit Freiheitsgraden in der Ausgestaltung und dem Ziel Empfehlungen zum Umgang mit zukünftigen Herausforderungen überführt in die Phasen Identifikation, Analyse und Implementation inklusive einer strukturierten Abfolge an spezifischen Methoden |
| Kollaborat. Visionsent-wicklung [PKM+17] | Über web-basierte Anwendung Sammlung, Kommentierung, Verfeinerung und Bewertung von Visionen durch Teilnehmende, um die Visionen mit höchster Machbarkeit, Relevanz und Neuheitswert zu identifizieren; Strukturvorgabe bedingt durch Beschaffenheit der Methode |
| Structured Dialogic Design [WFD+14] | Strukturierter Workshop Prozess mit 4-6 Phasen von Antwort-Generierung, Clustering, Strukturierung zur Interpretation der Gruppen-Learnings bis zu Szenario Narrativen und Cross-Impact Analyse, mit jeweils klaren Vorgaben und Methoden zur Umsetzung der Phase, um Technologische Herausforderungen und Ermöglicher herauszuarbeiten |

Anzumerken ist, dass einige berücksichtige Ansätze weniger als klassische Methoden zu verstehen sind, sondern als grundsätzliche methodische Vorgehen, die auch idealtypisch für ähnliche Vorgehen stehen. Ein breit gefasster Ansatz ist die kollaborative Trenddatenbank. Die hier analog verstanden werden kann für webbasierte Plattformen, welche eine gleichzeitige und doch unabhängig voneinander ausgeführte Zusammenarbeit zum Thema Wissensaustausch und Bewertung ermöglichen, wie beispielsweise Datenbanken und Wikis [SSE13b]. Die kollaborative Szenariotechnik wird in der Tabelle auf Basis von WIENER UND GATTRINGER [WGS20] extrahiert. Einige weitere Publikationen beschreiben ebenso das Erarbeiten von Szenarien als Kern der dargestellten kollaborativen Aktivitäten, mit je unterschiedlichen Formalisierungsgraden sowie Vorgehens- und Output-Foki [SR22], [SW18], [BMP+22]. Die methodischen Vorgehen stützen sich auf klassische Szenariotechniken, überführt in eine kollaborative Form, zumeist über die direkte Interaktion mit Hilfe der Durchführung von Workshops. Eine solche „Workshopisierung“ von klassischen Methoden lässt sich mehrfach feststellen [vHS14], [PE20], [HB15], um die Kompatibilität für Partizipation und Kollaboration herzustellen. Neben dem Einsatz von Workshops als Mittel der Kollaboration zeichnet sich auch die Digitalisierung von Formaten und Ansätzen ab, um kollaborative Aktivitäten sowohl zu unterstützen aber auch grundsätzlich zu ermöglichen [PKM+17], [MGK+12], [SR22], [DDK+15]. Des Weiteren lassen sich in der Operationalisierung der kollaborativen Aktivitäten Unterschiede feststellen, teilweise qua Methode, teils auf Grund des Settings. Bei dem methodischen Vorgehen Futures Images [JMH+22a] betreibt beispielsweise eine Steuerungseinheit federführend die Umsetzung des Prozesses und bindet über kollaborative Formate – zumeist Workshops – die Meinungen und den Diskurs der Kollaborationspartner ein. Die eigentliche Erstellung der Zukunftsbilder und damit die Synthese aller gesammelten Informationen übernimmt die Steuerungseinheit. Eine orchestrierende Entität kann unter anderem bestehen aus einer Lead Organisation, einer dedizierten Steuerungseinheit im Rahmen von geförderten Projekten [HB15], [PE20], oder einem Team mit Personen aus den kollaborierenden Unternehmen [WGS20]. Letztere Form, bei der die Steuerung einer inter-organisationalen Kollaboration von den beteiligten Partnern, ohne Dachorganisation oder andere dritte Entitäten, gleichwertig vollzogen wird findet sich kaum. An den Ausführungen zur Szenariotechnik wird jedoch deutlich, dass für Methoden sowohl das Modell mit einer Lead Organisation bzw. übergreifenden Steuerungseinheit als auch das Modell inter-organisationale Kollaboration ohne dritte Einheit funktionieren kann.

Über die Methoden hinweg lässt sich Heterogenität in unterschiedlichen Aspekten feststellen. Deutlich wird dies in Bezug auf die Freiheitsgrade in der Ausgestaltung, auf mehr oder weniger starke Strukturvorgaben und auf Unterschiede im Hinblick auf die Generierung von Output. Diese reichen von eher erfahrungsgleitet, lernprozessorientiert oder explorativ bis hin zu eher ergebnisfokussiert, deskriptiv oder explanativ. Das Futures Literacy Lab beispielsweise zielt auch auf learning by doing ab und auf die Stärkung der grundsätzlichen Futures Literacy, wichtig dabei ist die Imagination bzw. Exploration neuer Zukünfte. Open Laboratories fokussieren auf die Verständigung im Labor als Begegnungsstätte. Eine stärkere Ausrichtung auf das Ergebnis wiederum hat die kollaborative Visionsentwicklung, mit dem Ziel relevante Visionen zu identifizieren. Ein weiterer Aspekt der Heterogenität, ist die Varianz im Hinblick auf die Darbringung und Verwertung der Outputs. Die einerseits einen eher konkreten und anwendungsbezogenen Charakter haben können, wie die Prototypen bei Open Laboratories oder explizite

Ableitungen für das aktuelle Geschäft und andererseits auch fokussieren auf potenziell abstrakte Zukunftsbilder, Visionen oder alternative Zukünfte, bei denen die Imagination im Vordergrund steht. Dies wiederum deckt sich mit einem bereits herausgearbeiteten OF-Vorteil, der Förderung des out-of-the-box Denkens.

3 Entwicklung des Bewertungsschemas für OF-Methoden

Wie in Abschnitt 2.2 dargestellt, finden sich in der Literatur einige OF-Methoden, welche als relevant für den Einsatz zur inter-organisationalen Kollaboration von KMU eingestuft werden können. Für den individuellen Anwendungsfall sind Methoden jedoch nach diversen und durchaus komplexen Kriterien im Rahmen des Auswahlprozesses zu bewerten, was speziell für KMU sehr herausfordernd bis überfordernd sein kann. Dies liegt unter anderem an der großen Bandbreite an Charakteristika sowie Einsatz- und Ausgestaltungsmöglichkeiten der beschriebenen OF-Methoden, sowohl innerhalb eines methodischen Vorgehens, aber insbesondere auch über die Methoden hinweg, wie anhand von kollaborativer Szenariotechnik illustriert wurde. Um dementsprechend einen Beitrag im Sinne der in Abschnitt 2 angeführten zweiten Fragestellung zu leisten, wird nachfolgend ein Entwurf eines niederschwelligen Bewertungsschemas für OF-Methoden hergeleitet, um KMU bei dem Auswahlprozess geeigneter Methoden zu unterstützen.

3.1 Herleitung und Beschreibung der Bewertungsdimensionen

Aus der konzeptionellen Übersicht der Autoren SCHMIDTHUBER UND WIENER [SW18] zu Open Foresight (mit Schwerpunkt der öffentlichen Verwaltung) wird ersichtlich, wie divers und heterogen die Zielsetzungen einzelner OF-Ausprägungen definiert werden können, die u.a. bei der Auswahl einer Methode zu berücksichtigen sind. So werden bspw. Kriterien wie „Transparenz“ und „partizipative Entscheidungsfindung“ oder auch „Effektivität“ und „Effizienz“ als Ziele bzw. ursprüngliche Intention herausgearbeitet. Auch „Stakeholderzufriedenheit“ oder „Kosteneffizienz“ werden genannt [SW18]. Andere Autoren erachten die Möglichkeit der „kritischen Analyse“, den „Zeithorizont“, die „Handlungs-/Praxisorientierung“ als auch die Erzeugung von „Diversität“ bei den Ergebnissen [JMH+22b] oder die „flexible Anpassung“ zur Einbindung von unterschiedlichen Partnern und Perspektiven [WGS20] als wichtig bei der Anwendung und Auswahl von OF-Aktivitäten. Weiterhin werden u.a. die „Kommunikation“ und Möglichkeiten des „informellen Austauschs der Teilnehmer“ oder auch die „Prozessorientierung“ als Kriterien angeführt [SSE13a]. Abschließend sind zudem Kriterien anzuführen wie bspw. die „Förderung des kreativen und radikalen Denkens“ [HR13] als auch der Austausch von Informationen um ein „gesamtheitliches Bild“ zu erzeugen [HB15].

Unter Berücksichtigung der Zielsetzung dieses Beitrags, der Ergebnisse der Literaturanalyse und des beschriebenen Kontextes, insbesondere der für KMU zentralen Aspekte (a. Ergebnisorientierung und konkreter Nutzen für das Unternehmen, b. erforderliche Informationen und Methodenkenntnisse sowie c. der Umfang der benötigten Ressourcen), kristallisieren sich folgende zentrale Kriterien zur Auswahl von geeigneten OF-Methoden heraus: *Transparenz, For-*

malisierungsgrad, Flexibilität/Gestaltbarkeit, Zeit- bzw. Planungshorizont, Diversität möglicher Ergebnisse, Handlungs-/Umsetzungsorientierung und Arbeitsteilung/Effizienz (siehe Bild 1). Die nachfolgende weitere Clusterung führt schließlich zu den aggregierten Bewertungsdimensionen des OF-Methoden Bewertungsschemas, welche nachfolgend ausgeführt werden.

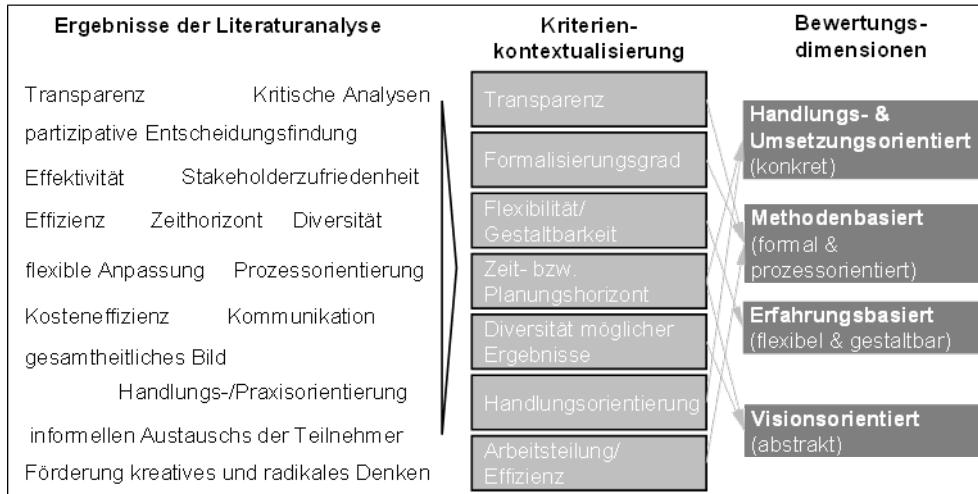


Bild 11: Herleitung der Bewertungsdimensionen (eigene Darstellung)

Die Dimensionen „Handlungs- und Umsetzungsorientierung“ und „Visionsorientierung“ drücken den Abstraktionsgrad sowie die Diversität bzw. die direkte Nutzbarkeit der Ergebnisse aus. Der für KMU besonders wichtige Aspekt der Ressourceneffizienz wird in Teilen in dieser Dimension berücksichtigt, unter der Annahme, dass je greifbarer ein Ergebnis ist, je klarer Maßnahmen definiert werden können, desto effizienter Ressourcen zur Erreichung eines Ergebnisses eingesetzt werden können. Ebenso enthalten ist der gewählte Zeithorizont der Betrachtung, da mit zunehmender zeitlicher Entfernung die Unschärfe und Unsicherheit zunehmen und die Umsetzung in den Hintergrund rückt.

Die Dimensionen „Methodenbasiert“ sowie „Erfahrungsbasiert“ spiegeln den Grad der Strukturierung bzw. Formalisierung wider, also der Guidance zu den Methoden. Eine ausgeprägte Formalisierung und Anleitung erleichtert die Anwendung durch eine sehr detaillierte und strukturierte Methodenbeschreibung, was wiederum bedeutet, dass wenig Vorwissen zur Methode erforderlich ist, um sie anzuwenden. Ein hoher Formalisierungsgrad und strikte Guidance führt andererseits tendenziell zu einer Abnahme der Flexibilität und individuellen Gestaltbarkeit, auch hinsichtlich der Ergebnisse. Die Dimension „Erfahrungsbasiert“ bedeutet damit auf der anderen Seite eine geringere Guidance, was mit einer höheren Gestaltbarkeit der Methode und der Ergebnisse einhergeht. Dies erfordert jedoch mehr Vorbereitung, Erfahrung und Methodenwissen, um die Methode durchführen zu können und avisierte Ergebnisse zu erreichen.

3.2 Aufbereitung und Einordnung der OF-Methoden in das Bewertungsschema

Anhand der ermittelten Dimensionen werden diverse OF-Methoden eingeordnet. Die Bewertung der Dimensionen erfolgt auf Basis der genannten Publikationen und verfügbaren Beschreibungen sowie ggf. publizierten Case-Studies zu den Methoden. Maßgeblich an der Einordnung

beteiligt waren die drei Autoren dieses Beitrages, die aufbauend auf voneinander unabhängig durchgeführten Bewertungen, die Ergebnisse in mehreren gemeinsamen Workshops in das OF-Methoden Bewertungsschema überführt haben (siehe Bild 2). Die Anordnung, Größe und Umrisse der einzelnen Felder zeigen auf, dass die klassifizierten Methoden entsprechend der Ausgestaltung mehrere Bereiche abdecken können. Zudem wird über die Feldgröße auch berücksichtigt, dass bei der unabhängigen Bewertung der Methoden Variationen vorlagen. Die Bildung der Schnittmengen der durchgeführten Einzelbewertungen führen schlussendlich zu der Flächenzu- und einordnung.

Das nachfolgende Schaubild zeigt das Schema mit den bereits positionierten Methoden. Die Darstellung versteht sich als Entwurf zur exemplarischen Einordnung der ausgewählten Methoden, um eine plakative Diskussionsgrundlage bereitzustellen. Zur Nachvollziehbarkeit wird die Einordnung der kollaborativen Szenariotechnik, als Repräsentanz für grundsätzliche methodische Vorgehen mit hoher Varianz, und Futures Clinic, als Repräsentanz für explizit genannte und elaborierte Methoden, beispielhaft im Anschluss diskutiert.

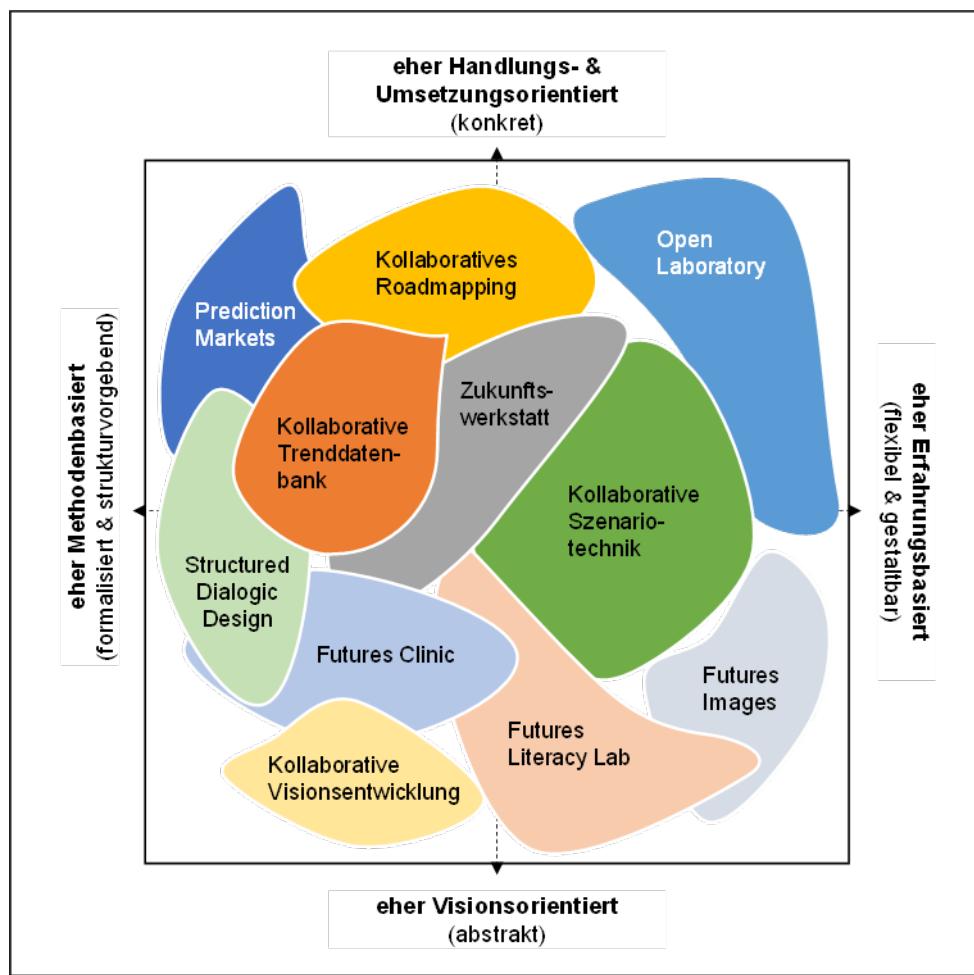


Bild 12: Bewertungsschema mit OF-Methoden (eigene Darstellung)

Kollaborative Szenariotechnik: Zwar liegt diesem methodischen Vorgehen durch den Bezug zum klassischen Szenario-Prozess eine grundsätzliche Struktur bei der Erstellung der Szenarien zu Grunde, die Ausgestaltung und Umsetzung der methodischen und kollaborativen Elemente weisen jedoch eine hohe Varianz und viele Freiheitsgrade auf. Auf Grund der Flexibilität in

Bezug auf die Ausgestaltung wird der Ansatz eher im Bereich „Erfahrungsbasiert“ gesehen. Die genannten Ausprägungen beschreiben Szenarien teilweise als eher unscharfe und damit eher abstrakte Bilder zur Inspiration, die aber gleichzeitig in unterschiedlichem Maße zur konkreten Ableitung von Implikationen und Handlungsmöglichkeiten verwendet werden. Darauf begründet sich eine weitgehend ausgeglichene Positionierung zwischen den Polen „Handlungs- & Umsetzungsorientiert“ sowie „Visionsorientiert“.

Futures Clinic: Diese Methode ist strukturiert und prozesshaft beschrieben, inklusive einer Abfolge von expliziten Methoden, die wiederum innerhalb der Futures Clinic zusammengefasst werden. Die Ausgestaltung ist weitgehend formalisiert beschrieben und begründet die Positionierung im Bereich „Methodenbasiert“. Wenngleich im Rahmen der Methode auch Innovationsentwürfe abgeleitet werden, die ein weitgehend konkretes Resultat darstellen, steht mit Blick auf den Output der Methode insbesondere Imagination und Kreativität im Fokus. Dadurch wird die Futures Clinic in Summe eher im Bereich „Visionsorientiert“ gesehen.

4 Diskussion und Ausblick

Die vorliegende Arbeit betrachtet und diskutiert auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche Open Foresight als neue paradigmatische Strömung. Die Analyse zeigt, dass Open Foresight in der wissenschaftlichen Literatur Fragmentierungen aufweist und insbesondere auf der Methodenebene noch Forschungsbedarf besteht. Dementsprechend wird nach einer einleitenden Diskussion im Hinblick auf das gesamte OF-Feld, der Fokus verdichtet auf KMU als OF-Anwendungsgruppe und auf Methoden für die Operationalisierung von Open Foresight. Neben der Darlegung von Besonderheiten und Herausforderungen von KMU in Bezug auf Open Foresight werden mittels Literaturanalyse Methoden identifiziert und beschrieben, die explizit OF zugeordnet werden können. Die detaillierte Analyse der spezifischen Merkmale von OF-Methoden einerseits und die besonderen Merkmale, Restriktionen und Bedarfe von KMU andererseits ergeben, dass OF gerade für diese Gruppe an Unternehmen großes Potenzial zur Implementierung von Foresight bietet. Gründe hierfür sind, wie in Abschnitt 1.1 ausgeführt, dass Kollaboration – ein zentrales Merkmal von OF – den Zugang zu und die Nutzung von Informationen, Wissensgenerierung, Aufbau oder Erweiterung von Methodenkenntnissen, Reflektion, Aufbrechen von Denkmustern und Netzwerkauf- und -ausbau ressourceneffizient unterstützt.

Die aus der wissenschaftlichen Literatur extrahierten Klassifizierungs- und Bewertungskriterien für OF-Methoden wurden mit Blick auf die besonderen Bedürfnisse von KMU geclustert und in ein neues Bewertungsschema für KMU zusammengeführt. Eine Herausforderung stellt dabei die Integration des zentralen Aspekts des Ressourceneinsatzes dar. Während dies eine deutliche Limitierung für KMU und damit ein wichtiges Kriterium darstellt, ist der Ressourceneinsatz zur Anwendung von Foresight-Methoden an sich bereits mehrdimensional und kann kaum in einer Größe aggregiert werden. So muss unterschieden werden, ob es sich um finanzielle oder personelle Ressourcen und implizit um den Faktor Zeit handelt. Hier muss darüber hinaus differenziert betrachtet werden, ob der Ressourceneinsatz während der Vor-, Nachbereitung und / oder Anwendung einer Methode hoch ist, gleichzeitig stellt sich die Frage, ob mit zunehmender Methodenkenntnis in bestimmten Phasen der Ressourceneinsatz signifikant sinkt. Des Weiteren muss der Ressourceneinsatz in Verhältnis mit dem Ergebnis bzw. dem Nutzen

gesetzt werden, was die Komplexität der Bewertung des Ressourceneinsatzes erhöht. Da in diesem Beitrag OF grundsätzlich Potenzial im Hinblick auf ressourceneffiziente Nutzung von Foresight zugeschrieben wird, wird vor diesem Hintergrund die Ressourcenintensität nicht explizit als eigenes Kriterium ins Bewertungsschema aufgenommen, sondern ist implizit in den aggregierten Dimensionen integriert. Die besonderen Bedürfnisse und Erwartungen von KMU, wie die konkrete Nutzen- oder Ergebnisorientierung und dem Umfang an erforderlichen Foresight-(Methoden)Kenntnissen wurden im Schema berücksichtigt. Eine noch stärkere Verknüpfung mit der Praxis soll durch die Einbindung anwendender Personen aus KMU erfolgen. In weiteren Workshops zur Verfeinerung des Schemas sollen einerseits konkrete Fälle aus der Praxis im gemeinsamen Diskurs eingeordnet und andererseits die Kriterien im Hinblick auf deren Praxistauglichkeit diskutiert und dadurch weiterentwickelt werden.

Alle ausgewählten Methoden bieten Spielraum in der konkreten Ausgestaltung, der Durchführung, der Zielsetzung und dem zu erreichenden Ergebnis. Dies führt dazu, dass alle bewerteten Methoden einen größeren Bereich im Bewertungsschema einnehmen und nicht einem bestimmten Punkt in der Matrix zugeordnet werden können. Die Bewertung stellt damit eine Tendenz und einen Bereich dar, innerhalb dem eine Methode verortet ist und bietet einen Anhaltspunkt, wo sie prinzipiell einzuordnen ist sowie wo und in welchem Maße Varianz besteht.

Das Bewertungsschema ist ein erster Entwurf, die Entwicklung weist verschiedene Limitierungen auf. So ist die Anzahl der betrachteten Methoden noch relativ gering, u. a. da die Auswahl auf einer engen Definition basiert. Daher ist in einem weiteren Schritt die Öffnung der definitorischen und methodischen Bandbreite zu diskutieren. Beispielsweise könnten weitere gängige, hier nicht extrahierte Foresight-Methoden in die Bewertung mit aufgenommen werden. Ein Ausgangspunkt zur Identifikation weiterer zu bewertender Methoden könnte Poppers Foresight Diamant sein [Pop08], der weitere Methoden enthält, die sich grundsätzlich für die inter-organisationale Kollaboration eignen. Andererseits könnten auch weitere kollaborativ angelegte, ggf. weiter in Bereiche wie Innovations- oder Risikomanagement hineinreichende Methoden, wie zum Beispiel das RPM Screening [KBS07] oder das methodische Vorgehen zur kollaborativen Finanzrisiken-Bewertung [BW19] in die Betrachtung mit aufgenommen werden. Die Recherche nach bereits verwendeten Methoden im Kontext von Open Foresight kann darüber hinaus auf Praxisberichte ausgedehnt werden.

Ein weiterer Ansatz für vertiefende Forschung im Hinblick auf das Bewertungsschema ist der Vergleich mit etablierten Frameworks wie dem bereits genannten Foresight Diamanten, aber auch mit Ausarbeitungen speziell im OF-Feld, wie z. B. dem Methodenvergleich von KORREK [Kor18]. Die dort genannten Methoden wurden aktuell nicht berücksichtigt, da kein Fokus auf inter-organisationaler Kollaboration festgestellt werden konnte. Perspektivisch kann auch die Einbeziehung dieser, wie eingangs benannt und eher im vertikalen OF verorteten, Methoden diskutiert werden. Darüber hinaus ist die Einordnung der Methoden in der Praxis anhand von Fallstudien zu verifizieren und das Bewertungsschema ggf. auszubauen und weiter zu verfeinern, um den Praxismutzen zu maximieren.

Literatur

- [BB18] BROWN, A. D.; BARNARD, B.: Entrepreneurship, Innovation and Strategic Foresight: How Entrepreneurs Engage the Future As Opportunity. *SSRN Electronic Journal*, 2018
- [BDR+19] BRINCKMANN, J.; DEW, N.; READ, S.; MAYER-HAUG, K.; GRICHNIK, D.: Of those who plan: A meta-analysis of the relationship between human capital and business planning. *Long Range Planning*, (52)2, 2019, S. 173–188
- [BFB+22] BERTELLO, A.; FERRARIS, A.; BERNARDI, P. DE; BERTOLDI, B.: Challenges to open innovation in traditional SMEs: an analysis of pre-competitive projects in university-industry-government collaboration. *International Entrepreneurship and Management Journal*, (18)1, 2022, S. 89–104
- [BMP+22] BOOTZ, J.-P.; MICHEL, S.; PALLUD, J.; MONTI, R.: Possible changes of Industry 4.0 in 2030 in the face of uberization: Results of a participatory and systemic foresight study. *Technological Forecasting and Social Change*, (184), 2022, S. 121962
- [BSL18] BRANICKI, L. J.; SULLIVAN-TAYLOR, B.; LIVSCHITZ, S. R.: How entrepreneurial resilience generates resilient SMEs. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, (24)7, 2018, S. 1244–1263
- [BTP15] BATTISTELLA, C.; TONI, A. F. DE; PILLON, R.: The Extended Map methodology: Technology roadmapping for SMES clusters. *Journal of Engineering and Technology Management*, (38), 2015, S. 1–23
- [BW19] BRUNNER-KIRCHMAIR, T. M.; WIENER, M.: Knowledge is power – conceptualizing collaborative financial risk assessment. *The Journal of Risk Finance*, (20)3, 2019, S. 226–248
- [DDK+15] DURST, C.; DURST, M.; KOLONKO, T.; NEEF, A.; GREIF, F.: A holistic approach to strategic foresight: A foresight support system for the German Federal Armed Forces. *Technological Forecasting and Social Change*, (97), 2015, S. 91–104
- [DU08] DAHEIM, C.; UERZ, G.: Corporate foresight in Europe: from trend based logics to open foresight. *Technology Analysis & Strategic Management*, (20)3, 2008, S. 321–336
- [FHM+11] FRANCO, M.; HAASE, H.; MAGRINHO, A.; RAMOS SILVA, J.: Scanning practices and information sources: an empirical study of firm size. *Journal of Enterprise Information Management*, (24)3, 2011, S. 268–287
- [Fri18] FRITZSCHE, A.: Corporate foresight in open laboratories – a translational approach. *Technology Analysis & Strategic Management*, (30)6, 2018, S. 646–657
- [GB09] GRANT, M. J.; BOOTH, A.: A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health information and libraries journal*, (26)2, 2009, S. 91–108
- [GB19] GABRIEL, A.; BITSCH, V.: Impacts of succession in family business. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, (26)3, 2019, S. 304–324
- [HB15] HEGER, T.; BOMAN, M.: Networked foresight—The case of EIT ICT Labs. *Technological Forecasting and Social Change*, (101), 2015, S. 147–164
- [HFZ15] HATAK, I.; FLOH, A.; ZAUNER, A.: Working on a dream: sustainable organisational change in SMEs using the example of the Austrian wine industry. *Review of Managerial Science*, (9)2, 2015, S. 285–315
- [HKA22] HADJINICOLAOU, N.; KADER, M.; ABDALLAH, I.: Strategic Innovation, Foresight and the Deployment of Project Portfolio Management under Mid-Range Planning Conditions in Medium-Sized Firms. *SUSTAINABILITY*, (14)1, 2022, S. 80
- [HL20] HAARHAUS, T.; LIENING, A.: Building dynamic capabilities to cope with environmental uncertainty: The role of strategic foresight. *Technological Forecasting and Social Change*, (155), 2020, S. 120033
- [HR13] HEINONEN, S.; RUOTSALAINEN, J.: Futures Clinique—method for promoting futures learning and provoking radical futures. *European Journal of Futures Research*, (1)1, 2013

- [ISD20] IBORRA, M.; SAFÓN, V.; DOLZ, C.: What explains the resilience of SMEs? Ambidexterity capability and strategic consistency. *Long Range Planning*, (53)6, 2020, S. 101947
- [ITG+20] ISENSEE, C.; TEUTEBERG, F.; GRIESE, K.-M.; TOPI, C.: The relationship between organizational culture, sustainability, and digitalization in SMEs: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, (275), 2020, S. 122944
- [JBH23] JOKINEN, L.; BALCOM RALEIGH, N. A.; HEIKKILÄ, K.: Futures literacy in collaborative foresight networks: advancing sustainable shipbuilding. *European Journal of Futures Research*, (11)1, 2023, S. 1–19
- [JMH+22a] JOKINEN, L.; MÄKELÄ, M.; HEIKKILÄ, K.; APOSTOL, O.; KALLIOMÄKI, H.; SAARNI, J.: Creating futures images for sustainable cruise ships: Insights on collaborative foresight for sustainability enhancement. *Futures*, (135), 2022, S. 102873
- [JMH+22b] JOKINEN, L.; MÄKELÄ, M.; HEIKKILÄ, K.; APOSTOL, O.; KALLIOMÄKI, H.; SAARNI, J.: Creating futures images for sustainable cruise ships: Insights on collaborative foresight for sustainability enhancement. *Futures*, (135), 2022, S. 102873
- [KBS07] KÖNNÖLÄ, T.; BRUMMER, V.; SALO, A.: Diversity in foresight: Insights from the fostering of innovation ideas. *Technological Forecasting and Social Change*, (74)5, 2007, S. 608–626
- [KMG15] KELLER, J.; MARKMANN, C.; GRACHT, H. A. VON DER: Foresight support systems to facilitate regional innovations: A conceptualization case for a German logistics cluster. *Technological Forecasting and Social Change*, (97), 2015, S. 15–28
- [Kor18] KORRECK, S.: Opening up Corporate Foresight: What Can We Learn from Open and User Innovation? *Journal of Innovation Management*, (6)3, 2018, S. 153–177
- [LS22] LAURELL, C.; SANDSTROM, C.: Social Media Analytics as an Enabler for External Search and Open Foresight—The Case of Tesla's Autopilot and Regulatory Scrutiny of Autonomous Driving. *IEEE Transactions on Engineering Management*, (69)2, 2022, S. 564–571
- [MGH22] MEYER, T.; GRACHT, H. A. VON DER; HARTMANN, E.: How Organizations Prepare for the Future: A Comparative Study of Firm Size and Industry. *IEEE Transactions on Engineering Management*, (69)2, 2022, S. 511–523
- [MGK+12] MARKMANN, C.; GRACHT, H. A. VON DER; KELLER, J.; KROEHL, R.: Collaborative foresight as a means to face future risks – An innovative platform conception. In: Rothkrantz, L.; Ristvej, J.; Franco, Z. (Hrsg.): *ISCRAM 2012 conference proceedings book of papers – 9th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*. Simon Fraser University, Vancouver, 2012
- [PDN19] POURU, L.; DUFVA, M.; NIINISALO, T.: Creating organisational futures knowledge in Finnish companies. *Technological Forecasting and Social Change*, (140), 2019, S. 84–91
- [PE20] PERENO, A.; ERIKSSON, D.: A multi-stakeholder perspective on sustainable healthcare: From 2030 onwards. *Futures*, (122), 2020, S. 102605
- [PKM+17] POMBO-JUÁREZ, L.; KÖNNÖLÄ, T.; MILES, I.; SARITAS, O.; SCHARTINGER, D.; AMANATIDOU, E.; GIESECKE, S.: Wiring up multiple layers of innovation ecosystems: Contemplations from Personal Health Systems Foresight. *Technological Forecasting and Social Change*, (115), 2017, S. 278–288
- [Pop08] POPPER, R.: How are foresight methods selected? *Foresight*, (10)6, 2008, S. 62–89
- [RBH15] ROHRBECK, R.; BATTISTELLA, C.; HUIZINGH, E.: Corporate foresight: An emerging field with a rich tradition. *Technological Forecasting and Social Change*, (101), 2015, S. 1–9
- [RH23] RASZTAR, L. A.; HÖLZLE, K.: Anwendung von Foresight-Aktivitäten in kleinen und mittleren Unternehmen, 2023
- [RK18] ROHRBECK, R.; KUM, M. E.: Corporate foresight and its impact on firm performance: A longitudinal analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, (129), 2018, S. 105–116

- [RS13] ROHRBECK, R.; SCHWARZ, J. O.: The value contribution of strategic foresight: Insights from an empirical study of large European companies. *Technological Forecasting and Social Change*, (80)8, 2013, S. 1593–1606
- [SLP19] SUVONOVÁ, H.; LEE, J.; PARK, T.: Organizational preparedness for corporate entrepreneurship and psychological capital: does the managerial level matter? *Asian Journal of Technology Innovation*, (27)3, 2019, S. 359–376
- [SR14] SU, P.; REN, S.: Sustaining Competitiveness in the Economic Recession: Exploration and Exploitation in Two Small- and Medium-Sized Enterprises in a Developing Economy. In: Stettner, U.; Aharonson, B. S.; Amburgey, T. L. (Eds.): *Technology, Innovation, Entrepreneurship and Competitive Strategy*. Emerald Group Publishing Limited, 2014, pp. 237–262
- [SR22] SPANIOL, M. J.; ROWLAND, N. J.: Business ecosystems and the view from the future: The use of corporate foresight by stakeholders of the Ro-Ro shipping ecosystem in the Baltic Sea Region. *Technological Forecasting and Social Change*, (184), 2022, S. 121966
- [SRW20] SCHWARZ, J. O.; ROHRBECK, R.; WACH, B.: Corporate foresight as a microfoundation of dynamic capabilities. *FUTURES & FORESIGHT SCIENCE*, (2)2, 2020, e28
- [SSE13a] SCHATZMANN, J.; SCHÄFER, R.; EICHELBAUM, F.: Foresight 2.0 - Definition, overview & evaluation. *European Journal of Futures Research*, (1)1, 2013
- [SSE13b] SCHATZMANN, J.; SCHÄFER, R.; EICHELBAUM, F.: Foresight 2.0 - Definition, overview & evaluation. *European Journal of Futures Research*, (1)1, 2013
- [SW18] SCHMIDTHUBER, L.; WIENER, M.: Aiming for a sustainable future: conceptualizing public open foresight. *Public Management Review*, (20)1, 2018, S. 82–107
- [Vec15] VECCHIATO, R.: Creating value through foresight: First mover advantages and strategic agility. *Technological Forecasting and Social Change*, (101), 2015, S. 25–36
- [vHS14] VAN DER DUIN, P.; HEGER, T.; SCHLESINGER, M. D.: Toward networked foresight? Exploring the use of futures research in innovation networks. *Futures*, (59), 2014, S. 62–78
- [VR10] VECCHIATO, R.; ROVEDA, C.: Strategic foresight in corporate organizations: Handling the effect and response uncertainty of technology and social drivers of change. *Technological Forecasting and Social Change*, (77)9, 2010, S. 1527–1539
- [WFD+14] WEIGAND, K.; FLANAGAN, T.; DYE, K.; JONES, P.: Collaborative foresight: Complementing long-horizon strategic planning. *Technological Forecasting and Social Change*, (85), 2014, S. 134–152
- [WGS18] WIENER, M.; GATTRINGER, R.; STREHL, F.: Participation in inter-organisational collaborative open foresight A matter of culture. *Technology Analysis & Strategic Management*, (30)6, 2018, S. 684–700
- [WGS20] WIENER, M.; GATTRINGER, R.; STREHL, F.: Collaborative open foresight - A new approach for inspiring discontinuous and sustainability-oriented innovations. *Technological Forecasting and Social Change*, (155), 2020, S. 119370
- [Wie18] WIENER, M.: Open foresight: The influence of organizational context. *Creativity and Innovation Management*, (27)1, 2018, S. 56–68
- [WSK15] WEBER, C.; SAILER, K.; KATZY, B.: Real-time foresight — Preparedness for dynamic networks. *Technological Forecasting and Social Change*, (101), 2015, S. 299–313

Autoren

Christina Moser hat einen Master in Zukunftsforschung und ist wissenschaftliche Mitarbeiterin sowie Doktorandin am Bayerischen Foresight Institut der Technischen Hochschule Ingolstadt. Dort forscht und lehrt sie unter anderem in den Bereichen Foresight, Futures Literacy

und Predictable Surprises. Seit 2020 ist sie zudem als freiberufliche Beraterin an der Schnittstelle von Geschäftsmodellentwicklung und Zukunftsforschung tätig und hat unter anderem ein Format zur Zukünfte-Kreation, die „Future Creation Challenge“, entwickelt.

Prof. Dr. Alexander Schönmann ist Forschungsprofessor für „Technology Design and Application“ an der Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen sowie Studiengangleiter für den Master „Global Foresight and Technology Management“ an der Technischen Hochschule Ingolstadt. Er fokussiert in seiner Forschungstätigkeit die Themenfelder der „Technologievorausschau“, der „antizipativen Technologieplanung und -bewertung“ sowie der Gestaltung von Technologieentwicklungsprozessen. Er hat seinen methodischen Schwerpunkt in der Entwicklung von Methoden und Modellen gesetzt, welche wirkende Unsicherheiten und Unschärfen berücksichtigen können.

Stefanie Wrobel hat nach einem dualen Studium Betriebswirtschaftslehre und einer mehrjährigen Berufstätigkeit ein Diplomstudium Umweltwissenschaften und eine Promotion an der Universität Bayreuth in den Ingenieurwissenschaften absolviert. Das Thema Nachhaltigkeit hat sie in den darauffolgenden beruflichen Stationen immer intensiver verfolgt. In ihrer heutigen Position als Professorin für Business Development & Transformation Management des Bayrischen Foresight Instituts der Technischen Hochschule Ingolstadt verknüpft sie in Lehre und Forschung Themen aus den Bereichen Nachhaltigkeit, Entrepreneurship, Leadership und Foresight mit einem besonderen Fokus auf KMU. Sie ist neben ihrer Tätigkeit als Forschungsprofessorin freiberufliche Dozentin, Speakerin und Autorin.

Monitoring & Roadmapping von Zukunftsszenarien mit Szenario-Lackmus-Test

Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Grienitz¹

¹ Hochschule Wismar, volker@grienitz.de

Zusammenfassung

Im Foresight-Management und insbesondere bei der Entwicklung von Zukunftsszenarien stellt sich oft die Frage: „Auf welches Szenario sollte ich mich konzentrieren?“ Der Vorteil der Szenariotechnik, mit verschiedenen Zukünften arbeiten zu können, wird somit schnell zum Nachteil.

In einer komplexen Welt besteht der Wunsch nach klaren Botschaften und einfachen Antworten [Hab18-ol]. Die Vielzahl der entwickelten Zukunftsszenarien ist diesbezüglich häufig kontraproduktiv. Der Abgleich mit aktuellen Entwicklungen, auch bekannt als „Blick durchs Fenster“, hilft bei der Auswahl des relevanten Szenarios. Allerdings ändern sich Rahmenbedingungen und andere Zukünfte können an Bedeutung gewinnen. Um eine Positionsbestimmung vorzunehmen, ist es notwendig, regelmäßig einen Szenario-Indikator-Test, vergleichbar dem Lackmus-Test für pH-Werte in der Chemie [Kur23], durchzuführen, ohne von möglichen Wahrscheinlichkeiten getrieben zu werden [GHS14].

Der Beitrag beschreibt die Adaption der Tipping-Point-Theorie von Gladwell [GF16] auf Zukunftsszenarien und zeigt anhand von Beispielen das Potenzial für den Szenario-Transfer auf [HK20], [ORi13]. Ein zentrales Kommunikationsmittel ist die Landkarte der Zukünfte, die Ähnlichkeiten durch räumliche Nähe abbildet. Mit dieser multidimensionalen Darstellung können beispielsweise aktuelle Entwicklungen, wünschenswerte Szenarien oder auch regionale Besonderheiten visuell dargestellt werden. Durch die Antizipation verschiedener Zeithorizonte können mögliche Entwicklungspfade (Szenario-Roadmaps) visualisiert werden [CWC+16].

Der vorliegende Beitrag zeigt am Beispiel von zukünftigen Branchenszenarien der Automobilindustrie, wie die Szenariokommunikation bereits bei der Projektionsermittlung vorbereitet werden kann. Der Szenario-Lackmus-Test wird in seiner Vorgehensweise, Wirkung und den Anwendungsmöglichkeiten detailliert beschrieben. Abschließend werden Restriktionen der Anwendung sowie zukünftige Forschungspotenziale erläutert, um Raum für weiterführende Diskussionen zu schaffen.

Schlüsselworte

Zukunftsszenarien, Monitoring, Kippunkt, Wünschbarkeit, Erwartbarkeit, Roadmapping

Monitoring & roadmapping of future scenarios with scenario litmus test

Abstract

In the field of foresight management, particularly when developing future scenarios, a common question arises: which scenario should be the primary focus? The capacity of the scenario technique to facilitate the exploration of diverse futures can, in certain circumstances, give rise to a disadvantage.

In a complex world, there is a desire for clear and unambiguous messages and simple answers [Hab18-ol]. The large number of future scenarios developed is often counterproductive in this respect. A comparison with current developments, also known as 'looking through the window', helps to select the relevant scenario. However, it should be noted that framework conditions change, and other futures can become more important. In order to determine a position, it is necessary to regularly carry out a scenario indicator test, comparable to the litmus test for pH values in chemistry [Kur23], without being driven by possible probabilities [GHS14].

This article presents an adaptation of Gladwell's tipping point theory [GF16] to future scenarios, with illustrative examples that demonstrate the potential for scenario transfer [HK20], [ORi13]. A principal method of communication is the map of futures, which illustrates similarities through spatial proximity. This multidimensional representation may be employed, for instance, to illustrate current developments, prospective scenarios, or regional characteristics. By anticipating different time horizons, potential development pathways (scenario roadmaps) can be visualized [CWC+16].

This article employs the automotive industry as a case study to illustrate the utility of scenario communication at the projection stage. The procedure, effect and potential applications of the scenario litmus test are described in detail. In conclusion, the limitations of the present study and avenues for future research are delineated to facilitate further discourse.

Keywords

Future Scenarios, Monitoring, Tipping Point, Desirability, Expectability, Roadmapping

1 Einleitung und Motivation

In einer sich rasch wandelnden Welt, die durch technologische Fortschritte und gesellschaftliche Veränderungen gekennzeichnet ist, werden dem Verständnis gegenwärtiger Trends sowie der Antizipation zukünftiger Entwicklungen eine immer größere Bedeutung beigemessen [MSM10]. Aus diesem Grund stellt die Überwachung von Zukunftsszenarien einen wesentlichen Aspekt in der Entwicklung und Implementierung strategischer Planungen dar. Die vorliegende Einleitung erläutert die Notwendigkeit und Bedeutung der Überwachung von Zukunftsszenarien sowie die Motivation, die dieser Aufgabe zugrunde liegt.

Durch den steten und raschen Wandel ist eine Zunahme an Unsicherheit und Komplexität zu beobachten [BG23], [Vog20]. Die Bewältigung globaler Herausforderungen, wie des Klimawandels, geopolitischer Spannungen, technologischer Umbrüche und wirtschaftlicher Schwankungen, erfordern ein tiefgreifendes Verständnis möglicher denkbaren zukünftiger Entwicklungen [SM21]. Aufgrund dessen sollten Unternehmen, Regierungen und Organisationen folglich Zukunftsszenarien entwickeln, die durch das Vorausdenken eine Grundlage für Flexibilität und Anpassungsfähigkeit im Handeln ermöglichen.

Ein wesentlicher Baustein nach der Entwicklung von Zukunftsszenarien liegt in der Überwachung, dem Monitoring der Szenarien. Nur so können denkbaren Entwicklungspfade und die Vorbereitung auf eine Vielzahl möglicher Entwicklungen wirksam vorgenommen werden. Das Monitoring unterstützt dabei, potenzielle Risiken nach der Erstellung zeitnah zu identifizieren und Chancen zu nutzen [BKO+21], [MSM10]. Durch das Verständnis möglicher Entwicklungen können Maßnahmen ergriffen werden, die eine Minimierung negativer Auswirkungen und eine Förderung positiver Entwicklungen zum Ziel haben. Andererseits besteht die Möglichkeit, wünschenswerte Entwicklungen, die zu wünschenswerten Zukunftsszenarien führen, aktiv zu begleiten und den komplexen Pfad dorthin in einfacher Weise darzustellen.

Die Motivation, Zukunftsszenarien zu überwachen, liegt in der Notwendigkeit, Unsicherheiten zu reduzieren und fundierte Entscheidungen treffen zu können. Die Beobachtung von Zukunftsszenarien fördert den Dialog und die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Stakeholdern [SGG14]. Durch den Austausch von Perspektiven und Informationen kann eine Grundlage für die Definition und Verfolgung gemeinsamer Ziele geschaffen werden. Die kontinuierliche Auseinandersetzung mit Zukunftsszenarien trägt zur Erweiterung des Wissens und zur Förderung der Bildung bei. Dies befähigt Entscheidungsträger, informierte und zukunftsorientierte Entscheidungen zu treffen.

Über Newsletter, Expertengespräche, Zeitschriften oder andere vertrauenswürdige Quellen werden zahlreiche Informationen bereitgestellt. Die Herausforderung besteht darin, diese mit den erstellten Zukunftsszenarien zu verknüpfen und die im Erstellungsprozess der Szenarien vorgenommen Annahmen im Lichte der aktuellen Entwicklungen zu reflektieren. Die kontinuierliche Beobachtung und Analyse von Zukunftsszenarien durch Indikatoren, welche auf bevorstehende Veränderungen hinweisen, müssen in einen kontinuierlichen Prozess münden. Nur so können Unternehmen, Organisationen und Gesellschaften auf die Herausforderungen und

Chancen von morgen vorbereitet werden. Mit der Monitoring-Erweiterung stellen Zukunftsszenarien einen wesentlichen Baustein für die strategische Planung zur erfolgreichen, resilienten und proaktiven Bewältigung von Unsicherheiten der Zukunft dar [NGB+23], [EEM21].

2 Entwicklung von Zukunftsszenarien

Die Erstellung von Zukunftsszenarien ist eine Methode des Foresight-Managements. Der wirksame Einsatz diesen Methoden und Tools des Foresight-Managements wird als die Fähigkeit beschrieben, Wettbewerbsvorteile zu generieren [Ras00]. Denn wer die Veränderungen der Zukunft antizipiert, ist wesentlich besser vorbereitet, zukunftsgerichtete Produkte und Dienstleistungen für Märkte von heute und morgen anzubieten. Diese Aussage ist eine Schlussfolgerung des Mantras der Zukunftsforschung: „*Der Erfolg von heute ist noch lange nicht der Garant für den Erfolg von Morgen.*“

Der Erfolg ist maßgeblich von einer angemessenen Kombination und Anpassung analytischer und kommunikativer Methoden abhängig. Das Ziel besteht in der Antizipation möglicher Zukünfte. Dies wird durch die folgende Aussage unterstrichen:

„*Es ist nicht notwendig, die Zukunft zu kennen, sondern auf die Zukunft vorbereitet zu sein*“ [HP07]

Innerhalb des Foresight-Managements können Szenarien als hilfreich erachtet werden, sofern komplexe zukünftige Situationen und Problematiken betrachtet werden. Der Begriff „komplex“ impliziert die Präsenz einer Vielzahl von Einflussfaktoren, deren Interaktionen untereinander von hoher Komplexität sind, sowie die Möglichkeit einer Vielzahl von Antworten auf das Problem. Die Szenariotechnik stellt ein wesentliches Instrument der Vorausschau und Zukunftsgestaltung dar. Eine Vielzahl von Autoren hat sich mit der Klassifikation und Kategorisierung verschiedener Ansätze der Szenariotechnik und auch Szenarioplanung auseinandergesetzt. Fink und Siebe geben einen sehr guten Überblick [FS16].

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit erfolgt eine Konzentration auf den Bereich der induktiven Szenarioerstellung [KD22]. Dies impliziert, dass die Szenarien in systematischer Weise durch aufeinander aufbauende Methodenschritte entwickelt werden. Grundsätzlich ist die Methodik Szenariotechnik für unterschiedliche Fragestellungen des systemischen Denken und Handelns einsetzbar. Aus diesem Grund gilt folgende generische Definition im Sinne des Systems Engineering mit spezifischen Fokus auf das Komplexitätsmanagement:

A scenario is based upon the knowledge of the number of all necessary parameters that can adequately describe a question, thus considering the parameters' behavior, emphasis and role within the system. The key parameters are a reduction of all parameters with the help of an indirect influence analysis. Scenarios represent different but homogeneous groups of compatible combinations of the parameters' characteristics. Scenarios are consistent system states that consider all thinkable characteristics in an intelligent morphological analysis. [Gri15]

In diesem Artikel wird der Szenario-Lackmus-Test-Ansatz im Rahmen von Zukunftsszenarien nach der grundsätzlichen Vorgehensweise nach Grienitz dargestellt. Der Autor hat in den zahlreichen Anwendungsjahren jedoch eine Weiterentwicklung des grundsätzlichen Vorgehens nach Gausemeier vorgenommen. Für die dargestellte Definition gilt folgender Transfer:

Tabelle 1: Adaption der generischen Definition von Szenariobausteinen nach Grienitz (links) in Bezug auf Zukunftsszenarien im Verständnis nach Gausemeier

| generische Definition von Szenarien | allgemeine Übersetzung auf Zukunftsszenarien |
|---|--|
| <i>parameter /</i> Merkmale | Einflussfaktoren |
| <i>behavior /</i> Verhalten | Verhalten der Einflussfaktoren auf Basis der Einflussanalyse nach Aktiv- und Passivsumme |
| <i>emphasis /</i> Gewichtung | Gewichtungsanalyse durch paarweisen Vergleich der Bedeutung |
| <i>role /</i> Rolle | Bestimmung der Rolle eines Einflussfaktors im System durch Netzwerkanalysen |
| <i>key parameter /</i> Schlüsselmerkmale | Schlüsselfaktoren |
| <i>parameter's characteristics /</i> Schlüsselmerkmalsausprägungen | Zukunftsprojektionen, denkbare Entwicklungen in der Zukunft |
| intelligente morphologische Analysis – Mehrzieloptimierung durch evolutive näre Strategien - Szenarioberechnung | Berechnung der Zukunftsszenarien auf Basis von Konsistenzmatrix und -algorithmus |

Bei einer detaillierten Betrachtung der Kernelemente der Szenariotechnik lassen sich zwei Säulen einer generischen Vorgehensweise identifizieren, die eine Bearbeitung verschiedener Fragestellungen des Komplexitätsmanagements ermöglichen. Mit der *Systemanalyse* und dem *Systemdesign* können verschiedene Fragestellungen des Komplexitätsmanagements bearbeitet werden [Gri15].

Die **Systemanalyse** basiert auf einem vernetzten und ganzheitlichen Denkansatz. Die Berücksichtigung aller relevanten Merkmale einer Fragestellung sowie deren Beziehungen zueinander stellt einen wesentlichen Aspekt der Systemanalyse dar. In ihrer Definition des Komplexitätsmanagements führen Ulrich und Probst aus, dass es sich hierbei um die Kenntnis der Anzahl der Faktoren und deren Vernetzung handelt [UP95].

Das **Systemdesign** basiert auf dem Denken in morphologischen Strukturen. Eine Vielzahl von Fragestellungen lässt sich auf eine Struktur des morphologischen Kastens zurückführen, sodass sich die Frage nach möglichen Lösungszuständen anschließt. In der Definition von Ulrich und Probst zum Komplexitätsmanagement wird dieser Aspekt nach der Kenntnis der Systemzustände definiert [Gri15], [UP95].

In der Szenariotechnik werden Szenarien als Repräsentanten aller denkbaren Systemzustände definiert. Die Bildung der relevanten Szenarien erfolgt mittels Konsistenzanalyse, wodurch eine innere Widerspruchsfreiheit gewährleistet wird. Insofern stellen Zukunftsszenarien, in Ergänzung zur allgemeinen Definition oben, denkbare Entwicklungszustände im Zukunftsraum dar.

Die generische Vorgehensweise zur Erstellung von Szenarien erfolgt in vier Schritten (Bild 1):

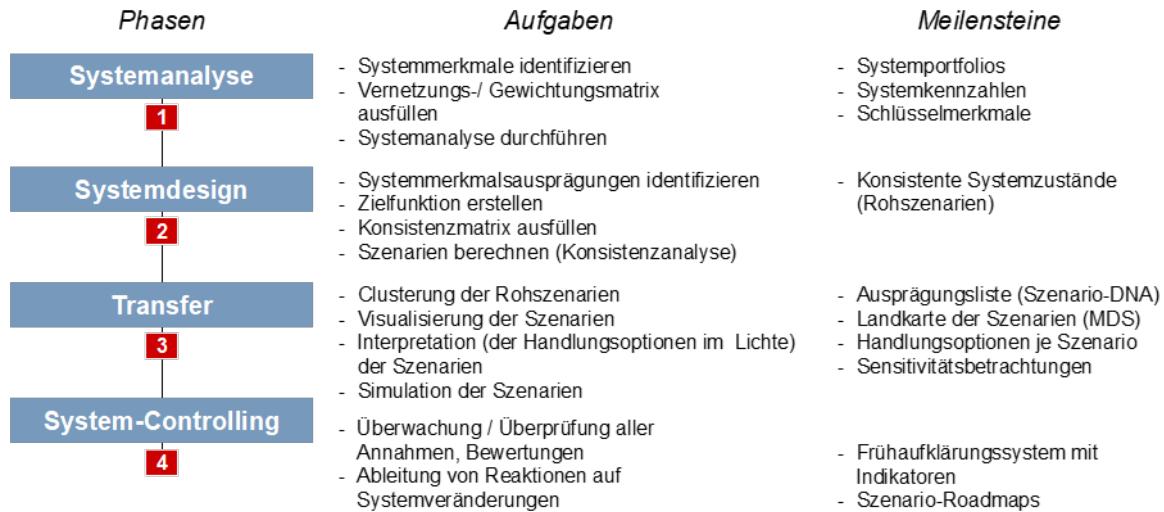


Bild 8: Generisches Vorgehensmodell der Szenariotechnik [Gri15]

2.1 Systemanalyse

Im Rahmen der Systemanalyse erfolgt zunächst die Festlegung des Betrachtungsgegenstandes für die Zukunftsszenarien. Zusätzlich ist eine geografische Abgrenzung vorgesehen. Die Ein-grenzung auf ein geografisches Gebiet ist insofern sinnvoll, da es in der Regel sehr differenzierte Entwicklungen an verschiedenen Orten der Welt gibt. Im zweiten Schritt erfolgt die Festlegung des zeitlichen Horizonts der Vorausschau. Märkte haben unterschiedliche Entwicklungstempo. So ist die Luft- und Raumfahrt von eher langfristigen Produktlebenszyklen geprägt, wohingegen die Kommunikationsmärkte wesentliche kürzere Veränderungszeiträume haben. Mit diesen Angaben werden abstrakt die Systemgrenzen der Zukunftsvorausschau definiert, bspw. wie im Beispiel: „Zukunft der Mobilität im ländlichen Raum in Westeuropa im Jahr 2030“.

Im Folgenden werden sämtliche relevanten Einflussfaktoren identifiziert und in einer wertneutralen Beschreibung dokumentiert, soll heißen, dass die Einflussfaktoren keine Zukunftsperspektiven enthalten [FS16]. Daran schließt sich die Analyse der Beeinflussung aller Einflussfaktoren, mithilfe einer Einflussmatrix, an. Weiterhin werden die Einflussfaktoren auf Ihre paarweise Bedeutung für die Fragestellung, mit Hilfe einer Relevanzmatrix, bewertet. Im Anschluss werden auf Basis der beiden Bewertungen Netzwerkanalysen durchgeführt. Die Analyse des Verhaltens der Faktoren und ihrer Rolle im System erlaubt die Identifikation von wenigen Schlüsselfaktoren, welche als signifikante Elemente des Systems definiert werden können.

2.2 Systemdesign

Im Rahmen des Systemdesigns erfolgt eine Identifikation alternativer Ausprägungen für die Schlüsselfaktoren. Die Beschreibung alternativer, denkbarer, zukünftiger Entwicklungen wird als „Zukunftsprojektion“ bezeichnet. Die einzelnen Zukunftsprojektionen werden durch einen kurzen, prägnanten Titel repräsentiert. Des weiteren wird für jede Zukunftsprojektion ein Text verfasst, welcher die denkbare, zukünftige Situation für den jeweiligen Schlüsselfaktor beschreibt. Alle Projektionen sollten alternativ auftreten können, sie dürfen sich untereinander nicht ausschließen. Es ist weiterhin darauf zu achten, dass in der Beschreibung keine Querbeziehungen zu anderen Zukunftsprojektionen anderer Faktoren bestehen.

An dieser Stelle erfolgt auch die weitere Dokumentation wesentlicher Informationen für das Monitoring bzw. Roadmapping. Sie umfasst die Angabe von zeitlichen Einordnungen oder Bewertungen, wie beispielsweise die Wünschbarkeit, Erwartbarkeit oder Nähe zu heutigen Entwicklungen.

Aus diesen Ergebnissen kann eine morphologische Struktur nach Zwicky, mit Merkmalen und deren Ausprägungen, aufgestellt werden [Zwi57]. Im Folgenden werden mit Hilfe der Konsistenzmatrix, in der das gemeinsame Auftreten aller Zukunftsprojektionen untereinander, vorausgedacht wird. Diese Matrix liefert die Basis für die Konsistenzberechnung, welche im Detail mit Hilfe eines naturanalogen Optimierungsverfahrens - den evolutionären Strategien berechnet [Gri04] erfolgt. Der mögliche Lösungsraum ist sehr groß, so würden bspw. 15 Schlüsselfaktoren mit jeweils 4 Zukunftsprojektionen bereits $4^{15} = 1.073.741.824$ theoretisch mögliche Szenarien berechnet werden können. Über die Bewertungen in der Matrix werden inkonsistente Kombinationen ausgeschlossen. Da bei der Berechnung der Szenarien neben der Konsistenz noch andere Kriterien, wie die Zeithorizonte berücksichtigen kann, handelt es sich bei der Berechnung um eine Mehrzieloptimierung. Die evolutionären Strategien imitieren bei der Lösungsfundung die Natur. Die Szenarien werden über fortlaufende Generationen berechnet, bei denen nur diejenigen Lösungen weiterverarbeitet werden, die die Zielfunktion am besten erfüllen – ganz im Verständnis von Darwin's Evolutionstheorie [Nis94].

2.3 Szenario-Transfer

In der Transferphase erfolgt eine Übersetzung der Rechenergebnisse in übersichtliche Tabellen und einfache Grafiken, die eine Kommunikation der Inhalte ermöglicht. Ein Beispiel für die aufbereitete Textdarstellung der Ergebnisse ist die sogenannte Szenario-DNA, bei der die prozentuale Zugehörigkeit der relevanten Zukunftsprojektionen je Szenario abgebildet wird. Über diese Darstellung können die szenariospezifischen Zukunftsprojektionen sehr schnell aufgrund der farblichen Codierung erfasst werden.

Darüber hinaus erfolgt eine Visualisierung der Zukunftsszenarien mittels multidimensionaler Darstellungen (MDS). Diese Visualisierung erfolgt unter Zuhilfenahme mathematischer Verfahren, wie etwa der Cluster-Analyse und der MDS, bei der inhaltliche Nähe in eine räumliche Nähe übersetzt wird [KD22]. Die auf diese Weise erzeugten „Landkarten der Zukunft“ stellen ein zentrales Kommunikationsmedium dar. Eine weitere Möglichkeit, die Zukunftsszenarien

besser zu verstehen, bieten die sogenannten „Picture of the future“. Dazu werden Bildercollagen erzeugt, welche die prozentuale Zuordnung der Szenario-DNA-relevanten Bilder wider-spiegeln. Jede relevante Zukunftsprojektion wird dabei durch ein Bild repräsentiert.

2.4 Szenario-Controlling

Die Phase des Controllings dient der regelmäßigen Überprüfung aller Elemente der Szenarien sowie der im Erstellungsprozess getroffenen Annahmen und Bewertungen. Die Integration von Controlling und Monitoring in die Unternehmensstrategie erfordert ein zukunftsoffenes und vernetztes Denken, da nur so eine ganzheitliche und nachhaltige Unternehmensentwicklung gewährleistet werden kann.

Das Controlling nimmt eine entscheidende Rolle bei der Gestaltung und Überwachung von Zukunftsszenarien ein [MSM10]. Es ermöglicht Unternehmen, ihre Visionen und strategischen Ziele zu konkretisieren, sich auf eine Vielzahl möglicher Entwicklungen vorzubereiten und diese in handhabbare Roadmaps umzusetzen. Monitoring bezeichnet einen fortlaufenden Prozess, dessen Ziel es ist, die den Zukunftsszenarien zugrunde liegenden Annahmen kontinuierlich zu hinterfragen und zu aktualisieren. Die genannten Annahmen umfassen die Wahl der Einflussfaktoren, die Gewichtungs- und Einflussanalyse, die Auswahl der Schlüsselkriterien, die Bestimmung der Zukunftsprojektionen, die Bewertung der Konsistenz zwischen den Zukunftsprojektionen sowie die Auswahl der Referenzszenarien. Dies impliziert die Beobachtung von Trends sowie die Berücksichtigung von Veränderungen im Unternehmensumfeld. Eine kontinuierliche Umfeldbeobachtung sowie eine Anpassung der Szenarien an neue Erkenntnisse sind unabdingbar, um die Relevanz und Genauigkeit der Zukunftsbilder zu gewährleisten [Hei07], [Kün11].

3 Konzept zum Vorgehen beim „Szenario-Lackmus-Test“

Das in diesem Artikel vorgestellte Konzept basiert auf dem Verständnis, dass es in der Zukunftsforschung im Wesentlichen sehr schwierig bis unseriös ist, mit Eintrittswahrscheinlichkeiten zu arbeiten. Der Blick in die Zukunft erlaubt keine belastbare Berechnung oder bietet keine hinreichende Basis für die Ableitung von Wahrscheinlichkeiten, denn die Zukunftsforschung mit Szenarien hat genau diese Maxime: Die Extrapolation der Vergangenheit in die Zukunft ist selten wirksam. Vielmehr gilt es den Vorteil der Szenariotechnik auszuspielen, dass denkbare, mögliche Zukünften einbezogen werden können.

In der Forschung wurden mehrere Verzerrungen festgestellt, die mögliche Wahrscheinlichkeitsschätzungen und Zukunftsprognosen beeinflussen. Auf zwei soll kurz eingegangen werden, um damit Wahrscheinlichkeiten für diesen Artikel als wenig hilfreichen Beitrag abzuschließen:

- Die Menschen neigen bspw. dazu, die Wahrscheinlichkeit aktueller Ereignisse daraufhin zu überschätzen, dass sie in der Zukunft fortbestehen werden [Bör87]. Diese Annahme beruht auf dem Beharrungswunsch und unzureichenden Anpassungsfähigkeit [GG19].

- Darüber hinaus neigt der Mensch in Bezug auf Zukunftsvorausschau eher zu Optimismus, indem er die Wahrscheinlichkeit positiver Ereignisse überschätzt und negative Ereignisse unterschätzt [Sha11], [Mil78].

Insofern bleiben Aussagen zur Wahrscheinlichkeiten von Zukunftsentwicklungen immer individuell und sind somit auch von persönlichen Entwicklungen, Eindrücken und Wertevorstellungen geprägt [LSF20]. Schlussendlich wären die fehlerbehafteten Einzelwahrscheinlichkeiten der Zukunftsprojektionen wenig hilfreich für die Berechnung der Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Zukunftsszenarios.

3.1 Dokumentation der Zukunftsprojektionen

Die Konzentration auf ausgewählte Zukunftsszenarios kann beim Umgang mit Ungewissheit von Vorteil sein. Wie oben beschrieben, ist die Zuhilfenahme von Wahrscheinlichkeiten kein probates Mittel. Gausemeier verwendet ein Portfolio mit Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung des Zukunftsszenarios [GP14]. Dabei betont er die Bestimmung der Wahrscheinlichkeit anhand von aktuellen Entwicklungen und Indikatoren festzumachen.

Wie könnte ein System der Szenariofokussierung aussehen, ohne punktgenau sagen zu müssen, wie wahrscheinlich ein Szenario ist. Viel besser wäre doch ein Nachweis, dass ein Zukunftsszenario den heutigen Entwicklungen in Gesellschaft und Technik sehr ähnlich ist und ein beliebiges anders grundverschieden. Diese Annahme beruht auf der grafischen Analyse von Zukunftsszenarien und weiteren Aussagen in der weiter unten beschriebenen Landkarte der Zukunft (siehe Bild 5). Diese dimensionslose Darstellung der Szenarien ist das Ergebnis der multidimensionalen Skalierung, die eine Interpretation der Ähnlichkeit über räumliche Nähe erlaubt. Die Kernbotschaft dieser Grafik lautet, je näher zwei Objekte sind, desto ähnlicher sind sie. Übertragen auf die aufgestellte Hypothese bedeutet die Nähe eines Szenarios zu dem Element, welches die heutigen Entwicklungen abbildet, auch eine inhaltliche Ähnlichkeit. Dieses Zukunftsszenario würde also sehr prägnant die Entwicklungen in die Zukunft abbilden, in der sich im Vergleich zu heute wenig verändert hat.

In der Chemie werden das Vorhandensein oder eben nicht von chemischen Elementen oder Verhalten über einfache Tests mit Farbreaktionen erbracht und daraus ergibt sich eine Analogiebildung aus diesem Bereich: Der Lackmus-Test stellt ein einfaches, chemisches Verfahren zur Bestimmung der Acidität bzw. Basizität einer Lösung dar. Der Test basiert auf der Verwendung von Lackmuspapier, welches mit einem Farbstoff aus Flechten getränkt ist. Die Reaktion des blauen Lackmuspapiers in sauren Lösungen ist eine Rotfärbung, während rotes Lackmuspapier in basischen Lösungen eine Blaufärbung aufweist. In neutralen Lösungen bleiben beide unverändert [Kur23]. Der Test erfreut sich großer Beliebtheit aufgrund seiner Einfachheit sowie der raschen Verfügbarkeit von Resultaten. Der Lackmus-Test erfordert keine komplexe Ausrüstung und die Farbänderung erfolgt unmittelbar, sodass eine zeitnahe Einschätzung des pH-Wertes möglich ist. Allerdings liefert der Test lediglich eine grobe Einschätzung und keine exakten pH-Werte.

Übertragen auf die Zukunftsszenarien erfolgt auch eine einfache Zuordnung zu Punkten in der Zukunft, wie heute, wünschbare Zukünfte, bedrohliche Zukünfte etc. Auch hier gibt es am Ende

keine exakte Aussage, eher eine Zuordnung. Dazu werden folgende Bewertungskriterien je Zukunftsprojektion herangezogen: »*Nähe zu heute*«, »*Erwartbarkeit*«, »*Wünschbarkeit*« und Bezug auf die Antwortverlässlichkeit des Bewertenden einen Hinweis zur »*Unsicherheit der Aussagen*«. Diese werden auf dem Steckbrief der Zukunftsprojektion bspw. neben dem Bild und dem Beschreibungstext dokumentiert.

Da es beim Szenario-Lackmus-Test weniger um einen Wert geht, den es zu analysieren gibt, mag der Vergleich etwas hinken, dann wiederum aber auch nicht. Jede Zukunftsprojektion wird wie im Folgenden durch verschiedene Attribute weiter erläutert. Es werden Schwerpunkte herausgearbeitet, welche Projektionen eher den heutigen Entwicklungen entsprechen usw..

Um in der Metapher des Lackmustests zu bleiben, bilden die verschiedenen Attributbewertungen, wie „Wünschbarkeit“ etc. eine Gewichtung von Zukunftsprojektionen. Der so entstandene Teststreifen „Wünschbarkeit“ wird auf die Landkarte der Zukunft (siehe Bild 5) gelegt. Durch die inhaltliche Überprüfung der Nähe zu einem Zukunftsszenario „färbt“ sich der Lackmustreifen mal mehr oder weniger intensiv. Soll heißen je näher die Kombination von Projektionen für das Attribut, bspw. Wünschbarkeit an einem Szenario liegt, desto mehr Bedeutung hat diese Aussage für das Szenario, bspw. wünschbarer ist es. Insofern gibt es zwar den Teststreifen „Wünschbarkeit“, der aber wiederum aus Einzelaussagen zu den Projektionen aggregiert wurde.

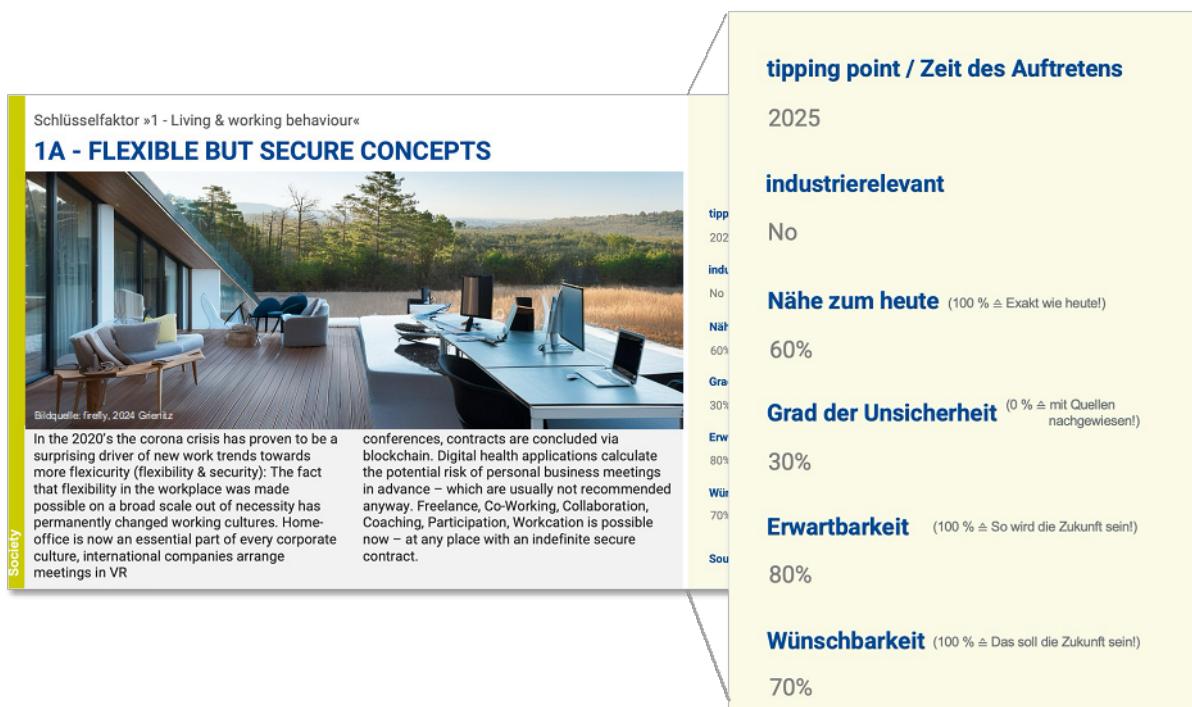


Bild 9: Übersicht der Dokumentation einer Zukunftsprojektion

3.2 Erwartbarkeit

„Der mathematische Wahrscheinlichkeitsbegriff ist entstanden durch das Bestreben, die einmalige subjektive Erwartung möglichst zu objektivieren. Um

dies zu erreichen, muß diese ersetzt werden durch die objektive durchschnittliche Häufigkeit eines Ereignisses bei Wiederholung unter gleichen Bedingungen. [Pau61, S. 18]

Die Definition von Pauli unterstreicht den Unterschied zwischen Wahrscheinlichkeit und Erwartbarkeit. Insofern beschreibt sie Erwartbarkeit von Trends die subjektive die Fähigkeit, zukünftige Entwicklungen und Bewegungen in verschiedenen Bereichen des Lebens vorherzudenken. Historische Zyklen und wiederkehrende Phänomene liefern wertvolle Hinweise darauf, wie sich bestimmte Entwicklungen reproduzieren könnten. Die Verarbeitung großer Datenmengen sowie die Erkennung von Mustern, die für den menschlichen Beobachter nicht unmittelbar ersichtlich sind, werden durch den Einsatz von Big Data und künstlicher Intelligenz ermöglicht [Ble20].

Darüber hinaus sind technologische Innovationen von entscheidender Bedeutung. Die Diffusion neuer Technologien kann bestehende Trends verstärken oder gar neue Trends generieren. Die Fähigkeit, technologische Fortschritte zu antizipieren, basiert auf einem Verständnis der gegenwärtigen Forschung und Entwicklung sowie der Innovationszyklen in verschiedenen Branchen.

Die konjunkturelle Entwicklung und deren zyklische Schwankungen stellen einen weiteren wesentlichen Faktor dar. Die konjunkturelle Entwicklung wirkt sich unmittelbar auf das Konsumverhalten sowie auf die Investitionsentscheidungen der Unternehmen aus. Die Analyse wirtschaftlicher Indikatoren erlaubt das Vorausdenken von Trends in Bereichen wie Konsumgütern, Immobilien oder Investitionen [Kin08].

Die Evaluierung der Zukunftsprojektionen hinsichtlich ihrer Erwartbarkeit erfolgt anhand einer Skala, deren Werte zwischen 0 und 100 % liegen. Das bedeutet, dass bei einem Wert von 100 % davon auszugehen ist, dass alle gegenwärtigen Indizien darauf hindeuten, dass die Zukunft in exakt dieser Form eintreten wird.

3.3 Wünschbarkeit

Die Wünschbarkeit von Trends bezeichnet die Evaluierung der erstrebenswerten oder vorteilhaften Bewertung spezifischer Entwicklungen in diversen Lebensbereichen. Bei der Bewertung der Wünschbarkeit von Trends spielt der gesellschaftliche Nutzen eine zentrale Rolle. Trends, die zu positiven gesellschaftlichen Veränderungen führen, werden in der Regel als wünschenswert erachtet. Ein exemplarisches Beispiel hierfür ist der zunehmende Trend zu Nachhaltigkeit und Umweltschutz. Diese Entwicklungen fördern ein verantwortungsvolleres Verhalten gegenüber der Umwelt und können langfristig zu einer verbesserten Lebensqualität führen [Ble20].

Die technologische Entwicklung ist ein weiterer Faktor, der bei der Bewertung der Wünschbarkeit von Trends zu berücksichtigen ist. Technologische Innovationen, die das Leben der Menschen erleichtern, die Effizienz steigern oder neue Möglichkeiten schaffen, werden in der Regel positiv bewertet.

Die Beurteilung gesellschaftlicher Veränderungen und ihrer Wünschbarkeit erfolgt anhand ihrer Auswirkungen auf das soziale Gefüge sowie die individuelle Lebensqualität. Soziale

Trends, die zu einer Steigerung der sozialen Gerechtigkeit, Inklusion und Chancengleichheit beitragen, werden als besonders erstrebenswert erachtet. Als Beispiel für eine positive Entwicklung können Bewegungen angeführt werden, die sich für die Gleichberechtigung von Geschlechtern und Minderheiten einsetzen [HS16].

Die kulturellen Aspekte der Wünschbarkeit von Trends sind vielfältig und oft subjektiv geprägt. Trends, die eine Förderung der kulturellen Vielfalt sowie eine Intensivierung des interkulturellen Austauschs bewirken, werden in der Regel positiv bewertet. Ebenso fördern sie das Verständnis und die Toleranz zwischen verschiedenen Kulturen, was für eine friedliche und kooperative globale Gemeinschaft von großer Bedeutung ist [SKK20].

Neben den objektiven Kriterien ist auch die individuelle Perspektive von entscheidender Bedeutung für die Bewertung der Wünschbarkeit von Trends. Die Wahrnehmung und Bewertung von Trends sind von individuellen Vorlieben, Werten und Lebensumständen abhängig. Die Präferenz eines Trends durch eine Person sagt nichts über die Relevanz und potenzielle negative Auswirkungen auf eine andere Person aus – insofern ist bei Verallgemeinerungen eine gewisse Vorsicht geboten.

Zusätzlich soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die Wünschbarkeit nicht mit dem Konsistenzwert der Szenarioberechnung vergleichbar ist. Durch die Konsistenzbewertungen werden lediglich die denkbaren Kombinationen von Zukunftsprojektionen untereinander bewertet. Dabei spielen Werte auch eine Rolle, aber eben auch Gesetzmäßigkeiten oder Regeln der Wissenschaft. Der Konsistenzwert, der auch für jedes Szenario berechnet werden kann, ist also neutral und sagt vielmehr etwas über die innere Schlüssigkeit / Konsistenz der Szenarien aus.

Die Evaluierung der Zukunftsprojektionen hinsichtlich ihrer Wünschbarkeit erfolgt anhand einer Skala, mit Werten zwischen 0 und 100 %. Der Wert 100 % verdeutlicht demnach, dass die Zukunft in exakt dieser Form realisiert werden soll.

3.4 Kippunkt – Tipping Point

Der Kippunkt, auch als „Tipping Point“ bezeichnet, beschreibt den Moment, in dem ein Trend eine kritische Schwelle überschreitet und sich mit hoher Geschwindigkeit und Unumkehrbarkeit durchsetzt. Das Konzept ist von zentraler Bedeutung für das Verständnis der Mechanismen, die dazu führen, dass bestimmte Entwicklungen zu einem bestimmten Zeitpunkt und in großem Umfang auftreten und das Verhalten großer Gruppen beeinflussen. Ein wesentlicher Aspekt des Kippunkts ist die Akkumulation kleiner, häufig unbemerter Veränderungen. Diese graduellen Veränderungen akkumulieren sich im Laufe der Zeit und bereiten den Nährboden für den plötzlichen Durchbruch eines Trends [GF16].

Ein Beispiel für die Funktionsweise des Kippunkts ist die allgemein bekannte fast leere Zahnpastatube. Die Tube wird gedrückt und weiterhin bearbeitet, jedoch passiert lange Zeit nichts. Dann aber plötzlich mit großem Schwung – nach dem Tipping Point, entlädt sich die Zahnpasta aus der Tube in einem Schwall.

Die Rolle von Meinungsführern und Early Adopters ist von entscheidender Bedeutung für das Erreichen eines Kipppunktes. Diese einflussreichen Personen oder Gruppen nehmen neue Trends frühzeitig auf und verbreiten sie in ihrem sozialen Umfeld. Ihr Verhalten dient vielfach als Vorbild und beeinflusst die breite Masse. Sobald eine hinreichend große Anzahl an Meinungsführern von einem Trend überzeugt ist, kann dessen Diffusion rasch einsetzen und sich mit hoher Intensität ausbreiten. Aber auch technologische Innovationen und Durchbrüche können als Auslöser für den Kipppunkt fungieren. Die Einführung neuer Technologien führt nicht nur zu neuen Möglichkeiten, sondern auch zu Veränderungen bestehender Strukturen und Gewohnheiten. In Phasen wirtschaftlicher Prosperität zeigen Menschen eine höhere Offenheit für neue Trends und Innovationen, während in Zeiten der Krise eine verminderte Anpassungsbereitschaft und Risikofreude zu beobachten ist [KPK20].

Die Analyse von Daten sowie die Nutzung moderner Analysetools erlauben eine verbesserte Verständnisfähigkeit sowie Prognostizierbarkeit des Kipppunkts eines Trends. Sie ermöglichen das Erkennen von Mustern und Vorzeichen, die auf ein bevorstehendes Überschreiten der kritischen Schwelle hindeuten [KD22].

Die Vorausschau einer Zukunftsprojektion lässt sich metaphorisch mit dem Schlag eines Golfballs vergleichen. Der Abschlagspunkt ist definiert, ebenso wie die Fahne, die das aktuelle Ziel definiert und die aktuelle Bahn vorgibt. In einer Zeitrelation stellt diese Fahne den festgelegten Horizont der Zukunftsszenarien dar. Nach dem Abschlag nimmt der Golfball zunächst eine aufsteigende Bewegung entlang der Schussparabel ein. Mit dem Schlag können zahlreiche Parameter dazu führen, dass der Ball nicht im anvisierten Ziel landen kann: der Abschlag ist miserabel, der Schläger wurde verdreht, der Schlag wurde zu zaghaft durchgeführt, der Wind hat aufgefrischt, ein Vogel durchkreuzt die Flugbahn, Dreck wurde mit dem Ball aufgeschleudert, so dass die Flugeigenschaften verändert sind, etc..

Zu einem bestimmten Zeitpunkt erfolgt die Umkehr der Bewegungsrichtung. Der Ball fliegt nun nicht mehr weiter nach oben, sondern beginnt mit dem Sinkflug. Für diesen Kipppunkt kann der Begriff des „Tipping Points“ verwendet werden. Ab diesem Moment erfolgt eine Veränderung der Bewegungsrichtung, sodass der Golfball auf einem Punkt auf einem erwartbaren Platz zum Landen kommt. In der Analogie stellt der Landepunkt, eine denkbare Zukunftsprojektion dar, während der Kipppunkt einen unvermeidlichen Zeitpunkt bezeichnet. Der Kipppunkt suggeriert eine gewisse Sicherheit hinsichtlich des bevorstehenden Auftretens dieser Zukunftsprojektion. Somit ist erkenntlich, dass jede Zukunftsprojektion einen eigenen Kipppunkt, durch eine Jahreszahl dokumentiert, besitzt.

In der Szenario-Lackmus-Test-Theorie sollen die Kipppunkte helfen, Aussagen darüber zu treffen, ab wann die Beschäftigung mit ausgewählten Zukunftsszenarien zu intensivieren ist. Grundsätzlich sollten alle Zukunftsszenarien im Sinne der Frühaufklärung in Überlegungen einbezogen werden. Jedoch ist vielfach der Mangel an Ressourcen ein Grund dafür, dass eher fokussierte Zukunftsvorbereitungen (mit wenigen Szenarien im Fokus) stattfinden.

Die Zusammenstellung wesentlicher Kipppunkte (bspw. Bild 4) gibt einen Hinweis auf die zeitliche Relevanz der Zukunftsszenarien. Das bedeutet, dass spätestens ab dem Kipppunkt eine intensive Auseinandersetzung mit diesem Zukunftsszenario erfolgen muss.

3.5 Unsicherheit der Aussage

Die Vorausschau mit Szenarien ist ein komplexer Prozess, der mit einer Vielzahl an Unsicherheitsfaktoren einhergeht. Diese Unsicherheit resultiert aus der Vielzahl von Faktoren, welche einen Einflussfaktor und deren Zukunftsprojektionen beeinflussen, sowie der immanenten Unvorhersehbarkeit zukünftiger Entwicklungen.

Ein wesentlicher Grund für die Unsicherheit in der Bewertung ist in der begrenzten Vorhersehbarkeit von Ereignissen und Entwicklungen zu sehen. Selbst unter Zuhilfenahme umfangreicher historischer Daten sowie fortschrittlicher Analysetools bleibt eine Vielzahl von Aspekten der Zukunft ungewiss [KD22]. Unvorhersehbare Ereignisse, wie beispielsweise Naturkatastrophen, politische Umbrüche oder plötzliche technologische Durchbrüche, können bestehende Trends abrupt verändern oder gar neue Trends hervorrufen.

Ein weiteres Element der Unsicherheit liegt in der Subjektivität der Trendbewertung begründet, welche zu einer Bandbreite von Meinungen und Prognosen führt. Dieselbe Datenbasis kann von verschiedenen Experten und Analysten unterschiedlich interpretiert werden, was zu divergierenden Schlussfolgerungen führt. Expertenbefragungen stellen ein gängiges Instrument zur Gewinnung von Einblicken in zukünftige Trends dar, bspw. Delphi-Befragungen [GK22]. Im Rahmen einer Expertenbefragung wird eine Gruppe von Fachleuten zu ihrer Einschätzung hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit und Bedeutung spezifischer Trends befragt. Gleichzeitig wird in der Regel erfragt, wie sicher sich die Experten bei ihrer Bewertung sind. Die Angabe der Unsicherheit in solchen Befragungen ist von entscheidender Bedeutung, um die Verlässlichkeit der Prognosen adäquat einschätzen zu können. Die Verwendung von Unsicherheitsangaben in Expertenbefragungen bietet eine Reihe von Vorteilen. Erstens erlaubt sie eine differenzierte Interpretation der Ergebnisse. Die Angabe von Unsicherheit durch Experten kann darauf hindeuten, dass der betreffende Trend schwer prognostizierbar ist und von einer Vielzahl von variablen Faktoren abhängt. Darüber hinaus kann die Offenlegung von Unsicherheiten in Expertenbefragungen dazu beitragen, die Transparenz und Glaubwürdigkeit der Ergebnisse zu erhöhen. Die Offenlegung von Unsicherheiten seitens der Experten führt zu einer realistischen Darstellung der Vorausschau und vermeidet eine übertriebene Zuversicht. Dies fördert das Vertrauen der Entscheidungsträger in die bereitgestellten Analysen und erleichtert die Grundlage für fundierte Entscheidungen.

Im vorliegenden Ansatz werden die Angaben zur Unsicherheit von Aussagen als mögliches aber nicht immer zwingendes Hilfsmittel herangezogen. Werden also Bewertungen von verschiedenen Experten vorgenommen, in größeren Teams, von verschiedenen Abteilungen o.ä. können durch die Autoren der Zukunftsstudien über die Gewichtung der Aussagen mögliche Verzerrungen ausgeglichen werden. Hierbei besteht andererseits auch die Gefahr, dass die Autoren ihre Meinung stark einbeziehen. Insofern sollte die Berücksichtigung der Unsicherheit mit äußerster Sorgfalt hinterfragt werden.

Die Bewertung der Zukunftsprojektionen in Bezug auf Unsicherheit erfolgt anhand einer Skala von 0 bis 100 %. Dabei steht der Wert 0 % für eine als sicher geltende Entwicklung und Bewertung, die durch zahlreiche verlässliche Quellenangaben belegt ist.

3.6 Bewertungssystem – Landkarte der Zukunft

Da die Szenario DNA (Bild 3 rechte Seite) Grundlage für die Erstellung der multidimensionalen Skalierung – der Landkarte der Zukunft (Bild 5) ist, werden die Aussagen zu den Zukunftsprojektionen vergleichbar dokumentiert. Der Vergleich zur DNA-Darstellung ergibt sich aus der farblichen Hervorhebung der relevanten Zukunftsprojektion je Szenario. Wie in der Forensik, ergeben die relevanten Projektionen ein individuelles Streifenmuster, welches nur für das eine Zukunftsszenario gilt – dieses aber sehr deutlich repräsentiert. Die Bewertung erfolgt anhand einer prozentualen Angabe. Je Schlüsselfaktor ergeben sich 100. Für die Attribute erfolgt noch ein weiterer Schritt der Normierung je Schlüsselfaktor.

Die Einzelbewertungen der Attribute (im Beispiel Erwartung und Wünschbarkeit) erfolgte im Wertebereich von 0-100 (in Bild 3 Erwartungen linke Seite). Für die vergleichende Darstellung zur Szenario-DNA muss die angesprochene Normierung auf 100 je Schlüsselfaktor (Bild 3 Erwartungen rechte Seite) stattfinden.

Die Landkarte der Szenarien stellt den zentralen Baustein für die Aussagen zur Auswahl der Zukunftsszenarien und der Interpretation dar. Darin werden die Szenarien entsprechend ihrer inhaltlichen Nähe zueinander grafisch abgebildet. Die dahinter liegende Methode ist die multidimensionale Skalierung (MDS).

Die MDS ist eine Technik der multivariaten Statistik, die verwendet wird, um die Ähnlichkeiten oder Distanzen zwischen verschiedenen Objekten visuell darzustellen. Diese Methode ist besonders nützlich, wenn komplexe Datensätze in eine niedrigdimensionale Darstellung – in zwei- oder dreidimensionalen Abbildungen überführt werden sollen und um Muster bzw. Strukturen zu erkennen [BSL+08].

Im ersten Schritt werden die prozentualen Angaben zur Verteilung der Zukunftsprojektionen je Szenario zusammengestellt und es entsteht ein Verteilungsvektor je Szenario (Szenario-DNA). Diese Vektoren werden anschließend in einer Distanzmatrix paarweise verarbeitet. Diese Matrix enthält die paarweisen Abstände oder Ähnlichkeiten zwischen den Szenarien. Die Distanzen können auf verschiedene Weisen berechnet werden, wie z.B. durch den euklidischen Abstand, Manhattan-Distanz oder andere Metriken, die für den spezifischen Anwendungsfall geeignet sind. In der Szenariotechnik hat sich die euklidische Methode durchgesetzt.

Die Erstellung der Distanzmatrix sowie die Überführung der einzelnen Vektoren in eine Software, wie bspw. permap ist etablierter Stand der Technik und wurde von mehreren Autoren sehr gut beschrieben [GP14, S. 186f], [Bät04, S. 183f], [Rey13, S. 120f].

| Schlüsselfaktor | Zukunftsprojektion | Controlling | | | | Zukunftsszenarien | | | |
|---------------------------|---------------------------------------|-------------|---------------|---------|------------------------|------------------------------|--|-----------|---|
| | | Erwartung | Wünschbarkeit | „HEUTE“ | too little too late | old fashioned & old rules | liberal world - competition counts | High Tech | To good to be true – everything well |
| Living & working behavior | 1A Flexible but secure Concepts | 100 25 | 100 33 | 30 | 20 | 0 | 0 | 50 | 0 |
| | 1B 9 to 5 - traditional concepts | 100 25 | 0 | 50 | 50 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| | 1C Work drives the self-determination | 100 25 | 0 | 10 | 10 | 0 | 100 | 50 | 0 |
| | 1D Green Urbanization | 100 25 | 100 33 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| | 1E Back to the Countryside | 0 0 | 100 33 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Equality + Role model | 2A Surpassing Gender | 100 25 | 100 50 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 2B Strong push for inclusivity | 100 25 | 100 50 | 10 | 10 | 30 | 100 | 50 | 100 |
| | 2C Back to Traditions | 100 25 | 0 | 40 | 50 | 70 | 0 | 0 | 0 |
| | 2D Digital Divide | 100 25 | 0 | 20 | 20 | 0 | 0 | 50 | 0 |
| | 2E Separated society | 0 | 0 | 15 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Bild 10: Darstellung eines Ausschnitts der Vektoren neben der Szenario-DNA

Zu den Vorteilen der MDS gehören ihre Flexibilität bei der Wahl der Distanzmetrik und die intuitive visuelle Darstellung der Daten. Herausforderungen bestehen jedoch in der Interpretation der Dimensionen und der möglichen Verzerrung bei der Reduktion auf wenige Dimensionen, besonders wenn die ursprünglichen Daten eine sehr hohe Dimensionalität aufweisen [BSL+08]. In der Szenariotechnik entspricht die Anzahl der Schlüsselfaktoren der Anzahl der zu berücksichtigenden Dimensionen, in der Regel 15-20.

In der MDS erfolgt nicht nur die Darstellung der Zukunftsszenarien, sondern auch die Visualisierung der Bewertung von Wünschbarkeit, Kippunkt und weiteren Kriterien. Die resultierende Landkarte der Zukunft bildet eine valide Grundlage für die Ableitung strategischer Aussagen (Bild 3 links). Das erfolgt durch die Einbeziehung der zusätzlichen Bewertungsvektoren (Heute, Wünschbarkeit, etc.) und ermöglicht zudem die Positionierung der heutigen Situation in der Landkarte der Zukunft. Die räumliche Nähe der Szenarien zueinander erlaubt eine inhaltliche Interpretation, sodass die aus heutiger Sicht relevanten bzw. aktuellen Szenarien besondere Beachtung verdienen.

Diese Vorgehensweise demonstriert, dass die Überwachung und Steuerung von Szenarien mit einem überschaubaren Aufwand realisierbar ist. In periodischen Abständen ist eine Evaluierung des Vektors „Heute“ vorzunehmen, um eine Einschätzung der Position in der Landkarte der Zukunft zu ermöglichen. Eine Dokumentation der Veränderungen über einen gewissen Zeitraum erlaubt die Ableitung von Entwicklungspfaden in der Landkarte der Zukunft (Bild 5 mittig – Pfeildarstellung), welche die zukünftig relevanten Szenarien aufzeigen.

3.7 Roadmapping

Die Angabe der Kippunkte jeder Zukunftsprojektion erlaubt die Ableitung zeitlicher Interpretationen. Diesbezüglich ist festzuhalten, dass selten alle Kippunkte zum identischen Zeitpunkt auf der Zeitachse liegen. Die Rückrechnung der zugehörigen Zukunftsprojektionen erfolgt über die Szenario-DNA, wodurch wiederum die szenariospezifischen Kippunkte ermittelt werden. Durch Aggregation dieser Aussagen und deren Untermauerung mit relevanten Quellen können Roadmaps erstellt werden, welche die notwendigen, unwiderruflichen Ereignisse aufzeigen, damit die Zukunftsszenarien Realität werden.

In der Regel erfolgt die Darstellung von Roadmaps mittels einer Zeitachse in Diagrammen, wobei die x-Achse eine entsprechende Unterteilung in Zukunftsentwicklungen von links nach rechts ermöglicht. In einigen Fällen findet zudem die Verwendung von Radaren Anwendung, welche die Zeitachse in Form von verschachtelten Kreisen symbolisieren [DNE+08]. Die in Bild 4 dargestellte Beispielgrafik basiert ebenfalls auf einer konzentrischen Kreisdarstellung. Je weiter der Blick an den Bildrand fällt, desto weiter befindet sich der Zeithorizont von heute entfernt.

Die Punkte symbolisieren die Kipppunkte auf dem Weg in die Zukunft. Die Linien fungieren ähnlich einer U-Bahn-Karte als Indikatoren für die Entwicklungspfade in die Zukunft. Dabei werden die relevanten Zukunftsergebnisse bzw. deren Kipppunkte als Haltestellen dargestellt. Die „Endhaltestelle“ repräsentiert das jeweilige Szenario.

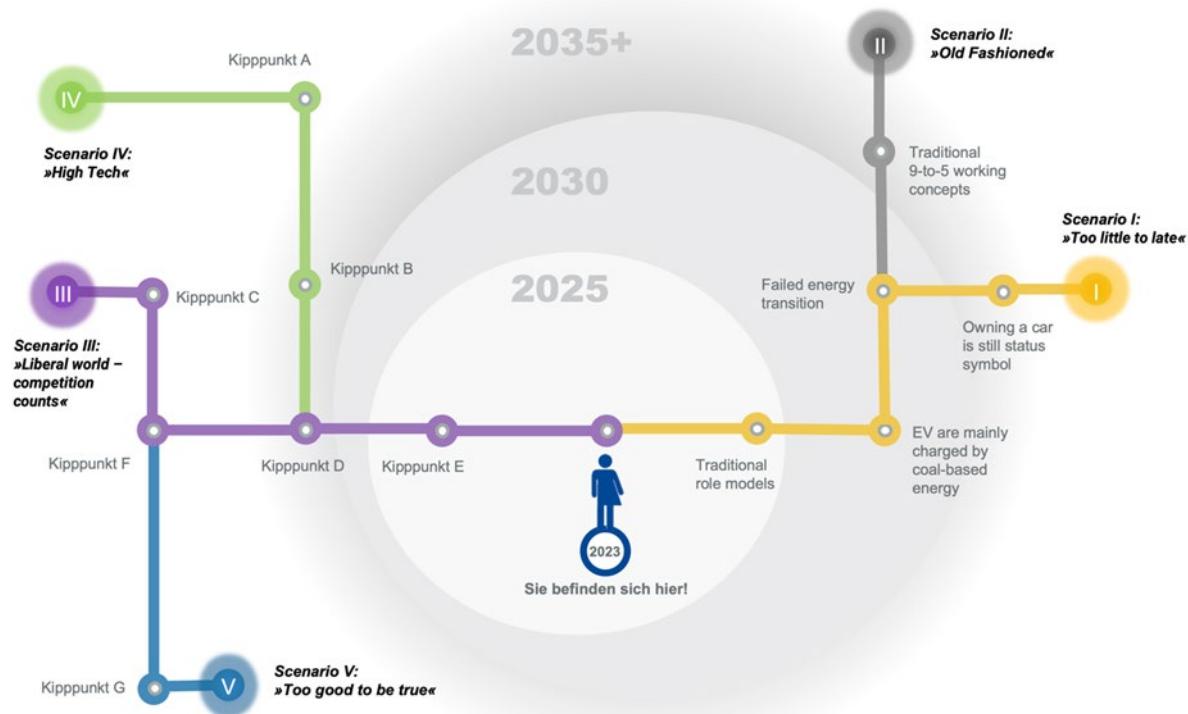


Bild 11: Szenario-Roadmap mit Tipping-Points im Verständnis eines Eisenbahnstreckennetzes

Diese Darstellung hilft neben der Auswahl der Szenarien über Wünschbarkeit etc. die strategischen Ableitungen von Handlungsoptionen und Dringlichkeiten wirksam zu untermauern.

3.8 Anwendungsbeispiel

Im Rahmen des vorliegenden Artikels wurden fünf Zukunftsszenarien für die Automobilindustrie mit dem speziellen Fokus Mobilität und Branchenentwicklungen entwickelt. Die Szenarien basieren auf 22 Schlüsselfaktoren, wie „Living & working behavior“, „Cyber World“, „Future

Supply Chain“, „Sharing & Collaborative Economy“, „Block Dynamics“ bzw. „Energy (r)evolution“. Die Sammlung entstand durch Interviews und umfangreicher Desk-Research. Für den überwiegenden Teil der Schlüsselfaktoren wurden 3-5 Zukunftsprojektionen in mehreren Workshops identifiziert. Experteninterviews haben die Auswahl vereinzelt ergänzt bzw. die Ausformulierungen geschärft. Insgesamt wurde mit 104 Zukunftsprojektionen gearbeitet. Aus den verschiedenen Workshops und Interviews wurden auch die zusätzlichen Attribute herausgearbeitet und in Beschreibungen der Zukunftsprojektionen, wie in Bild 2 dokumentiert. Dieser bebilderte Katalog der Zukunftsprojektionen war nicht nur Basis für die Ausfüllung der Konsistenzmatrix, gleichzeitig waren die Bilder die Bausteine der Picture of the future. Diese ergaben sich aus der Kombination der relevanten Zukunftsprojektionen, entsprechend der Szenario-DNA.

Errechnet wurden fünf Szenarien, welche sowohl in der Landkarte der Zukunft als auch durch sogenannte Picture of the future dokumentiert wurden.

Im Szenario-Lackmus-Test wurden die für alle Zukunftsprojektionen ermittelte Wünschbarkeit und Erwartbarkeit entsprechend der oben beschriebenen Vorgehensweise in die Erstellung der MDS integriert. Für die bessere Unterscheidbarkeit wurde eine andere geometrische Form und Buchstaben (mit den Bezeichnungen „E“ und „W“) gewählt, wobei die Zukunftsszenarien mit römischen Ziffern unterschieden werden.

Aus dem Szenario-Lackmus-Test ergibt sich nun folgende Interpretation, dass aus Sicht des Projektteams Szenario 5: „Too good to be true & mobility carrier are produced for purpose“ das wünschenswerte Zukunftsszenario darstellt. In dieser Zukunft würde das Team gern arbeiten und könnten sich entsprechend seiner Kompetenzen hervorragend entfalten. Die Mobilitätsindustrie entwickelt sich sehr innovativ insbesondere in Richtung multimodaler Mobilität. Aus dem Blickwinkel, wie die Zukunft, aufgrund aktueller Rahmendbedingungen, wohl aber erwartet wird, ergab sich eher der Hinweis auf Szenario 1 „Too little – too late“. Im Rahmen der Interpretation stellt sich Szenario 1 gänzlich anders dar als Szenario 5, aber noch lange nicht so negativ und grundverschieden, wie Szenario 2 „Old fashioned“. Diese Aussagen lassen sich allein aus der MDS ableiten und durch die Detailbetrachtungen der jeweiligen Szenario-DNA untermauern.

Nach dem Schema der Szenario-DNA wurde auch die heutige Situation beschrieben. Dabei wurden jene Zukunftsprojektionen ausgewählt, die heute schon gelten.

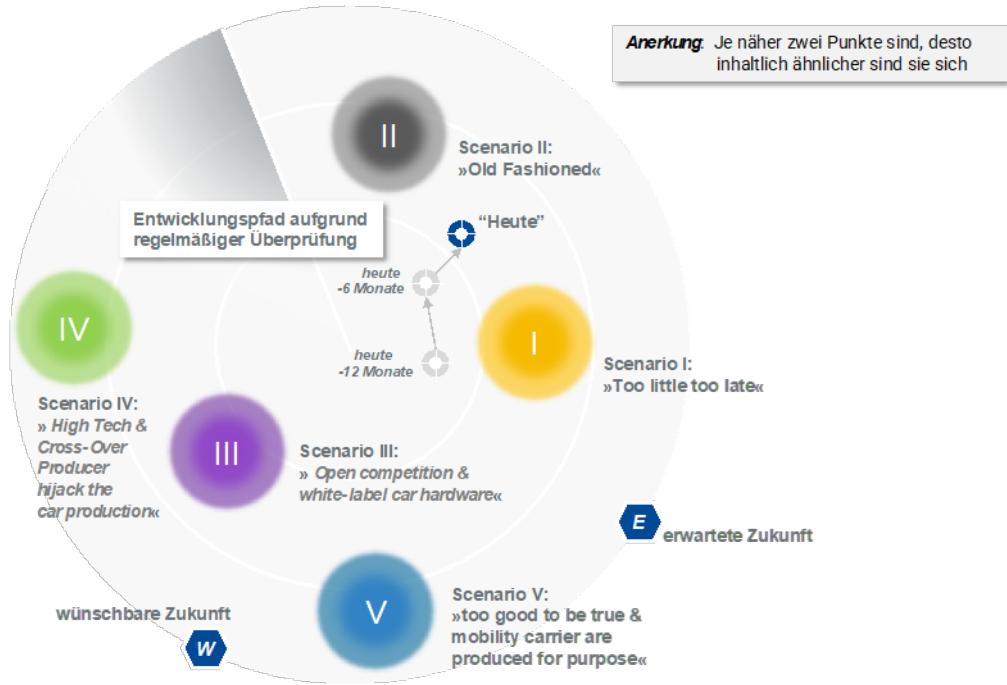


Bild 12: Landkarte der Zukunft

4 Kritische Würdigung – Ausblick

Das Konzept des Szenario-Lackmus-Tests ist für das Szenario-Controlling bzw. -Monitoring, eine Analogie aus dem Bereich der Grundlagen der Chemie und gibt eine größere Sicherheit bei der Verarbeitung von Zukunftsszenarien, auch im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen. Für den seit Langem gehegten Wunsch nach einer Reduktion der Komplexität im Umgang mit Zukünften, also der Auswahl von relevanten Zukunftsszenarien wird durch den vorliegenden Artikel ein wirksamer Beitrag geleistet.

Der vorgestellte Ansatz überwindet zwar den Einsatz von Eintrittswahrscheinlichkeiten und nimmt damit die Unsicherheit bei der Auswahl der Zukunftsszenarien. Stattdessen werden die Zukunftsprojektionen durch subjektive Bewertungen erweitert. Diese lassen sich aus der Erfahrung im Einsatz des Szenario-Lackmus-Tests aber wesentlich einfacher und belastbarer herausarbeiten. Die Limitation liegt hier in der Auseinandersetzung mit den alternativen Zukunftsprojektionen und dem Beschaffen von Daten und Ableitung von Informationen.

Die Evaluierung der zusätzlichen Kriterien von Zukunftsprojektionen ist in hohem Maße von individuellen Faktoren geprägt und zudem vom Erfahrungshintergrund der Evaluierenden abhängig. Unter Zuhilfenahme von Statistiken, Studien oder anderweitig verfügbaren Indikatoren lässt sich eine Quantifizierung der Zukunftsszenarien einfacher durchführen. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die Auswahl der Quellen von entscheidender Bedeutung für die Belastbarkeit der daraus resultierenden Aussagen ist [Kin08].

Der präsentierte Ansatz stellt eine Lösungsmöglichkeit dar, um transparent die zeitlichen Veränderungen von Umfeldentwicklungen an den Zukunftsszenarien zu spiegeln. Die Schwierigkeit besteht an dieser Stelle jedoch darin, rechtzeitig zu erkennen, wann sich die Szenarioinhalte auch so stark verändert haben, dass die Zukunftsszenarien neu berechnet werden sollten.

Ebenso ist zu berücksichtigen, dass die visuelle Orientierung für einige Betrachtende eine Herausforderung darstellen kann. Die Anerkennung der multidimensionalen Skalierung - „Landkarte der Zukunft“ als dimensionslose Grafik, erfordert ein hohes Abstraktionsvermögen. Grundsätzlich bleibt aber anzumerken, dass die bildliche Darstellung der Szenarien im Vergleich deutlich leichter und verständlicher ist als das Arbeiten mit der Szenario-DNA. Für die tiefgreifende Analyse der Inhalte bedarf es aber einer ausgewogenen Beschäftigung mit beiden Bausteinen – Landkarte und DNA.

Abschließend soll die Rolle von Künstlicher Intelligenz (KI) eingeschätzt werden. Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion individueller Verzerrungen könnte durch den Einsatz von KI-gesteuerten Analysealgorithmen bestehen. Durch Künstliche Intelligenz können große Datenmengen verarbeitet und analysiert werden [KD22]. Insbesondere bei der Suche nach Kippunkten könnten dadurch wirksame Beiträge erwartet werden.

Literatur

- [Bät04] BÄTZEL, D.: Methode zur Ermittlung und Bewertung von Strategiealternativen im Kontext Fertigungstechnik, Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, 2004
- [BG23] BEUCKE-GALM, M.: Wie kommt das Neue in die Welt? Abhandlungen zur Medien- und Kulturwissenschaft, 2023
- [BKO+21] BRÜTZEL, O., KÜPPERS, F., OVERBECK, L., STRICKER, N., VERHAELEN, B., LANZA, G.: Eine automatisierungsgerechte robuste Produktionsplanung: Robustheit der Planung im Netzwerk unter Auftragsunsicherheit. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 2021
- [Ble20] BLECHSCHMIDT, J.: Exkurs: Umgang mit unscharfen Informationen. Quick Guide Trendmanagement: Wie Sie Trendwissen in Ihrem Unternehmen wirksam nutzen, 2020
- [Bör87] BÖHRET, C.: Innovative Bewältigung neuartiger Aufgaben. In: Böhret, C., Klages, H., Reinermann, H., Siedentopf, H. (eds) Herausforderungen an die Innovationskraft der Verwaltung. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 1987
- [BSL+08] BUJA, A., SWAYNE, D. F., LITTMAN, M. L., DEAN, N., HOFMANN, H., CHEN, L.: Data visualization with multidimensional scaling. Journal of computational and graphical statistics, 17(2), 2008
- [CWC+16] CHENG, J., M.N.; WONG, W.K.; CHEUNG, C.F., LEUNG, K.H.: A scenario-based roadmapping method for strategic planning and forecasting: A case study in a testing, inspection and certification company; Technological Forecasting and Social Change, Volume 111, October 2016
- [DNE+08] DENKENA, B., NYHUIS, P., EIKÖTTER, M., WULF, S.: Roadmapping zur strategischen Unternehmensplanung. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 103(12), 2008
- [EEM21] ENDREJAT, P. C., MEINECKE, A. L., ENDREJAT, P. C., MEINECKE, A. L.: Ausblick: Kontinuierliche Veränderungsunterstützung. Kommunikation in Veränderungsprozessen: Psychologische Grundlagen für die Arbeit mit Individuen und Gruppen, 37-39, 2021
- [FS16] FINK, A., & SIEBE, A.: Szenario-Management: von strategischem Vorausdenken zu zukunftsro-busten Entscheidungen. Campus Verlag, 2016
- [GF16] GLADWELL, M.; FRIEDRICH, M: Tipping Point: Wie Kleine Dinge Großes Bewirken Können. 1. Auflage. München: Goldmann, 2016
- [GG19] GIVI, J.: The 'Future Is Now' Bias: Anchoring and (Insufficient) Adjustment When Predicting the Future from the Present. ERN: Behavioral Finance (Microeconomics), 2019
- [GHS14] GRIENITZ, V., HAUSICKE, M., SCHMIDT, AM.: Scenario development without probabilities — focusing on the most important scenario. Eur J Futures Res 2, 27, 2014

- [GK22] VON DER GRACHT, H., KISGEN, S.: Methoden der strategischen Vorausschau, In Management der Zukunft: Spielregeln, Methoden und Erfolgsmodelle des Zukunftsmanagements (pp. 31-78). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2022
- [GP14] GAUSEMEIER, J., PLASS, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung : Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen, 2., überarbeitete Auflage, Hanseer Verlag, München, 2014
- [GRI04] GRIENITZ, V.: Technologieszenarien. Eine Methodik zur Erstellung von Technologieszenarien für die strategische Technologieplanung. HNI, 716, 2004
- [Gri15] GRIENITZ, V.: Integrierte szenariobasierte Produkt- und Produktionssystementwicklung – Ein Beitrag zum Systems Engineering, Habilitation, Universität Siegen, 2015
- [Hab18-ol] HABERKORN, T.: Deutschland nach Angela Merkel; Die mit den einfachen Antworten, letzter Zugriff: <https://www.zeit.de/>, 2. November 2018
- [Hei07] HEINZELBECKER, K.: Zukunfts-Controlling mit Trendforschung und Szenarien. Controlling & Management, 2007
- [HK20] HORN, C.; KREUTER, F.: Die digitale Herausforderung - Tipping Points, die Ihr Unternehmen verändern werden, 2020
- [HP07] HAMEL, G., & PRAHALAD, C. K.: Wettkampf um die Zukunft (pp. 237-249). Gabler, 2007
- [HS16] HEIMBACH-STEINS, M.: Grenzverläufe gesellschaftlicher Gerechtigkeit: Migration-Zugehörigkeit-Beteiligung. Brill| Schöningh, 2016
- [NGB+23] NENTWICH, M., GUDOWSKY-BLATAKES, N., KEHL, C., KÖNIG, H., KRIEGER-LAMINA, J., PEISSL, W., WEINBERGER, N.: Foresight und Technikfolgenabschätzung: Monitoring von Zukunftsthemen für das Österreichische Parlament Berichtsversion, 2023.
- [KD22] KÖDDING, P., DUMITRESCU, R.: Szenario-Technik mit digitalen Technologien. In Digitalisierung souverän gestalten II: Handlungsspielräume in digitalen Wertschöpfungsnetzwerken (pp. 120-135). Springer Berlin Heidelberg, 2022
- [Kin08] KINKEL, S.: Arbeiten in der Zukunft: Strukturen und Trends der Industriearbeit (Vol. 113). edition sigma, 2008
- [KPK20] KIRCHLER, E., PITTERS, J., KASTLUNGER, B.: Psychologie in Zeiten der Krise. Wiesbaden: Springer, 2020
- [Kur23] KURZWEIL, P.: Grundlagen, technische Anwendungen, Rohstoffe, Analytik und Experimente, Springer Vieweg Wiesbaden, <https://doi.org/10.1007/978-3-658-41568-6>, 2023
- [Kün11] KÜNNETH, A. S.: Zukunftsorientierte Steuerung-Wie Controller die Zukunft mitgestalten können,". Controlling & Management Review, 2011
- [LSF20] LEE, H.C., STALLAERT, J., FAN, M.: Anomalies in Probability Estimates for Event Forecasting on Prediction Markets. Production and Operations Management, 29, 2020
- [Mil78] MILBURN, M.A.: Sources of bias in the prediction of future events. Organizational Behavior and Human Performance, 21, 1978
- [MSM10] MÜLLER-STEWENS, G., MÜLLER, A.: Strategic Foresight–Trend-und Zukunftsforschung als Strategieinstrument. Perspektiven des Strategischen Controllings: Festschrift für Professor Dr. Ulrich Krystek, 2010
- [Nis94] NISSEN, V.: Kurzer Abriß relevanter Elemente der Evolutionstheorie. In: Evolutionäre Algorithmen. Deutscher Universitätsverlag, 1994
- [ORi13] O'RIORDAN, T.J.: Future Earth and Tipping Points. Environment: Science and Policy for Sustainable Development, 55, 2013
- [Pau61] PAULI, W.: Wahrscheinlichkeit und Physik. In: Aufsätze und Vorträge über Physik und Erkenntnistheorie. Die Wissenschaft, vol. 115. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 1961

- [Ras00] RASCHE, C.: Von der multiplen Positionierung zum multifokalen Management. Das neue strategische Management: Perspektiven und Elemente einer zeitgemäßen Unternehmensführung, 2000
- [Rey13] REYMANN, F.: Verfahren zur Strategieentwicklung und -umsetzung auf Basis einer Retropolation von Zukunftsszenarien, Paderborn, Universität Paderborn, Heinz-Nixdorf-Institut, Dissertation, 2013
- [Sha11] SHAROT, T.: The optimism bias, Current Biology, Volume 21, Issue 23, 2011, Pages R941-R945, 2011
- [SGG14] SPICKERMANN, A., GRIENITZ, V., VON DER GRACHT, H. A.: Heading towards a multimodal city of the future?: Multi-stakeholder scenarios for urban mobility. Technological Forecasting and Social Change, 89, 2014, 201-221.
- [SKK20] SOULIS, S. G., KESSLER-KAKOULIDIS, L.: Inklusive Kulturschöpfung. Psychosozial-Verlag, 2020
- [SM21] STURMBERG, J. P., MARTIN, C. M.: How to cope with uncertainty? Start by looking for patterns and emergent knowledge. Journal of Evaluation in Clinical Practice, 2021
- [UP95] ULRICH, H., PROBST, G. J. B.: Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln; Ein Brevier für Führungskräfte“, Paul Haupt, Bern, 1995
- [Vog20] VOGEL, R. T.: Verunsicherung und der Verlust an Eindeutigkeiten. Psychotherapie in Zeiten kollektiver Verunsicherung: Therapieschulübergreifende Gedanken am Beispiel der Corona-Krise, 2020
- [Zwi57] ZWICKY, F.: Morphological Research and Invention. In: Morphological Astronomy. Springer, Berlin, Heidelberg, 1957

Autoren

Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Grienitz studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der Universität Paderborn. Unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier promovierte er 2004 zum Thema Technologieszenarien. 2015 habilitierte er an der Universität Siegen zum Thema Integrierte szenariobasierte Produkt-und Produktionssystementwicklung – Ein Beitrag zum Systems Engineering. Nach 7 Jahren in einer Unternehmensberatung war er 6,5 Jahre Juniorprofessor an der Universität Siegen und gründete dort das Automotive Center Südwestfalen – acs. In den weiteren 7 Jahren leitete er die Abteilung Innovationsmanagement bei einem globalen Automobilzulieferer. Nachdem er Geschäftsführer der „Neuen Mobilität Paderborn“ war ging er zurück in die Hochschulwelt nach Aalen für die Professur Startup Management. Seit 2024 ist er Professor für Digitalisierung in Gesellschaft und Technik an der Hochschule Wismar. Sein Forschungsschwerpunkt liegt in der Szenariotechnik.

Session VI

Relevanzkriterien für KI-gestützte Horizon Scanning Prozesse – Erste Erfahrungen aus dem Projekt „Wertschöpfungsradar“

Ina Baier¹, Juliane Welz¹, Jörg Kosinski¹, Jan Peuckert²

¹ Fraunhofer-Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie (IMW),
ina.baier@imw.fraunhofer.de, juliane.welz@imw.fraunhofer.de, joerg.kosinski@imw.fraunhofer.de

² Helmut-Schmidt-Universität, jan.peuckert@hsu-hh.de

Zusammenfassung

Wertschöpfung unterliegt einem stetigen Wandel. Horizon Scanning kann dazu beitragen, aufkommende Themen und Entwicklungen für Wertschöpfungssysteme zu identifizieren, sodass diese zukunftssicher gestaltet werden können. Ziel des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanzierten Projektes „Wertschöpfungsradar“ ist die Entwicklung eines KI-gestützten Horizon Scanning Prozesses zur Identifikation schwacher Signale für Veränderungen im Bereich Wertschöpfung. Der Prozess kombiniert quantitative und qualitative Methoden, wobei die Einsatzmöglichkeiten von KI im Vorausschauprozess erprobt werden. Das Vorhaben entwickelt ein Radartool, das bei der frühzeitigen Erkennung von Veränderungen in der Wertschöpfung unterstützt, indem es den Nutzenden erlaubt, Textdokumente nach aufkommenden Themen zu durchsuchen. Auswahl und Interpretation relevanter Themen erfolgt im Projekt mithilfe qualitativer Methoden. Ziel ist es aber, im Zuge der Prozesserprobung zunehmend objektive Kriterien zur bestmöglichen Unterstützung dieser Relevanzbewertung einzusetzen. Der vorliegende Beitrag diskutiert Vor- und Nachteile quantitativer statistischer Methoden gegenüber partizipativen Ansätzen und die notwendigen Abwägungen beim Einsatz von KI-Modellen im Horizon Scanning Prozess am Beispiel der ersten Erfahrungen im Projekt Wertschöpfungsradar. In einem Testlauf mit externen Partner*innen wurden erste Erkenntnisse gewonnen, die im Beitrag kritisch reflektiert werden. Dazu werden die entwickelte Methodik, das Vorgehen im Testlauf und die ersten Befunde präsentiert. Diskutiert werden Chancen, Grenzen bzw. Hürden eines KI-gestützten Horizon Scannings sowie die Rolle von Expert*innen zur Relevanzbewertung und Einordnung der Ergebnisse.

Schlüsselworte

Wertschöpfung, Horizon Scanning, KI-gestützter Prozess, schwache Signale

Relevance criteria for AI-supported horizon scanning processes - First experiences from the project “Value Creation Radar”

Abstract

Value creation is subject to constant change. Horizon scanning can help to identify emerging topics and developments so that value creation systems can be future-proofed. The aim of the research project ‘Wertschöpfungsradar’, funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF), is to develop an AI-supported horizon scanning process to detect weak signals for changes in value creation. The process combines quantitative and qualitative methods, exploring applications of AI in the foresight process. The project develops a radar tool that supports early detection of changes in value creation by allowing users to search text documents for emerging topics. Relevant topics are selected and interpreted in the project using qualitative methods. However, the aim is to increasingly utilize objective criteria in the course of process testing to provide the best possible support for this relevance assessment. This article discusses the advantages and disadvantages of quantitative statistical methods compared to participatory approaches, and the necessary considerations when using AI models in the horizon scanning process using the initial experiences in the project as example. The first insights from a test run with external partners are critically reflected in the article. It presents the methodology developed, the procedure and initial results of the test run. It discusses the opportunities, limitations and hurdles of AI-supported horizon scanning as well as the role of experts in assessing the relevance and contextualizing the results.

Keywords

Value creation, horizon scanning, AI-supported process, weak signals

1 Hintergrund und Problemstellung

Zukunftsforschung, insbesondere im Bereich der technologischen Vorausschau, stützt sich oft auf qualitative Ansätze, die durch partizipative Methoden gewonnen werden. Der Fokus auf persönliche Einschätzungen von Expert*innen wird häufig damit begründet, dass die einfache Fortschreibung vergangener Daten im Rahmen quantitativer Ansätze die Unsicherheiten der Zukunft nicht ausreichend abbilden kann [HMS+13]. Partizipative Erhebungen sind jedoch nicht nur mit hohem Kosten- und Zeitaufwand verbunden, sondern sie werden auch oft kritisch hinsichtlich ihrer Validität hinterfragt, weil sie auf Meinungen basieren. Strategische Entscheidungen in Politik und Wirtschaft lassen sich meist besser begründen und durchsetzen, wenn sie sich auf empirische Fakten stützen.

Evidenzbasierte Vorausschau beruht notwendigerweise auf dem Wissen und den Annahmen der Gegenwart und Vergangenheit. Mit zunehmender Verfügbarkeit großer Datenmengen und den erheblichen Fortschritten im Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI) sind jedoch die Erwartungen an die Leistungsfähigkeit quantitativer Verfahren bei der Früherkennung gesellschaftlicher Entwicklungen weiter gestiegen. Die jüngere Forschungsliteratur schlägt verschiedene Methoden zur automatisierten Erkennung schwacher Signale für zukünftige Veränderungen mithilfe von Textmining vor [HYH23], [KB17]. Während in der Vergangenheit die Erkennung schwacher Signale einer aufwändigen manuellen Datenerfassung und -bewertung bedurfte, erleichtern heute maschinelles Lernen und Data Mining die Suche und Analyse großer Datenmengen (z.B. [Yoo12], [Tv13], [HYH23]).

Das Projekt „Wertschöpfungsradar“ hat zum Ziel, systematisch und wissenschaftlich fundiert potenzielle Veränderungen im Bereich der Wertschöpfung zu erkennen. Dazu werden Methoden für einen KI-gestützten Vorausschauprozess entwickelt und erprobt. Kern der Methodenentwicklung ist ein Horizon Scanning, bei dem wertschöpfungsbezogene Signale identifiziert, bewertet und interpretiert werden. Dabei soll ein Radartool zum Einsatz kommen, das es ermöglicht, große unstrukturierte Datenmengen teilautomatisiert zu durchsuchen und somit potenzielle (schwache) Signale in Wertschöpfungssystemen zu erkennen und zu bewerten. Die Verwendung KI-gestützter quantitativer Ansätze in der Zukunftsforschung verspricht zwar eine höhere Objektivität, allerdings können solche Berechnungen auch ein irreführendes Bild von Präzision und Verlässlichkeit zukunftsbezogener Aussagen vermitteln und über die unauflöslichen Unwägbarkeiten möglicher zukünftiger Entwicklungen hinwegtäuschen.

Der vorliegende Artikel setzt sich angesichts erster Erfahrungen und Zwischenergebnisse im Forschungsprojekt „Wertschöpfungsradar“ kritisch mit den Grenzen und Möglichkeiten KI-gestützter Werkzeuge in Horizon-Scanning-Prozessen auseinander. Es geht dabei ausdrücklich nicht um eine Darstellung oder Diskussion technischer Verfahren.

Vor diesem Hintergrund wird insbesondere die Bedeutung von Relevanzkriterien für Horizon Scannings betrachtet. Jeder Prozessschritt erfordert eine Relevanzabwägung. Entscheidungen bzw. Entscheidungsgrundlagen darüber, welche Informationen im Rahmen des Horizon Scannings relevant sind und welche nicht, werden jedoch oftmals nicht transparent und nachvollziehbar dargelegt. Für die Nachvollziehbarkeit und Akzeptanz der Ergebnisse eines solchen

Prozesses ist entscheidend, nach welchen Kriterien diese Relevanz bestimmt wird. Während in qualitativen und partizipativen Methoden eine Bewertung oft implizit durch die Analysierenden erfolgt, werden beim Einsatz von KI Relevanzkriterien operationalisiert und quantifiziert. Folgende Forschungsfragen stehen deshalb im Mittelpunkt des Beitrags: Welche Entscheidungsprozesse werden entlang des Horizon Scannings durchgeführt? Welche Relevanzkriterien werden bei verschiedenen Auswahlprozessen angewendet? Wie können Potenziale von KI hierbei genutzt werden?

Der folgende Abschnitt skizziert den theoretischen Rahmen, der dem Horizon Scanning im Projekt „Wertschöpfungsradar“ zugrunde liegt. Das methodische Vorgehen wird in Abschnitt 3 beschrieben. Dabei werden die Entscheidungen in den einzelnen Prozessphasen erläutert und die zugrundeliegenden Auswahlkriterien systematisiert. Abschnitt 4 fasst erste Erfahrungen im Projekt mit der Erprobung KI-gestützter Methoden zusammen und skizziert im Projekt entwickelte Relevanzkriterien. Abschnitt 5 zieht daraus Schlussfolgerungen und gibt einen Ausblick auf das weitere Vorgehen.

2 Theoretischer Rahmen

Dem Vorgehen im Projekt „Wertschöpfungsradar“ liegt ein Mehrebenen-Analyse-Ansatz [Gee11] zugrunde, der Wertschöpfungssysteme als soziotechnische Konstellationen und deren Wandel als Prozess der soziotechnischen Rekonfiguration begreift. Die Forschung zur Transformation soziotechnischer Systeme unterscheidet mit Nische, Regime und Landschaft drei zunächst unabhängige, aber sich wechselseitig beeinflussende Handlungsebenen. Um die sich verändernden Wertschöpfungskonstellationen zu beschreiben, betrachtet das Projekt die wesentlichen Elemente eines Wertschöpfungssystems. Es untersucht, wie wertschöpfende Akteure, Ressourcen, Prozesse, Muster, Artefakte, Bedarfe, Erträge und Rahmenbedingungen zusammenhängen. Das Systemmodell hilft dabei, bestehende Strukturen zu analysieren und neue Entwicklungen den verschiedenen Aspekten der Wertschöpfung zuzuordnen. Ziel ist es, aufkommende Nischeninnovationen möglichst frühzeitig zu erkennen, um daraus folgende Veränderungen in zukünftigen Wertschöpfungskonfigurationen zu antizipieren (Bild 1).

Im Mittelpunkt des Projekts steht die Suche nach sogenannten „schwachen Signalen“ für einen Wandel der Wertschöpfung. Der Begriff bezeichnet gegenwärtige Besonderheiten oder ungewöhnliche Themen, die als wichtig angesehen werden, um zukünftige Veränderungen besser vorhersagen zu können. Es sind Anzeichen für sich anbahnende, ungewöhnliche Phänomene (vgl. [KL17], [Hil08], [Ans75], [Yoo12]). Ein schwaches Signal überrascht, widerspricht den Erwartungen und ist bisher nicht mit den bisherigen Denkmustern vereinbar. Ob es sich bei einer Abweichung bestehender Entwicklungen um ein schwaches Signal handelt, hängt also davon ab, wer sie betrachtet. Eine immanente Eigenschaft schwacher Signale ist es, dass weder Eintreten noch Folgen der angezeigten Entwicklung sicher sind und damit deren Relevanz nicht objektiv für den jeweiligen Anwendungsfall zu bestimmen ist. Im Kontext des Projekts können schwache Signale Nischenentwicklungen anzeigen, die sich im Moment der Untersuchung schon so weit verfestigt und stabilisiert haben, dass sie Sichtbarkeit gewinnen.

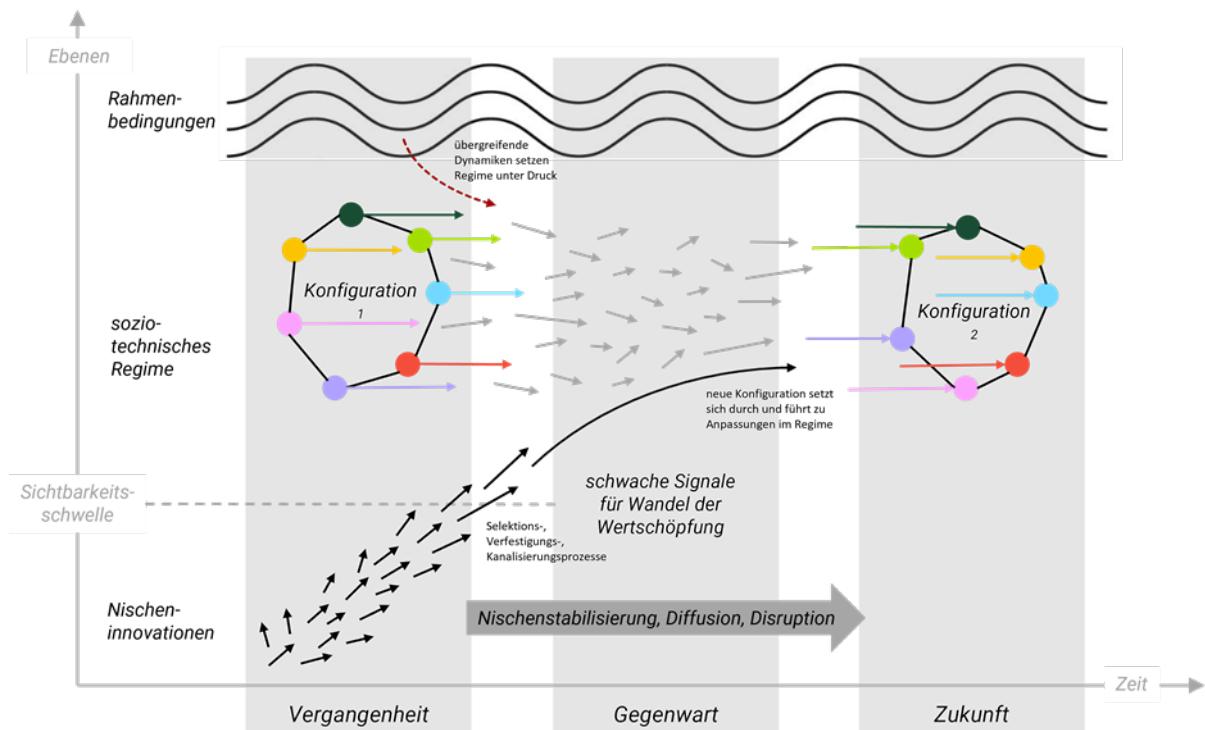


Bild 1: Wandel der Wertschöpfung als Prozess soziotechnischer Rekonfiguration (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an GEEL [Gee11])

Neue Möglichkeiten der KI-gestützten Datenanalyse, wie Textmining mit Natural Language Processing und maschinellem Lernen, haben die Diskussion über schwache Signale neu befeuert. In den vergangenen Jahren wurden verschiedene Ansätze entwickelt, um sie in textbasierten Datenquellen zu identifizieren [Yoo12], [Tv13], [EBK21], [MG22], [HYH23]. Zur Modellierung der Themen werden verschiedene Methoden, wie *Latent Semantic Indexing* [Tv13], *Latent Dirichlet Allocation* [EBK21], [MG22] und *Graph Convolutional Networks* [HYH23] diskutiert. Eine statistische Operationalisierung der Bewertungskriterien findet sich bei YOON [Yoo12]: Schwache Signale weisen im Beobachtungszeitraum eine geringe durchschnittliche Dokumentenhäufigkeit, aber eine hohe durchschnittliche Veränderungsrate dieser Frequenz auf.

3 Methodisches Vorgehen

Ein zentraler Grundsatz der Vorausschau ist, dass sich die Zukunft nicht vorhersagen lässt und stets eine Vielzahl möglicher Zukünfte existiert. Aussagen über Zukünfte werden daher immer auf Basis von Sachverhalten getroffen, die bereits in der Gegenwart bzw. Vergangenheit existieren [NS15, S. 17f.]. Die Erforschung von Möglichkeitsräumen kann eine wichtige Orientierung für Entscheidungen in der Gegenwart sein. Zur Erforschung möglicher Zukünfte nutzt und entwickelt das Projekt „Wertschöpfungsradar“ Horizon Scanning als ein methodisches Rahmenwerk, welches anpassbare Einzelschritte umfasst, die im Projekt konzipiert und testweise erprobt werden.

Horizon Scanning zielt darauf ab, ein umfassendes Bild potenzieller zukünftiger Entwicklungen zu erfassen [Cuh20], um „Probleme frühzeitig zu erkennen, Daten und Wissen darüber zu sammeln und somit bedeutende Entscheidungen zu informieren“ [SBB+11, S. 10, eigene Übersetzung]. Es ist ein systematisches Verfahren der Zukunftsvorausschau oder *Foresight*, das zum Zweck der strategischen Entscheidungsfindung eingesetzt und dem Erkenntnisgegenstand angepasst wird. Das Ziel ist keine tiefgehende Analyse der Auswirkungen, sondern vor allem das themenbezogene Zusammentragen wichtiger Hinweise oder relevanter Phänomene (auch „Signale“) am Anfang eines umfangreicheren Foresight-Prozesses [HLG+19, S. 1], [Cuh20, S. 1f.]. Nach der Definition von MILES ET AL. wird Horizon Scanning als eine Untergruppe von Umweltanalysen betrachtet, die als „systematische Identifikation, Überwachung und Untersuchung von relevanten Themen“ definiert sind [MSS16, S. 68].

Der Zweck von Horizon Scanning besteht darin „frühe[r] Anzeichen potenziell wichtiger Entwicklungen“ zu erkennen (vgl. [CvT15, S. 3]). Diese Anzeichen können nach einer Analyse und Interpretation zum Beispiel als schwache (oder frühe) Signale bezeichnet werden [CvT15]. Die Interpretation der Anzeichen erfordert ein Verständnis und die Strukturierung zu Hinweisen auf konstante oder im betrachteten Zeithorizont kontinuierliche Entwicklungen (vgl. [CvT15, S. 3]). Beim Horizon Scanning erfassen, teilen und bewerten die Teilnehmenden Signale, die für sie neu, wichtig und verständlich sind (vgl. [KSC+12, S. 222f.]).

Die Zielgruppe des Projekts Wertschöpfungsradar sind Forschende, die sich mit Fragestellungen im Bereich Vorausschau und Wertschöpfung befassen (z. B. aus Forschungseinrichtungen, Behörden aller Ebenen, Stiftungen). Der Nutzen eines Horizon Scannings zu Wertschöpfung besteht in dieser Gruppe – das konnten im Forschungsprojekt durchgeführte Interviews mit Personengruppen unterschiedlicher Institutionen zeigen – darin, frühzeitige Risiken, Chancen, Entwicklungspfade zu identifizieren, sodass strategisch gut informierte Entscheidungen getroffen, aufkommende Forschungsfelder und Förderungen erkannt und priorisiert werden können. Abhängig vom Forschungsinteresse betreffen die Ergebnisse eines wertschöpfungsbezogenen Horizon Scannings u. a. Auswirkungen auf Bereiche der Wirtschaft, wie Lieferketten, Produktionen, sich verändernde Arbeitsbedingungen, aber auch Themen wie Umweltauswirkungen, die durch Veränderungen in Wertschöpfungssystemen entstehen können. Unternehmen können durch die Ergebnisse profitieren, um Marktchancen zu nutzen, besser auf Risiken vorbereitet zu sein und damit schließlich Wettbewerbsvorteile zu gewinnen.

Die Bestimmung von zukünftigen Entwicklungen, die als „relevant“ erachtet werden, ist für das Horizon Scanning wesentlich. Die Transparenz dieses Bewertungs- und ggf. Priorisierungsprozesses und die Akzeptanz seiner Ergebnisse hängen von den angewendeten Auswahlkriterien ab, die nachvollziehbar sein sollten. Bereits in der Vorbereitungsphase wird im Austausch mit den Auftraggebenden erarbeitet, welche Erkenntnisse aus dem Prozess von Interesse sind. Eine genaue Bestimmung des zu untersuchenden Themenfelds, ist der Ausgangspunkt aller Relevanzbewertungen. Von dieser Beschreibung des relevanten Themenfelds leiten sich die „Relevanzkriterien“ für die verschiedenen Prozessschritte ab.

Das Horizon Scanning besteht aus den drei Phasen: Scoping, Scanning und Sense Making. Im Rahmen des Scopings wird der Untersuchungsbereich in Abhängigkeit des Erkenntnissinteresses definiert, wobei Fragestellungen für die Suche (das Scanning) festgelegt, Datenquellen und

Suchbegriffe im Austausch mit Domänen-Expert*innen ausgewählt werden. Beim Scanning erfolgt eine strukturierte, systematische Suche nach Informationen innerhalb von Datenquellen bzw. Dokumenten oder über Interviews/Workshops mit Expert*innen im zuvor definierten Scope. Durch das Sense Making werden die zuvor gesammelten Informationen analysiert, interpretiert und vor dem Hintergrund des Scopings kontextualisiert. Muster, Zusammenhänge und mögliche Auswirkungen der identifizierten Informationen werden gemeinsam mit Expert*innen hergestellt bzw. weiter antizipiert.

In der Scanning-Phase wird ergänzend zu Interviews und Workshops mit Fachleuten auch ein unterstützendes Radartool erprobt. Dieses Tool hilft, eine große Zahl von Textdokumenten nach aufkommenden Themen zu durchsuchen. Zuerst analysiert das Tool sämtliche Dokumente und gruppiert sie thematisch. Für jede Gruppe werden die statistischen Kennzahlen nach YOON [Yoo12] berechnet und die Dokumente entsprechend sortiert. Dadurch hilft das Radartool, schnell Dokumente zu finden, die möglichen (schwachen) Signalen zugeordnet sind. Die Nutzenden des Radartools analysieren die vorgeschlagenen Themen und nehmen sie für die weitere Verarbeitung in einer Sammlung auf, wenn sie als wichtige Hinweise auf zukünftige Entwicklungen gewertet werden sollen.

Die Erprobung des unterstützenden Werkzeugs Radartool in der Scanning-Phase umfasst auch den Einsatz verschiedener KI-basierter Verfahren, die zur thematischen Modellierung und Mustererkennung eingesetzt werden. Der Einsatz von KI-Methoden erfordert auch ein besonderes Maß an Transparenz und Prozessqualität: Denn bei der Suche nach (schwachen) Signalen werden bestimmte Kriterien verwendet, um große Datenmengen gezielt zu filtern. So wie auch in den anderen Phasen des Horizon Scannings werden Auswahlkriterien implizit oder explizit angewendet. Das trifft sowohl auf quantitative als auch qualitative Analyseschritte zu. Informationen werden im Verlaufe des Prozesses selektiert, gefiltert, priorisiert und interpretiert, z.B. um Listen potenziell relevanter Signale für die Weiterverarbeitung im Sense Making bereitzustellen. Das Ergebnis dieser Vorgänge ist, dass als wichtig erachtete Themen herausgearbeitet werden und andere aus bewussten methodischen oder inhaltlichen Gründen nicht weiterverfolgt werden. Die ausgewählten Signale werden weiter kontextualisiert und fließen gegebenenfalls in strategische Entscheidungen ein, während andere Signale nicht weiter berücksichtigt werden.

Eine erste Selektion findet bereits bei der Auswahl geeigneter Datenquellen statt (siehe auch Tabelle 1, vgl. [WRD+21]). Ebenso, wie bei partizipativen Methoden (z. B. Interviews oder Workshops) zunächst die „richtigen“ Expert*innen gesucht, angefragt und eingebunden werden, müssen auch für die quantitativen Analysen im Radartool zunächst geeignete Datenquellen gefunden werden. Als Qualitätskriterium gilt, wie bei der qualitativen Forschung auch bei der Nutzung von Textmining-Methoden, ein möglichst ausgewogenes und breites Spektrum unterschiedlicher Datenquellen zu nutzen, um diverse Perspektiven auf das Themenfeld zu berücksichtigen. Zur Identifikation geeigneter Datenquellen werden unter anderem Hinweise der Auftraggebenden genutzt.

Im nächsten Schritt werden diese Datenquellen mit Blick auf das Themenfeld nach relevanten Informationen befragt. Diese Funktion übernimmt bei partizipativen Methoden der Interview-Leitfaden, der Fragebogen oder das Workshop-Konzept. Die Eingrenzung der Daten für das

Radartool erfolgt in der Regel durch eine Datenabfrage (Query) auf der Basis von Schlüsselwörtern, die das Themenfeld repräsentieren. Eine Liste relevanter Schlüsselwörter wird dazu aus der Beschreibung des Themenfelds abgeleitet bzw. gemeinsam mit den Auftraggebenden erarbeitet. In Abhängigkeit der zuvor definierten Scopes werden durch das Projektteam geeignete Suchkriterien für jede Datenquelle festgelegt. Die Datenabfrage sollte so formuliert sein, dass sie möglichst alle relevanten Textdokumente der Datenquelle zum jeweiligen Themenfeld oder zumindest ein repräsentatives Sample des zugehörigen Diskurses im jeweiligen Medium ausgibt. Die Repräsentativität des resultierenden Datensatzes für das Themenfeld ist entscheidend für den nächsten Analyse-Schritte mit dem Radartool, der auf Veränderungen im Inhalt des Textmaterials über die Zeit abhebt. Nur wenn die Sammlung von Dokumenten das Interessengebiet adäquat abbildet, können erkannte Verschiebungen im Diskurs auf Veränderungen im Themenfeld zurückgeführt werden.

Im weiteren Prozessverlauf werden die erhobenen Informationen verdichtet. Zur qualitativen Auswertung von Interviews oder von Workshoptdiskussionen werden Kodierungsschemata entwickelt, um die Analyse zu strukturieren. Im Radartool werden zur Komplexitätsreduktion strukturentdeckende Verfahren eingesetzt. Das gesamte Dokumentenkorpus wird mithilfe von KI-gestützten Textmining-Verfahren (derzeit auf enthaltene Textmuster) hin untersucht und entsprechend zu inhaltlich zusammenhängenden Dokumentengruppen zusammengefasst, die Themen zum relevanten Themenfeld repräsentieren. Die Wahl der Modellierungsmethode hat dabei indirekt auch einen Einfluss darauf, welche Themen erkannt und weiterverarbeitet werden. In Abhängigkeit vom Verfahren werden einzelne Dokumente nur einem oder mehreren Themen zugeordnet, was sich beispielsweise auf die Erkennbarkeit von Querschnittsthemen auswirkt.

Im Scanning werden die Datenquellen dann entsprechend den Suchbegriffen im Radartool durchsucht, eine Liste von Signalkandidaten wird auf Grundlage der Bewertungskriterien herausgearbeitet. Eine erste Einschätzung zur Relevanz eines potenziellen Signals im Hinblick auf das Erkenntnisinteresses des Auftraggebers wird innerhalb einer Beschreibung erfasst.

Beim Sense Making werden Expert*innen und Auftraggebende beteiligt. Ein interaktives Format eröffnet den Raum für Interpretationen, Diskussionen zur Plausibilität, Komplementarität, Chancen und Risiken, die mit potenziellen Signalen einhergehen und Entwicklungen, die seitens der Auftraggebenden als relevant erachtet werden.

4 Ergebnisse und Erfahrungen im Projekt

Um den Horizon-Scanning-Prozess, die einzelnen methodischen Schritte und das Radartool zu erproben, arbeitet das Projekt in Testläufen. Einmal pro Jahr wird dazu ein Kooperationspartner oder potenzieller Auftraggeber mit einem spezifischen Forschungsinteresse in den Prozess einzogen, sodass themenspezifisch ein Horizon Scanning vom Scoping bis zur Validierung der Ergebnisse durchgeführt wird. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine akteurszentrierte Prozessgestaltung, die Erprobung des entwickelten Methodensets und die iterative Weiterentwicklung des Radartools um neue Funktionen.

Der Testlauf 2023/2024 (der 2. Testlauf des Projekts) wurde in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt durchgeführt. Aus dem vorab identifizierten Thema »Fruchtbare Horizonte: Perspektiven zur Zukunft von Obst und Gemüse und Auswirkungen auf Umwelt- und Wertschöpfung« wurde in einem ersten Schritt das Suchfeld über drei Scopes eingegrenzt.

Zunächst wurden Datenquellen für das Scanning im Radartool bewertet und Vorschläge für Suchbegriffe gesammelt, um die Datenbasis einzuschränken. Zu den relevanten Datenquellen gehörten wissenschaftliche Beiträge, die über Keyword-Listen über die Datenbank Scopus abgerufen wurden, Beiträge aus Zeitschriften, Markt- und Zukunftsstudien sowie Nachrichten aus dem Agrarsektor. Die entstandene Sammlung von Textdokumenten diente als Datenmaterial für die Analyse im Radartool.

Beim Scanning mit dem Radartool sollten die Personen Beiträge zu Themen mit besonders hoher Dynamik nach Yoon [Yoo12], die zu den festgelegten Fragestellungen aus der Scoping-Phase passten, in eine Sammlung sogenannter Fundstellen aufnehmen. In einem weiteren Schritt wurden Fundstellen, die die gleichen Themen behandelten, zu sogenannten Scantreffern konsolidiert und eine kurze Themenbeschreibungen anfertigen. Im Rahmen dieser Beschreibungen wird bereits eine qualitative Einschätzung der Neuartigkeit und der Relevanz dieser Entwicklungen für das Themenfeld und die Fragestellung vorgenommen.

Nach dem gleichen Vorgehen wurden auch Fundstellen bzw. Scantreffer in den Interviews und Workshops mit Expert*innen auf Basis von Aufzeichnungen identifiziert. Das Ergebnis war eine Longlist von Treffern, die durch die Radartool-Suche, Expert*innen-Workshops und Interviews ermittelt wurden. Scantreffer, die inhaltlich starke Ähnlichkeit aufweisen, wurden in einem weiteren Schritt zusammengeführt.

Über die gesamte Scanning-Phase des Testlaufs gab es Austauschformate für alle am Scanning beteiligten Personen, z. B. für Rückfragen, Feedback zum Radartool, um individuelle Vorgehensweisen in der Suche zu erfassen. Die meisten Beteiligten waren Projektmitarbeitende mit wenig Vorkenntnissen im Themenfeld des Obst- und Gemüseanbaus.

In Vorbereitung auf einen Sense Making Workshop wurde eine weitere Bewertung der Scantreffer vorgenommen. Ziel dieser Maßnahme war, die Longlist mit 162 Scantreffern zu reduzieren, sodass sie Expert*innen im Rahmen des Workshops mit Mitarbeitenden des Umweltbundesamts zur Diskussion bereitgestellt werden konnte. Dazu wurden die Kriterien „Wertschöpfungsrelevanz“, „Umweltrelevanz“ und „Zukunftsrelevanz“ operationalisiert (siehe dazu Abschnitt 4.1). Die Bewertung erfolgte in Form einer Umfrage als Punkteskala innerhalb des Projektteams, an dem keine Domänen-Expert*innen beteiligt waren. Die daraus resultierende Durchschnittspunktzahl der Scantreffer diente zur weiteren Priorisierung.

Weil die gefundenen Scantreffer (auch als Signale zu bezeichnen) erst dann eine Relevanz und Bedeutung entfalten können, wenn sie durch die Beteiligten selbst verstanden und zueinander in Relation gesetzt werden können, wurde ein Sense-Making-Workshop durchgeführt. Vor dem Hintergrund der anfänglichen Fragestellungen wurde das vorstrukturierte Scantreffer-Material gesichtet, diskutiert und selektiert. Dabei war der relative Neuartigkeitswert und die wahrgenommene Umweltrelevanz, als Hinweis auf aufkommende und potenziell bedeutende, umweltbezogene Entwicklungen, auf Basis der zugrundegelegten Scantreffer, entscheidend für die

Übernahme in das finale Register der relevanten Scantreffer und für die darauffolgende schriftliche Zusammenfassung der Ergebnisse des gesamten Horizon Scannings.

Tabelle 1: Informationsfilterung im Horizon Scanning Prozess

| Objekt | Zielstellung | Kriterien |
|-------------------------|---|---|
| Datenquellen | Die ausgewählten Datenquellen (Expert*innen, Datenbanken) bilden möglichst diverse Perspektiven auf das Themenfeld ab. | abgeleitet subjektiv (Diversität) abgeleitet objektiv (Verfügbarkeit, Datenstruktur) |
| Datensätze | Das Dokumentenkorpus deckt möglichst umfassend und extensiv das Themenfeld ab. | abgeleitet objektiv (Wertschöpfungsaspekte, Wirtschaftsbereiche) |
| Signale | Die ausgewählten Signale deuten auf neue und sich abzeichnende Entwicklungen im Themenfeld, die noch relativ unbekannt aber potenziell folgenreich sein können. | theoriegeleitet objektiv (Seltenheit, Emergenz) adressatenbezogen (Nicht-Erwartbarkeit, Betroffenheit) |
| Scantreffer | Die Scantreffer werden zusammengefasst, priorisiert und hinsichtlich ihrer möglichen Auswirkungen bewertet | abgeleitet subjektiv (Umwelt- oder Wertschöpfungsrelevanz) |
| relevante Entwicklungen | In der Zusammenschau der relevanten Scantreffer werden plausible zukünftige Entwicklungen für das Themenfeld identifiziert und ausgearbeitet | adressatenbezogen (Plausibilität, Komplementarität, Eintrittserwartung) |

4.1 Typen von Relevanzkriterien

Die Frage der Relevanz sich andeutender Entwicklungen, die bei der Auswahl von Signalen im Rahmen des Horizon Scannings vorgenommen werden muss, vollzieht sich entlang mehrerer Dimensionen, die sich nur teilweise aus den Daten heraus bestimmen lassen (siehe Tabelle 1). Wir unterscheiden dabei folgende Typen:

- 1) **Theoriebasierte objektive Relevanzkriterien:** Es handelt sich um Kennzahlen, die sich aus den vorhandenen Daten im Radartool berechnen lassen. Die Kriterien sind theoretisch begründet und werden im Radartool eingesetzt, um Signale als (schwache) Signale zu kennzeichnen. Erkannte Themen, die durch Dokumentengruppen repräsentiert werden, werden auf die theoretischen Eigenschaften schwacher Signale (Seltenheit und Emergenz) geprüft. Innerhalb des Radartools ist die Anwendung quantitativer Relevanzkriterien zur Ermittlung der re-

lativen Seltenheit und der aktuellen Emergenz ein theoriebasiertes objektives Relevanzkriterium (Yoon 2012). Dabei bildet der Gesamtumfang des Dokumentenkorpus' den Referenzrahmen zur Bestimmung der Seltenheit. Der relative Anteil an Dokumenten zu einem Thema gilt als Indikator für seine allgemeine Bekanntheit und Sichtbarkeit. Der in der Gesamtheit des Dokumentenkorpus reflektierte Diskurs dient als Referenzrahmen für die Bewertung der Emergenz eines Themas. Die durchschnittliche Wachstumsrate der Dokumentenhäufigkeit über die Zeit zeigt an, inwieweit eine durch das Signal angezeigte Entwicklung zum aktuellen Zeitpunkt an Bedeutung gewinnt. Themen, die nur selten erwähnt werden, aber eine hohe Dynamik aufweisen, sind noch unbekannt und wenig etabliert, gewinnen aber an Aufmerksamkeit. Die besondere Dynamik deutet darauf, dass es sich hierbei um Innovationen handelt, die sich stabilisieren und aus der Nische drängen.

Mithilfe dieser Kriterien identifiziert das Radartool aufkommende Nischenentwicklungen, die als Scantreffer infrage kommen. Ihre Relevanz als schwache Signale hängt jedoch auch davon ab, ob die angezeigten Entwicklungen tatsächlich überraschen und ob ihr (mögliches) Eintreten Konsequenzen nach sich ziehen würde. Diese Kriterien lassen sich nicht objektiv aus den Daten bestimmen, sondern leiten sich unmittelbar vom Erkenntnisinteresse, den Vorannahmen und Erwartungen, der scannenden Person, der Betroffenheit und den Handlungsmöglichkeiten der Auftraggebenden des Vorausschauprozesses ab. Ob das bisherige Verständnis des Themenfelds und die Strategien dadurch infrage gestellt werden, ist eine von Signalempfänger*innen subjektiv zu bewertende Frage. Welche Entwicklungen disruptiv und folgenschwer wären, ist am besten aus Perspektive der Betroffenheit zu beurteilen. Die auf quantitativ-statistischen Methoden basierende Datenanalyse stößt hier bei der Signalbewertung an ihre Grenzen und muss auf strukturiert-qualitative und partizipative Erhebungsmethoden zurückgreifen.

2) **Abgeleitete objektive Relevanzkriterien:** Es handelt sich um inhaltliche Merkmale des Datenmaterials, deren Relevanz sich aus der Fragestellung des Vorausschauprozesses begründet. Es handelt sich um klar definierte, objektive Kriterien (wie Stichwortlisten, Abfrage-Prompts oder Klassifizierungsalgorithmen) die systematisch und replizierbar auf das vorhandene Datenmaterial angewendet werden können. Ziel ist es, die Dimensionen des Wertschöpfungsmodells so weit zu formalisieren, so dass sie zur Berechnung der Wertschöpfungsrelevanz für Textdaten genutzt werden kann. Damit könnte Wertschöpfungsrelevanz künftig als ein abgeleitetes objektives Relevanzkriterium im Radartool verstanden werden. Im durchgeführten Testlauf ist die Bewertung der Wertschöpfung anhand abgeleiteter subjektiver Relevanzkriterien vorgenommen worden.

3) **Abgeleitete subjektive Relevanzkriterien:** Es handelt sich um subjektive Bewertungen, in diesem Fall aus dem Projektteam, hinsichtlich der Wichtigkeit vorgefundener Signale, die sich direkt aus den vorgegebenen Fragestellungen ableiten und nicht unmittelbar aus den verfügbaren Daten ablesbar sind. Diese Kriterien erfassen qualitativ, ob ein potenzielles Thema in Form einer Fundstelle oder eines Scantreffers eine von vielen sinnhaften und nützlichen Antworten auf die Fragestellung des Scopings darstellt. Um eine Bewertung von Scantreffern hinsichtlich der *Wertschöpfungsrelevanz* vorzunehmen, wurden im aktuellen Testlauf Kriterien auf Basis des im Projekt entwickelten Wertschöpfungsmodells subjektiv abgeleitet. Teilnehmende wurden dazu aufgefordert, eine Einschätzung darüber zu geben, ob der identifizierte Scantreffer

einen starken/schwachen positiven/negativen Einfluss auf wertschöpfende Akteure, Ressourcen, Prozesse, Muster, Artefakte, Bedarfe, Erträge und Rahmenbedingungen hat. Die Relevanz eines Scantreffers für die Zukunft der Wertschöpfung steigt überproportional mit der Anzahl der betroffenen Bereiche. Da sich die verschiedenen Elemente des Wertschöpfungssystems aufeinander beziehen, ist die Stabilität der vorherrschenden soziotechnischen Konfiguration stark beeinträchtigt, wenn mehrere Aspekte von der durch den Scantreffer beschriebenen Entwicklung berührt sind. Ein weiteres subjektiv abgeleitetes Relevanzkriterium ist die *Neuartigkeit*. Zur Bewertung der Neuartigkeit von Scantreffern wurden Personen aufgefordert, eine Einschätzung dazu abzugeben, ob es sich dabei um (i) ein bekanntes Konzept handelt, welches bereits in Anwendung ist (Neuartigkeit ist in diesem Fall gering), (ii) ein ausreichend bekanntes Konzept/Thema ist und eine Anwendung in neuer Form (Rekombination oder Modifikation bekannter Konzepte) oder (iii) ein neuartiges, bisher nicht bekanntes Konzept/Thema ist. Ob ein identifiziertes Thema zukünftig relevant sein könnte, sollte mithilfe des abgeleiteten subjektiven Kriteriums *Zukunftsrelevanz* bewertet werden. Teilnehmende sollten zur Bewertung der Zukunftsrelevanz Einschätzungen abgeben zu, u.a.: Relevanz des Scantreffers in drei bis fünf Jahren, Dynamik des Scantreffers im letzten Jahr, Relevanz des Themas für andere zukünftige Entwicklungen oder Trends, Entwicklungsstand.

4) **Adressatenbezogene Relevanzkriterien:** Die Bedeutung von Signalen und Scantreffern ergibt sich aus den subjektiven Perspektiven der Adressaten des Vorausschauprozesses auf das untersuchte Themenfeld. Folglich müssen die adressatenbezogenen Kriterien kontext-sensitiv in Zusammenarbeit mit den Personen entwickelt werden, die die Ergebnisse des Horizon Scannings verwerten. Adressatenbezogene Relevanzkriterien werden herangezogen, um zu entscheiden, ob (schwache) Signale als Scantreffer für das Sense Making und darüber hinaus beim Transfer der Ergebnisse in den einzelnen Institutionen tatsächlich wertvolle und neue Erkenntnisse darstellen. Mit Blick auf den Testlauf in Kooperation mit dem Umweltbundesamt wurde die *Umweltrelevanz* als weiteres Relevanzkriterium definiert. Zur Vorbereitung wurden verschiedene Leitfäden zur Bewertung von Umwelteinflüssen herangezogen, die die Dimensionen von Umweltaspekten bzw. deren potenzieller Folgen abbilden. Bei der Bewertung sollten die Personen einschätzen, ob der Scantreffer einen positiven/negativen Einfluss auf folgende Bereiche hat: Klimawandel, Verbrauch (natürlicher) Ressourcen, Energieverbrauch, Biodiversität/Artenvielfalt, natürliche Lebensräume (z. B. auch Lärm oder Gerüche), Schadstoffemissionen, Umweltverschmutzung, Praktiken wie Recyclingmöglichkeiten, Gesundheit und Sicherheit, sozioökonomische Faktoren und Auswirkungen auf die lokale Gemeinschaft (Arbeits- und Lebensbedingungen, kulturelle und ethische Aspekte oder Anthroposphäre). Die Liste ist nicht abschließend, identifiziert jedoch wichtige Faktoren, die zur Analyse von Umweltauswirkungen herangezogen werden. Je stärker die Auswirkungen auf viele dieser Aspekte sind, desto höher ist die Umweltrelevanz. Die Bewertung wurde auf einer drei-Punkte-Skala erfasst.

4.2 Herausforderungen und Learnings

Die Durchführung des Testlaufs hat gezeigt, dass insbesondere die Operationalisierung qualitativer Relevanzkriterien eine Herausforderung darstellt, wenn kein Modell zur Beschreibung der Dimensionen vorliegt. Die Bewertung der Dimensionen in Bezug auf die Wertschöpfungsrelevanz konnte durch das zuvor im Projekt entwickelte Wertschöpfungsmodell gut in Kriterien

übertragen werden. Die Umweltrelevanz konnte auf Basis bestehender Leitfäden und Literatur zu Umwelteinflüssen ebenfalls gut in Bewertungskriterien übertragen werden. Neuartigkeit und Zukunftsrelevanz sind wegen fehlender Modelle nur schwer in Relevanzkriterien übertragbar. Das hat die Bewertung durch die Teilnehmenden des Testlaufs bestätigt. Ein Grund dafür ist, dass die Teilnehmenden selbst keine Expert*innen der Domäne sind und nicht immer einschätzen können, ob das im Scantreffer abgebildete Thema tatsächlich angewendet oder in z. B. einzelnen Betrieben erprobt oder zukünftig relevant sein wird. Bei der Erstellung von Scantreffern haben die Teilnehmenden Unsicherheit bei der Einzelbewertung der Neuartigkeit ausgedrückt, sodass eine zweite Bewertung durch mehrere Teilnehmende in einer Befragung erfolgte.

Die Teilnehmenden konnten auch nicht bewerten, inwiefern sich die Themen in den kommenden Jahren im Sektor durchsetzen oder welche Entwicklungen bzw. Themen miteinander konkurrieren. Deutlich wurden die Hürden durch die direkte Rückmeldung der Beteiligten und durch die uneinheitliche Bewertung. Eine expert*innenbasierte Befragung der Relevanz könnte dieses Problem umgehen. Im hier beschriebenen Testlauf haben Expert*innen u. a. eine wichtige Rolle bei der Diskussion zur Relevanz im Sense Making übernommen.

5 Schlussfolgerung und Ausblick

Implizite und explizite Auswahlprozesse finden in allen Phasen des KI-gestützten Horizon Scannings statt. In diesem Beitrag wurde gezeigt, dass eine Typisierung und Anwendung von Relevanzkriterien dazu beitragen kann, die Auswahl relevanter Themen in Vorausschauprozessen transparenter zu gestalten und damit wissenschaftliche Gütekriterien sicherzustellen. Explizite Auswahlprozesse werden in der Anwendung des KI-gestützten Radartools insbesondere in der Berechnung von Dynamiken berücksichtigt, die notwendig sind, um potenzielle Signal-Kandidaten zu identifizieren.

Theoriebasierte objektive Relevanzkriterien werden automatisiert innerhalb des Radartools in Form von Kennzahlen aus vorhandenen Daten berechnet, sodass Dokumentengruppen theoriegeleitet auf Eigenschaften schwacher Signale überprüft werden können. Die Systematisierung der Suchstrategien innerhalb des Radartools repräsentieren abgeleitete objektive Relevanzkriterien, die sicherstellen, dass eine Scopebezogene Suche und Filterung angewendet wird.

Im fortschreitenden Prozess bedarf es jedoch weiteren Auswahlschritten, die eine Einschätzung darüber erlauben, ob ein Thema entsprechend dem Scoping und dem Erkenntnisinteresse involvierter Akteure wirklich von Bedeutung sind. Um diesen Selektions- bzw. Priorisierungsprozess möglichst nachvollziehbar zu gestalten, kann die Operationalisierung bestehender Modelle oder Bewertungsdimensionen in Form von Relevanzkriterien einen wichtigen Beitrag leisten. Die Auswahl von Themen erfolgt damit nicht mehr implizit auf Basis von Entscheidungen einzelner im Prozess involvierter Personen, sondern explizit durch die Bewertung entsprechender Dimensionen durch eine Gruppe von Personen mit unterschiedlichen Perspektiven.

Subjektive und adressatenbezogene Relevanzkriterien sind notwendig, um in der Menge an Signalen jene zu identifizieren, die im Erkenntnisinteresse der Untersuchung liegen (und damit Teil des Scopings sind). Die Bewertung dieser Kriterien im Testlauf hat gezeigt, dass stellenweise (noch) keine objektive Bewertung vorgenommen werden kann. Ein Ziel des Projekts ist

es, das Kriterium der Wertschöpfungsrelevanz zu formalisieren, sodass eine Relevanzbewertung zu Textdaten bereits innerhalb des Radartools durch die Anwendung von KI-basierten Modellen und Machine Learning Algorithmen automatisiert erfolgt. Damit würde der Wertschöpfungsbezug und die Bewertung der Relevanz nicht mehr einzelnen Personen überlassen werden, sondern durch Methoden der Künstlichen Intelligenz erfolgen. Die Qualität der Daten im Training und die Prozesse zur Sicherstellung der Qualität in den Ergebnissen wird in Zukunft eine wichtige Rolle dabei spielen, Relevanzkriterien nachvollziehbar und möglichst objektiv anzuwenden.

Zukunftsrelevanz und Neuartigkeit lassen mit dem Vorgehen im Projekttestlauf keine objektive Bewertung darüber zu, ob ein gefundenes Signal wichtig oder unwichtig ist. Vielmehr ermöglicht ein subjektives Vorgehen viele Personen am Prozess zu beteiligen und eine kollektive erste Einschätzung zu erhalten.

Adressatenbezogene Relevanzkriterien variieren mit dem Scoping des jeweiligen Horizon-Scanning-Prozesses und rechtfertigen ihre Notwendigkeit mit der Weiterverarbeitung der Ergebnisse im jeweiligen Kontext der Adressaten. Im hier beschriebenen Testlauf wurden Kriterien für Umweltauswirkungen entwickelt und subjektiv bewertet. Im Testlauf wurde bei der Befragung der Beteiligten deutlich, dass die Bewertung teilweise unter großer Unsicherheit vorgenommen wird, weil die Expertise im jeweiligen Feld fehlt. In folgenden Testläufen wird deshalb die Beteiligung von Expert*innen, den unterschiedlichen Perspektiven auf das Feld mitbringen, mit weiteren Methoden, wie z. B. Crowd Votings, erprobt. In hier beschriebenen Testlauf wurden Expert*innen zur Einschätzung der Relevanz u. a. beim Sense Making eingebunden.

Die hier vorgestellte Typisierung ist nicht abschließend. Die Anwendung weiterer Methoden innerhalb des Radartools oder der Selektion von Signalen für die Weiterverarbeitung im Prozess bedürfen wahrscheinlich weiterer Relevanzkriterien. Darüber hinaus sind die hier vorgestellten Typen zum Teil nicht klar voneinander abgrenzbar: Abgeleitete objektive Relevanzkriterien für Abfrage-Prompts oder Klassifizierungsalgorithmen basieren auf qualitativen Einschätzungen von Expert*innen, die bei der Entwicklung der Kriterien beteiligt sind – damit liegt bei der Entstehung die Ableitung von subjektiven Kriterien nahe, die im Prozess nicht unbedingt transparent gemacht werden. Gleichzeitig sind subjektive Relevanzkriterien wie Neuartigkeit und Zukunftsrelevanz auch ein adressatenbezogenes Relevanzkriterium, da Auftraggebenden bei der Beauftragung eines Horizon Scannings unterstellt werden kann, dass die Auseinandersetzung mit möglichst neuartigen und zukunftsrelevanten Themen gegeben ist.

6 Förderung

Das Projekt „Wertschöpfungsradar: KI-gestützte Vorausschau zur Erkennung wertschöpfungsrelevanter Signale“ wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ (Förderkennzeichen 02J21A000 bis 02J21A002) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Verbundpartner sind Wissenschaftler*innen der Helmut-Schmidt-Universität.

versität, des Laboratorium Fertigungstechnik (LaFT) und dem Institut für sozialwissenschaftliche Forschung e. V. Die Projektleitung hat das Fraunhofer Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie IMW inne.

Literatur

- [Ans75] ANSOFF, H. I.: Managing Strategic Surprise by Response to Weak Signals. *California Management Review*, (18)2, 1975, S. 21–33
- [CMP+20] CAMPOS, R.; MANGARAVITE, V.; PASQUALI, A.; JORGE, A.; NUNES, C.; JATOWT, A.: YAKE! Keyword extraction from single documents using multiple local features. *Information Sciences*, (509), 2020, S. 257–289
- [Cuh20] CUHLS, K. E.: Horizon Scanning in Foresight – Why Horizon Scanning is only a part of the game. *FUTURES & FORESIGHT SCIENCE*, (2)1, 2020
- [CvT15] CUHLS, K.; VAN DER GIESSEN, A.; TOIVANEN, H.: Models of Horizon Scanning – How to integrate Horizon Scanning into European Research and Innovation Policies, 2015
- [EBK21] EL AKROUCHI, M.; BENBRAHIM, H.; KASSOU, I.: End-to-end LDA-based automatic weak signal detection in web news. *Knowledge-Based Systems*, (212), 2021, S. 106650
- [Gee11] GEELS, F. W.: The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, (1)1, 2011, S. 24–40
- [Hil08] HILTUNEN, E.: The future sign and its three dimensions. *Futures*, (40)3, 2008, S. 247–260
- [HLG+19] HINES, P.; LI HIU, Y.; GUY, R. H.; BRAND, A.; PAPALUCA-AMATI, M.: Scanning the horizon: a systematic literature review of methodologies. *BMJ open*, 9, 2019
- [HMS+13] HAEGERMAN, K.; MARINELLI, E.; SCAPOLI, F.; RICCI, A.; SOKOLOV, A.: Quantitative and qualitative approaches in Future-oriented Technology Analysis (FTA): From combination to integration? *Technological Forecasting and Social Change*, (80)3, 2013, S. 386–397
- [HYH23] HA, T.; YANG, H.; HONG, S.: Automated weak signal detection and prediction using keyword network clustering and graph convolutional network. *Futures*, (152), 2023, S. 103202
- [KB17] KAYSER, V.; BLIND, K.: Extending the knowledge base of foresight: The contribution of text mining. *Technological Forecasting and Social Change*, (116), 2017, S. 208–215
- [KL17] KIM, J.; LEE, C.: Novelty-focused weak signal detection in futuristic data: Assessing the rarity and paradigm unrelatedness of signals. *Technological Forecasting and Social Change*, (120), 2017, S. 59–76
- [KSC+12] KÖNNÖLA, T.; SALO, A.; CAGNIN, C.; CARABIAS, V.; VILKKUMAA, E.: Facing the future: Scanning, synthesizing and sense-making in horizon scanning. *Science and Public Policy*, (39)2, 2012, S. 222–231
- [MG22] MÜHLROTH, C.; GROTTKE, M.: Artificial Intelligence in Innovation: How to Spot Emerging Trends and Technologies. *IEEE transactions on engineering management*, (69)2, 2022, S. 493–510
- [MSS16] MILES, I.; SARITAS, O.; SOKOLOV, A.: *Foresight for Science, Technology and Innovation*. Springer International Publishing, Cham, 2016
- [NS15] NEUHAUS, C.; STEINMÜLLER, K.: Grundlagen der Standards Gruppe 1. In: Gerhold, L.; Holtmannspötter, D.; Neuhaus, C.; Schüll, E.; Schulz-Montag, B.; Steinmüller, K.; Zweck, A. (Hrsg.): *Standards und Gütekriterien der Zukunftsforschung*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2015, S. 17–20
- [SBB+11] SUTHERLAND, W. J.; BARDSELEY, S.; BENNUN, L.; CLOUT, M.; CÔTÉ, I. M.; DEPLEDGE, M. H.; DICKS, L. V.; DOBSON, A. P.; FELLMAN, L.; FLEISHMAN, E.; GIBBONS, D. W.; IMPEY, A. J.; LAWTON, J. H.; LICKORISH, F.; LINDENMAYER, D. B.; LOVEJOY, T. E.; NALLY, R. M.; MADGWICK, J.; PECK, L. S.; PRETTY, J.; PRIOR, S. V.; REDFORD, K. H.; SCHARLEMANN, J. P. W.; SPALDING, M.;

- WATKINSON, A. R.: Horizon scan of global conservation issues for 2011. *Trends in ecology & evolution*, (26)1, 2011, S. 10–16
- [SL19] SHARMA, P.; LI, Y.: Self-Supervised Contextual Keyword and Keyphrase Retrieval with Self-Labelling, 2019
- [Tv13] THORLEUCHTER, D.; VAN DEN POEL, D.: Weak signal identification with semantic web mining. *Expert Systems with Applications*, (40)12, 2013, S. 4978–4985
- [WRD+21] WELZ, J.; RIEMER, A.; DÖBEL, I.; DAKKAK, N.; SCHWARTZENBERG, A. S. VON: Identifying future trends by podcast mining: an explorative approach for Web-based horizon scanning. *Foresight*, (23)1, 2021, S. 1–16
- [Yoo12] YOON, J.: Detecting weak signals for long-term business opportunities using text mining of Web news. *Expert Systems with Applications*, (39)16, 2012, S. 12543–12550

Autoren

Ina Baier studierte im Master Linguistik an der Humboldt-Universität zu Berlin. Seit 2023 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Gruppe »Futures and Innovation« am Fraunhofer IMW. Ihr aktuelles Tätigkeitsfeld umfasst die Methodenentwicklung im Bereich Vorausschau und die Analyse möglicher Nutzengruppen. Davor hat sie im Unternehmenskontext die sprachliche Mensch-Maschine-Schnittstelle gestaltet. Parallel dazu studiert sie Zukunftsforschung.

Jörg Kosinski studierte MSc. Wirtschafts- und Sozialgeographie an der Universität Leipzig. Seit 2019 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Gruppe »Futures and Innovation« am Fraunhofer IMW und seit 2022 im Projekt Wertschöpfungsradar tätig. Sein Schwerpunkt liegt in der Methodenentwicklung im Bereich Vorausschau.

Dr. Jan Peuckert studierte Betriebswirtschaftslehre an der Humboldt-Universität zu Berlin und promovierte 2013 im Bereich Innovationsökonomie an der Technischen Universität Berlin. Von 2016 bis 2022 arbeitete er am Institut für ökologische Wirtschaftsforschung im Forschungsfeld Umweltökonomie und Umweltpolitik zu inter- und transdisziplinären Fragestellungen im Bereich nachhaltigen Technologien und alternativen Wirtschaftsformen. Seit 2023 befasst er sich am New Production Institut der Helmut-Schmidt-Universität in Hamburg mit dem soziotechnischen Wandel der Wertschöpfung.

Dr. Juliane Welz studierte Geographie an der Universität Leipzig und promovierte im Fachgebiet Humangeographie an der Universität Hamburg (2012). Seit Juli 2017 ist sie am Fraunhofer IMW tätig und leitet seit 2023 die Gruppe »Futures and Innovation«. Ihr Tätigkeitsfeld umfasst die Erarbeitung von Zukunftswissen in der interdisziplinären Technikforschung unter Einsatz von methodischen Werkzeugen der Zukunftsforschung (Foresight) sowie des Wissens- und Technologietransfers. Sie leitet das Projekt Wertschöpfungsradar.

Dynamische Integration von Patentdaten in die Szenario-Technik: Wie KI bei der Gewinnung und beim Monitoring von Schlüsselfaktoren helfen kann

Laura Berensmeier¹

¹ Universität Bremen, laura.berensmeier@innovation.uni-bremen.de

Zusammenfassung

Die Szenario-Technik ist ein Instrument der Zukunftsforschung zur Erleichterung der strategischen Planung unter systematischer Berücksichtigung von Unsicherheiten. Das klassische Vorgehen ist geprägt von einem hohen manuellen Aufwand. Insbesondere die Erstellung von Schlüsselfaktoren zur Generierung multipler Zukunftsszenarien erfordert neben Brainstorming die Recherche und Analyse verschiedener qualitativer und quantitativer Datenquellen. ThematISCHE Veränderungen der Daten nach der Szenario-Bildung bleiben oft bis zur erneuten Durchführung der Szenario-Technik unentdeckt.

Die generellen Schwachstellen der Szenario-Technik finden sich auch und gerade im technologischen Umfeld wieder. Hier setzt der vorliegende Beitrag an. Er stellt eine Methode zur Nutzung technischen Wissens in Form von Patentdaten für die Erstellung von Schlüsselfaktoren in der Szenario-Technik vor. Dazu werden die Schlüsselfaktoren mittels dynamischen Topic Modelings und generativer künstlicher Intelligenz erzeugt. Des Weiteren wird untersucht, wie die genannten Verfahren eingesetzt werden können, um ein laufendes Monitoring der Schlüsselfaktoren zu ermöglichen und ggf. eine Neubildung der Szenarien einzuleiten. Als Testfeld wird das Technologiegebiet der Robotik gewählt.

Im Ergebnis bildet die Methode eine neue, automatisierte und datenbasierte Möglichkeit der Erstellung und laufenden Verbesserung von Schlüsselfaktoren in der Szenario-Technik. Diese ist auf verschiedene Technologiegebiete durch Adaption der Patentrecherche übertragbar. Darüber hinaus lassen sich weitere Datenquellen, u.a. wissenschaftliche Publikationen, mit der Methode auswerten, um neben dem technologischen das politische oder wirtschaftliche Umfeld zu integrieren. Die Methode bildet damit den nächsten Schritt auf dem Weg zu einer verlässlichen strategischen Vorausschau in unsicheren Zeiten der Technologieplanung.

Schlüsselworte

Strategische Vorausschau, BERTopic, Robotik, Zukunftsprojektionen, Unsicherheit, Aktualisierung

Dynamic integration of patent data into the Scenario Technique: How AI can help with the extraction and monitoring of key factors

Abstract

The Scenario Technique is a future research method that facilitates strategic planning by systematically considering uncertainties. The traditional approach involves a high level of manual effort, particularly in creating key factors for generating multiple future scenarios, which requires brainstorming, research, and analysis of various qualitative and quantitative data sources. Thematical changes in data after scenario creation remain undetected until the Scenario Technique is executed again.

The general weaknesses of the Scenario Technique are particularly evident in the technological domain. This paper addresses these issues by presenting a method for utilizing technical knowledge in the form of patent data to create key factors in the scenario technique. The key factors are generated using dynamic topic modeling and generative Artificial Intelligence. Furthermore, the paper explores how these methods can be employed to enable continuous monitoring of the key factors and, if necessary, initiate the development of new scenarios. As a test case, the field of robotics technology is chosen.

The result is a new, automated, and data-driven approach to creating and continuously improving key factors in the Scenario Technique. This approach is transferable to various technological fields through the adaptation of the patent search. Additionally, other data sources, including journals, can be evaluated using this method to integrate the political and economic environment alongside the technological one. Thus, the method represents the next step toward reliable strategic foresight in uncertain times of technology planning.

Keywords

Strategic Foresight, BERTopic, Robotic, Future projections, Uncertainty, Updating

1 Einleitung

Die Szenario-Technik ist ein anerkanntes und geeignetes Instrument der Zukunftsforschung zur Erleichterung der strategischen Planung unter systematischer Berücksichtigung von Unsicherheiten im Situationsumfeld eines Unternehmens. Die Szenario-Technik bietet ein strukturiertes Verfahren zur Erstellung mehrerer Darstellungen zukünftiger Situationen, sogenannter Szenarien, für ein bestimmtes Thema. Szenarien sind keine Vorhersagen im klassischen Sinn, sondern beschreiben potenzielle alternative Wege von der Gegenwart in die Zukunft [GP14].

Den Kern der Szenario-Technik bildet nach GAUSEMEIER UND PLASS die Erarbeitung alternativer Zukunftsprojektionen je Schlüsselfaktor. Die Schlüsselfaktoren sind das Ergebnis einer umfangreichen Einflussanalyse des Unternehmensumfelds [GP14]. Diese erfordert neben Brainstorming die Recherche und Analyse verschiedener qualitativer und quantitativer Datenquellen. Die vorwiegend manuelle Vorgehensweise der klassischen Szenario-Technik führt zu einer Limitation der integrierbaren Datenquellen und Experten. Dadurch besteht das Risiko einer subjektiven Verzerrung. Zudem bleiben thematische Veränderungen der Daten nach der Bildung der Szenarien bis zur erneuten Durchführung der Szenario-Technik oftmals unentdeckt. Insbesondere bei der Analyse des technologischen Umfelds, das durch sich schnell wandelnde Ereignisse geprägt ist, können diese Risiken die Qualität der generierten Szenarien beeinträchtigen.

Die in diesem Beitrag vorgestellte Methode zielt auf eine Aufwandsreduktion und Qualitätsverbesserung in der Erstellung von Schlüsselfaktoren sowie der Möglichkeit zum Monitoring dieser durch die Auswertung von Patentdaten mittels aufkommender Technologien. Bisherige Ansätze zeigen bereits die Integration verschiedener Quellen in der Einflussanalyse der Szenario-Technik, wie z.B. Daten aus sozialen Netzwerken [SKH+19] oder bibliografische Daten [SMS+15]. Patentdaten finden bisher keine Anwendung, obwohl sie als geeigneter Indikator für aktuelle und zukünftige Technologien gelten [Son16]. DAIM ET AL. empfehlen, die Kombination bibliometrischer Daten mit Patentinformationen zur Ableitung technologischer Entwicklungen und wirtschaftlicher Potenziale [DRM+06]. WALTER UND FRISCHKORN haben bereits gezeigt, dass Patentdaten einen Mehrwert im Technologie-Roadmapping bei der Erstellung von Roadmaps aufweisen [FW17]. Darin ist die Auswertung der Patente mit Text-Mining Tools durchgeführt worden. KÖDDING UND DUMITRESCU empfehlen die Nutzung digitaler Technologien in der Szenario-Technik [KD22].

Dieser Beitrag kombiniert die genannten Ansätze: Patentdaten werden mittels Topic Modeling und generativer künstlicher Intelligenz dynamisch hinsichtlich Trends analysiert und in die Szenario-Technik zur Erstellung von Schlüsselfaktoren für das technologische Umfeld integriert. Zudem werden Empfehlungen für ein potenzielles Monitoring der Szenarien ausgesprochen. Als Testfeld wird das Technologiegebiet der Robotik gewählt, das sich durch eine hohe Dynamik und Vielseitigkeit auszeichnet.

Im Folgenden wird in die Szenario-Technik eingeführt und ihr Bedarf zur Dynamisierung erklärt (Kapitel 2). Anschließend wird die Methode zur Erhebung der Patentdaten für das Technologiegebiet der Robotik (Kapitel 3.1) und deren Analyse mittels Topic Modeling (Kapitel

3.2) beschrieben. In Kapitel 4 erfolgt die Trendanalyse. Die Ergebnisse werden in Kapitel 5 interpretiert, indem Schlüsselfaktoren bestimmt sowie erste Zukunftsprojektionen abgeleitet werden. Abschließend werden die Ergebnisse zusammengefasst (Kapitel 6).

2 Einführung in die Szenario-Technik: Bedarf für Dynamik in der Szenario-Technik

In diesem Kapitel wird der Standard-Prozess der Szenario-Technik vorgestellt. Der Fokus liegt dabei auf der Szenariofeld-Analyse (Phase 2) und der Projektions-Entwicklung (Phase 3), da sie den Kern der Szenario-Erstellung bilden. Mit der in diesem Beitrag vorgestellten Methode zur Einbindung von Patenten als Datengrundlage und deren Analyse mittels Topic Modeling sollen diese Phasen optimiert werden.

Das Szenario-Management nach GAUSEMEIER UND PLASS [GP14] beschreibt ein Strategieprojekt, bestehend aus fünf Phasen, die in einzelnen Workshops durchgeführt werden:

- 1) Szenario-Vorbereitung
- 2) Szenariofeld-Analyse
- 3) Projektions-Entwicklung
- 4) Szenario-Bildung
- 5) Szenario-Transfer

Der Prozess beginnt mit der Szenario-Vorbereitung (Phase 1). Hier werden die Projektziele und die -organisation festgestellt. Das Gestaltungsfeld, welches den Bezugspunkt des Szenario-Projekts darstellt, wird definiert und analysiert [GP14].

In der Szenariofeld-Analyse (Phase 2) wird zunächst das Szenariofeld definiert. Dieses umgibt das im Zentrum liegende Gestaltungsfeld und wird durch Einflussfaktoren verschiedener Einflussbereiche beschrieben. Je nach Gestaltungsfeld werden Einflussbereiche aus dem direkten Umfeld, wie z.B. Branche und Markt, und dem globalen Umfeld, wie Politik, Technologie, Gesellschaft, Ökonomie und Ökologie, gewählt. Aus der Analyse der Vernetzung und der Relevanz der aus den Einflussbereichen bestimmten Einflussfaktoren ergibt sich eine reduzierte Anzahl an Schlüsselfaktoren für das Szenariofeld, die im weiteren Szenario-Prozess berücksichtigt werden [GP14].

In der Projektions-Entwicklung (Phase 3), wird der Blick in die Zukunft gerichtet. Es wird ein zukünftiger Zeithorizont, der durch die Szenarien beschrieben werden soll, definiert. Anschließend werden pro Schlüsselfaktor ca. zwei bis vier alternative Zukunftsprojektionen erstellt, die mögliche Entwicklungen für diesen Schlüsselfaktor beschreiben. Dabei ist auf eine plausible als auch extreme und gleichzeitig vorstellbare Formulierung der Zukunftsprojektionen zu achten. Besonders im technologischen Umfeld wird zur Bestimmung der Projektionen empfohlen, die Entwicklungen aktuell laufender Prozesse zu beschleunigen und zu extrapoliieren. Jede Zukunftsprojektion bildet eine eigenständige Entwicklungsmöglichkeit. Die Zukunftsprojektionen werden in einem Projektionskatalog gelistet. Eine Kurzbezeichnung sowie eine ausführliche Beschreibung und Begründung sind für jede Zukunftsprojektion zu ergänzen [GP14].

Die Szenario-Bildung (Phase 4) beinhaltet die letztendliche Erstellung mehrerer Szenarien basierend auf der Bildung konsistenter Bündel der Zukunftsprojektionen. Hierzu wird die Konsistenzanalyse, eine paarweise Bewertung der Zukunftsprojektionen, durchgeführt und ähnliche Bündel geclustert. Es ergeben sich drei bis fünf Cluster mit jeweils ähnlichen Zukunftsprojektionsbündeln [GP14].

Der Szenario-Transfer (Phase 5) befasst sich mit den aus den generierten Szenarien resultierenden Auswirkungen für das Gestaltungsfeld. Die Szenarien werden analysiert und hinsichtlich ihrer Wahrscheinlichkeit bewertet. Mögliche Chancen und Gefahren werden bezüglich ihrer Plausibilität evaluiert und strategische Handlungsmaßnahmen abgeleitet [GP14].

Die Phasen zwei bis vier werden im speziellen zur Szenario-Erstellung gruppiert. Den Kern bildet die Phase 3, die Projektions-Entwicklung, da hier die Grundlage für die Szenario-Gestaltung sowie der Szenario-Formulierung durch die Bestimmung der Zukunftsprojektionen gelegt wird [GP14]. Die Aufgaben in dieser Phase bauen auf den Ergebnissen, den in der Szenariofeld-Analyse (Phase 2) erstellten Schlüsselfaktoren, auf. Daher bestimmt die Qualität der Ergebnisse aus Phase 2 und Phase 3 maßgeblich die Qualität der finalen Szenarien und somit den Erfolg des gesamten Szenario-Projekts.

GAUSEMEIER UND PLASS haben Regeln für die Szenario-Erstellung, insbesondere für die Bestimmung der Schlüsselfaktoren und Zukunftsprojektionen, definiert, was die Relevanz der Phasen Szenariofeld-Analyse (Phase 2) und Projektions-Entwicklung (Phase 3) betont. Demnach sind 20 Schlüsselfaktoren für alle Umfelder ausreichend. Sie müssen jeweils um eine präzise und fundierte Beschreibung anhand im Zeitverlauf messbarer Indikatoren ergänzt werden und genügend Substanz hinsichtlich des Szenario-Projekts aufweisen. Die Zukunftsprojektionen sollen das „Undenkbare“ abbilden, begründet und trennscharf formuliert werden. Mehrdeutige Zukunftsprojektionen sind zu vermeiden und Expertise ist einzubeziehen [GP14].

In der Szenariofeld-Analyse (Phase 2) gilt es, alle notwendigen Umfeldeinflüsse zu identifizieren, zu analysieren und Faktoren abzuleiten. Insbesondere das globale Umfeld der Technologie ist, im Gegensatz zum globalen Umfeld der Politik, das sich langsam und erwartbar verändert, durch ein dynamisches, sich stetig wandelndes Verhalten geprägt. Folglich ist die Bestimmung der Einfluss- und Schlüsselfaktoren für das technologische Umfeld ein komplexer Prozess. Eine Vielzahl verschiedener Datenquellen muss analysiert, Expertenmeinungen eingeholt und ggf. weitere Umfragen unter anderen Interessensgruppen durchgeführt werden. Dies stellt viele Szenario-Manager vor zeitliche, kostentechnische und organisatorische Herausforderungen. Zudem besteht das Risiko einer subjektiven Verzerrung. Dieses Risiko verstärkt sich in der Projektions-Entwicklung (Phase 3) bei der Erarbeitung und Formulierung alternativer Zukunftsprojektionen durch einseitige Expertise im Szenario-Team.

Die in diesem Beitrag vorgestellte und in den nachfolgenden Kapiteln beschriebene Methodik zur Bestimmung von Schlüsselfaktoren setzt an dieser Stelle an. Mittels der Einbindung von Patenten erhält das globale Umfeld der Technologie eine Datengrundlage zur Identifizierung aktueller und zukünftiger Trends innerhalb dieser Technologie. Experten können diese Ergebnisse neben ihrem Fachwissen nutzen, wodurch sich die Qualität ihrer Empfehlungen verbessert. Durch die automatisierte Analyse mittels Topic Modeling wird der Einfluss subjektiver

Sichtweisen verschiedener Interessensgruppen und der Aufwand für Szenario-Manager reduziert.

3 Methodik

In diesem Abschnitt wird die Methode zur Identifizierung der für die Szenario-Technik relevanten Schlüsselfaktoren dargestellt. Um diese anhand eines konkreten Beispiels zu entwickeln, wird das Technologiegebiet der Robotik als Testfeld gewählt. Das Technologiegebiet der Robotik eignet sich, da es eine hohe Dynamik aufweist und facettenreich ist. Diese Eigenschaften erhöhen die Komplexität der Szenariofeld-Analyse (Phase2) und der Projektions-Entwicklung (Phase 3) für dieses Technologiegebiet bei manueller Durchführung und erhöhen somit das Interesse an den Ergebnissen der vorgestellten Methodik.

Patente gelten als adäquater Indikator für aktuelle und zukünftige Technologien [Son16]. Um aus diesen Daten Trends für die Szenario-Technik abzuleiten, werden im Folgenden zunächst die Patentdaten für das ausgewählte Technologiegebiet der Robotik anhand einer Patentrecherche erhoben. Anschließend werden die selektierten Patente mittels eines statischen und dynamischen Topic Modelings, BERTopic, und generativer künstlicher Intelligenz analysiert und interpretiert.

3.1 Erhebung der Patentdaten

Zur Erhebung der Patentdaten wird eine Patentrecherche für das Technologiegebiet der Robotik durchgeführt. Hierfür werden mittels eines Suchstrings US-Patente aus der öffentlichen Datenbank des amerikanischen Patentamts (USPTO) extrahiert. Der Suchstring ist in Anlehnung an QIU UND WANG entwickelt worden, die die technologische Vorausschau auf der Grundlage von Patentanalysen in dem Technologiegebiet der Robotik untersucht haben [QW22]. Um das Technologiegebiet der Robotik mit einer möglichst großen Menge an relevanten Patenten zu erfassen, wird im Titel, in der Kurzzusammenfassung und in den Patentansprüchen nach dem Stichwort „robot“ gesucht. Es wird nach Patenterteilungen gesucht. Der Zeitraum der Patentrecherche wird durch Restriktion des Anmelde datums dem Suchstring ergänzt. Das Anmelde datum eignet sich zur Identifizierung von Trends, da es eine Annäherung an den Zeitpunkt der Forschung in Verbindung mit einer Erfindung darstellt [Tri15]. Es wird angenommen, dass sich ein Unternehmen zum Zeitpunkt der Patentanmeldung mit der entsprechenden Thematik beschäftigt. Der Suchzeitraum wird auf die letzten zwanzig Jahre und somit auf den Zeitraum vom 01.01.2004 bis zum 31.12.2023 beschränkt, um die Hauptthemen der Technologie zu erfassen und gleichzeitig Trends für die Gewinnung von Schlüsselfaktoren und Projektionen abzuleiten. Es ergibt sich folgender Suchstring für die Patentrecherche:

(*TTL:robot OR ABST:robot OR ACLM:robot*) *AND APD:1/1/2004->12/31/2023*

Insgesamt sind 24.124 Patente aus der Datenbank extrahiert worden. Bild 1 zeigt den zeitlichen Verlauf der Patentdatenbasis. Erkennbar ist, dass die Anzahl der Patenterteilungen bezogen auf das Jahr ihrer jeweiligen Patentanmeldung bis 2019 stetig zunehmen. Ab dem Jahr 2021 ist ein

deutlicher Rückgang der Patenterteilungen in der Datenbasis zu verzeichnen. Ein Patent benötigt von der Anmeldung bis zur Erteilung durchschnittlich drei Jahre [WS16]. Die Patenterteilungen in der Datenbasis für die Jahre 2021, 2022 und 2023 liegen unvollständig vor und sind somit in Bild 1 ausgegraut.

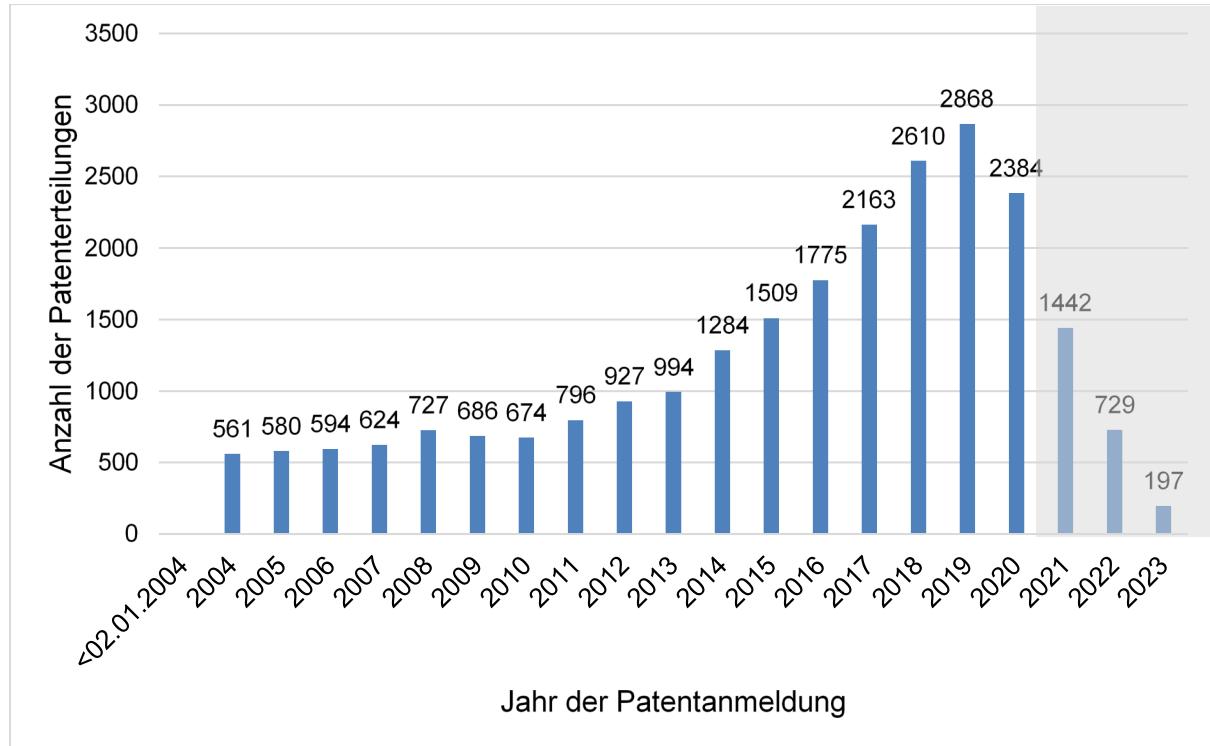


Bild 1: Zeitlicher Verlauf der Patenterteilungen in der Datenbasis pro Jahr der Patentanmeldung. Aufgrund der durchschnittlichen Dauer von Anmeldung zur Erteilung eines Patents liegen die Daten für die Jahre 2021, 2022 und 2023 unvollständig vor. Diese sind im Bild ausgegraut.

Von den selektierten Patenten in der Datenbasis werden die Patentnummer, der Titel, die Patentansprüche sowie das Anmeldejahr extrahiert. Diese extrahierten Daten werden als Eingangsdaten für das im Folgenden beschriebene Topic Modeling verwendet.

3.2 Analyse und Auswertung der Patentdaten mittels Topic Modeling

Zur Analyse der Patente in der Datenbasis wird ein Topic Modeling durchgeführt. Topic Modeling ist eine bewährte Methode, um gemeinsame, zugrundeliegende Themenschwerpunkte in einer großen Sammlung von Dokumenten zu identifizieren. Die klassischen Variante, wie z.B. das Latent Dirichlet Allocation (LDA) Model, betrachtet jedes Dokument als Mischung aus latenten Themen, den sogenannten Topics. Jedes Topic wird durch eine Verteilung der verschiedenen dazugehörigen Wörter charakterisiert. Die Dokumente werden erfasst, die Wörter gesammelt, analysiert, geclustert und schließlich entsprechend ihrer Wortwahrscheinlichkeit einem Topic zugeordnet. Das Problem an dieser Variante ist, dass aufgrund der einzelnen Wortbetrachtung der semantische Kontext der Wörter missachtet wird und die Dokumente inkorrekt dargestellt werden [Gro22].

Das in diesem Beitrag verwendete BERTopic überwindet das Problem des klassischen Topic Modelings, in dem die erfassten Sätze und Wörter in den Dokumenten als Vektoren und deren semantische Beziehungen durch die Distanz dieser zueinander modelliert werden. BERTopic nimmt an, dass Dokumente, die die gleichen Themen ansprechen, semantisch ähnlich zueinander sind. Es verwendet Clustering-Techniken, um kohärente Topics zu erzeugen. Hierfür wird jedes Dokument mittels eines zuvor trainierten Sprachmodells in seine Embedding-Repräsentation umgewandelt. Anschließend wird die Dimensionalität der Embeddings reduziert, um den folgenden Clustering-Prozess zu optimieren. Schließlich werden aus den Dokumentenclustern Themenrepräsentationen, die Topics, mittels der klassenbasierten Variante TF-IDF extrahiert [Gro22]. Die Zuordnung der Dokumente zu den Topics ist ausschließlich. Ein Dokument wird demnach maximal einem Topic zugeordnet. Jedes generierte Topic wird durch 15 Stichwörter und zehn BERTopic Schlüsselbegriffe, die jeweils aus mehreren Wörtern bestehen können, repräsentiert und ihrer Größe entsprechend sortiert. Die Größe eines Topics bestimmt sich durch die Anzahl der zugeordneten Patente. Das Large-Language-Model (LLM) GPT-4o benennt die Topics auf Grundlage der von BERTopic generierten und den Topics zugeordneten Sets von Schlüsselbegriffen und Dokumenten [Gro24-ol].

Die klassischen Modelle des Topic Modelings modellieren die extrahierten Topics aus der Datenbasis statisch. Für die Identifizierung von Trends zur Bestimmung von Schlüsselfaktoren und Projektionen ist es jedoch förderlich, die Relevanz der Topics über den Zeitverlauf der Datenbasis basierend auf ihrer Entwicklung zu analysieren. Das dynamische Topic Modeling, welches ebenfalls durch BERTopic abgebildet werden kann, erfasst zusätzlich das Jahr der Dokumente in der Datenbasis und modelliert, wie sich Themen im Laufe der Zeit entwickelt haben könnten und das Ausmaß, in dem die thematischen Darstellungen dies repräsentieren. Dabei wird angenommen, dass die zeitliche Dimension der Themen keinen Einfluss auf die Bildung globaler Topics hat. Dasselbe Topic kann zu verschiedenen Zeitpunkten auftreten, auch wenn es möglicherweise in unterschiedlicher Weise dargestellt wird [Gro22].

In diesem Beitrag wird das BERTopic in statischer und dynamischer Modellvariante auf die Patentdatenbasis angewandt. Für die Erstellung der Embeddings bei Patenten eignet sich das Sprachmodell PatentSBERTa, welches auf dem Sprachmodell Sentence-BERT (SBERT) basiert und von BEKAMIRI ET AL. für die Analyse von Patenten trainiert worden ist. Da PatentSBERTa anhand der Patentansprüche trainiert worden ist, werden diese sowie die Anmeldejahre der Patente in der Datenbasis dem Topic Modeling als Eingangsdaten zur Verfügung gestellt [BHJ24]. Die Einstellungen der Parameter zur Cluster- und Topic-Erstellung im Programmcode werden auf Grundlage der Empfehlungen von GROOTENDORST vorgenommen [Gro24-ol]. Die Ergebnisse des statischen und dynamischen BERTopic werden einer Trendanalyse unterzogen und hinsichtlich der Interpretation für die Gewinnung von Schlüsselfaktoren und ersten Ansätzen zur Ableitung von Zukunftsprojektionen ausgewertet.

4 Trendanalyse anhand des Technologiegebiets der Robotik

Die Trendanalyse der Patente erfolgt in zwei Schritten: In einem ersten Schritt sollen die Hauptthemen des Technologiegebiets der Robotik identifiziert werden, um eine Themenbasis für die Interpretation der Trends zu generieren. Hierzu wird ein statisches BERTopic der ersten zehn

Jahre des Untersuchungszeitraums, vom 01.01.2004 bis zum 31.12.2013, durchgeführt. Im zweiten Schritt werden die letzten zehn Jahre des Untersuchungszeitraums, vom 01.01.2014 bis zum 31.12.2023, dynamisch betrachtet. Die sich ergebenen Zeitverläufe aller Topics werden hinsichtlich Auffälligkeiten ausgewertet und Trends identifiziert. Tabelle 1 zeigt die im Rahmen dieses Kapitels präsentierten Schritte zur Trendanalyse mit entsprechender Angabe des Betrachtungszeitraums, der Auswertungsart, der Anzahl der Patente in der Datengrundlage und der von BERTopic generierten Anzahl an Topics. Zunächst werden die generierten Topics ganzheitlich untersucht (Schritt 2a). Anschließend wird die Trendanalyse exemplarisch für die zehn größten (Top-10, Schritt 2b) und für die zehn kleinsten Topics (Bottom-10, Schritt 2c) detailliert ausgeführt. Die nicht explizit in diesem Kapitel aufgeführten Topics werden in analoger Weise hinsichtlich ihrer Trends analysiert.

Tabelle 1: Übersicht der dargestellten Schritte zur Trendanalyse der Robotik-Patente unter Angabe des Betrachtungszeitraums, der Auswertungsart, der Anzahl der Patente und der von BERTopic generierten Anzahl an Topics.

| Schritt | Zeitraum | Art der Auswertung | Anzahl Patente | Anzahl Topics |
|---------|-------------------------|--------------------|----------------|---------------|
| 1 | 01.01.2004 – 31.12.2013 | Statisch | 7.163 | 28 |
| 2a | 01.01.2014 – 31.12.2023 | Dynamisch | 16.961 | 60 |
| 2b | 01.01.2014 – 31.12.2023 | Dynamisch | 9.597 | Top-10 |
| 2c | 01.01.2014 – 31.12.2023 | Dynamisch | 602 | Bottom-10 |

Topics, die aufgrund zu hoher Unähnlichkeit keinem Cluster zugeordnet worden sind, werden im statischen BERTopic als „Unlabelled“ gekennzeichnet und als Rauschen interpretiert. Beim dynamischen BERTopic werden diese sogenannten Ausreißer einem bestehenden Topic zugeordnet. Dadurch ändert sich die Größe der Topics und somit ggf. deren Rangfolge untereinander bei gleichbleibender Bezeichnung. Im dynamischen BERTopic lässt sich daher nicht anhand der Nummer in der Bezeichnung des Topics auf die Größe schließen. Stattdessen wird in der entsprechenden Analyse der Rang als Repräsentation der Topic-Größe (Anzahl zugeordneter Patente) verwendet. Der höchste Rang wird als Rang 1 gekennzeichnet, der unterste als Rang 60.

4.1 Identifizierung der Hauptthemen im Technologiegebiet der Robotik

Der erste Schritt zur Identifizierung der Hauptthemen in dem Technologiegebiet der Robotik ist die Durchführung eines statischen BERTopics für den Zeitraum vom 01.01.2004 bis zum 31.12.2013. Die Datenbasis für diesen Zeitraum enthält 7.163 Patente, was einem Anteil von 29,7 % der gesamten Patentdatenbasis (24.124 Patente) entspricht. Mittels BERTopic werden 28 Topics identifiziert und diese mittels des integrierten LLMs GPT-4o auf Basis ihrer repräsentativen BERTopic Schlüsselbegriffe benannt. Die generierten Topics sind in Bild 2 als Cluster nach Dimensionsreduktion zur zweidimensionalen Darstellung als Distanzkarte angeordnet. Die einzelnen Punkte repräsentieren dabei die jeweiligen Patente der Datenbasis. Die Farbe gibt die Zuordnung zu einem der Topics an. Patente, die keinem Topic zugeordnet werden konnten, sind in grau dargestellt. Die Anzahl der Patente, die einem Topic zugeordnet worden sind, spiegelt sich durch die Größe des Clusters wider. Demnach lässt sich durch die Größe des Clusters auf die Relevanz des Topics in der Datenbasis schließen. Die Distanz zwischen den Topics gibt deren Ähnlichkeit zueinander an. Bei der Interpretation dieser ist jedoch zu beachten, dass eine Dimensionsreduktion zur zweidimensionalen Anordnung die Distanzen verzerrt darstellt.

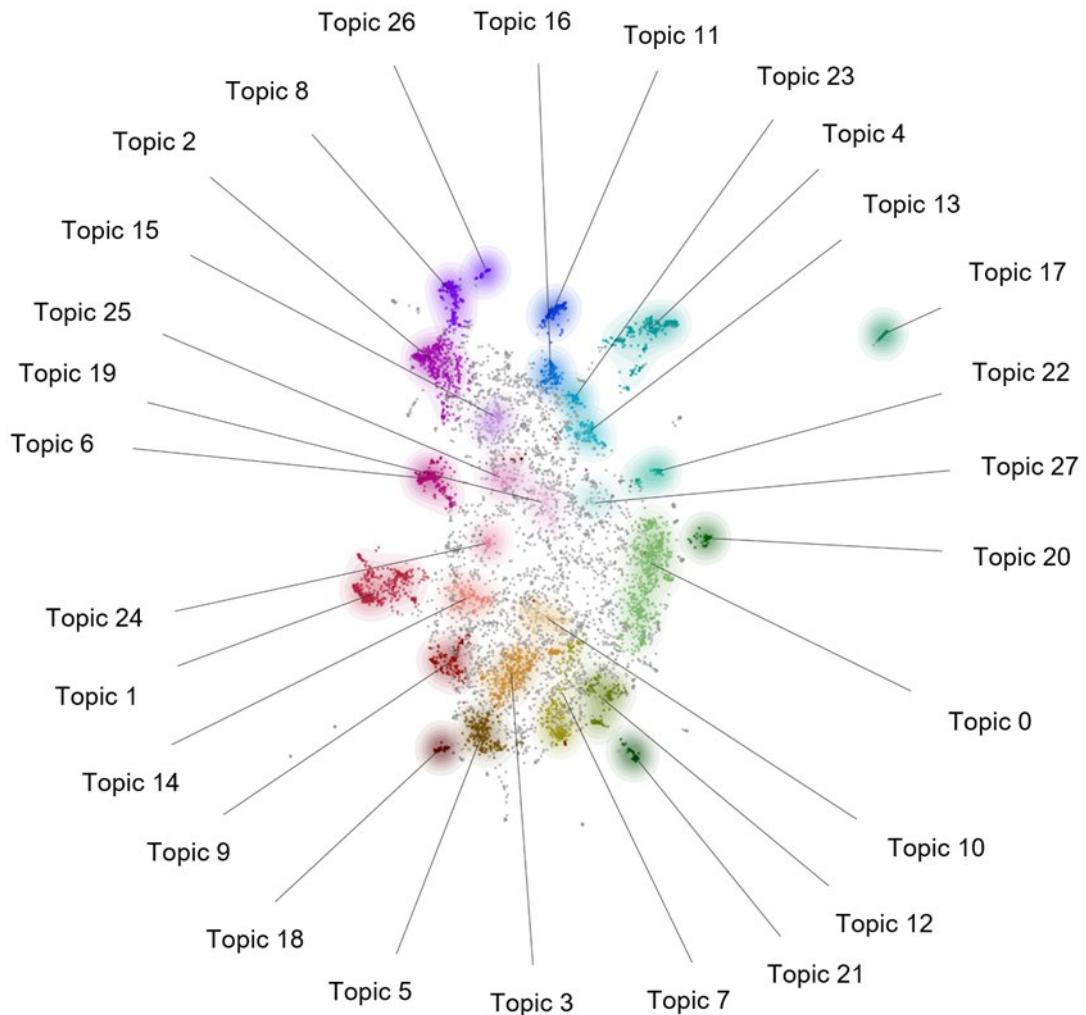


Bild 2: Zweidimensionale Darstellung der Topics als Distanzkarte nach Dimensionsreduktion generiert aus einem statischen BERTopic der Jahre 2004 bis einschließlich 2013. Die einzelnen farbigen Cluster repräsentieren die verschiedenen Topics. Patente, die keinem Topic zugeordnet werden konnten, sind in grau dargestellt

Anhand Bild 2 lassen sich die verschiedenen relevanten Facetten des Technologiegebiets der Robotik erkennen. Die drei größten Topics sind:

- 1) Robot Arm Assembly and Transmission Mechanisms (Topic 0)
- 2) Medical Robotics and Imaging Systems for Surgery and Radiation Therapy (Topic 1)
- 3) Substrate Processing and Transfer Systems in Semiconductor Manufacturing (Topic 2)

Sie fassen die gängigsten Begriffe zusammen und prägen damit das Technologiegebiet der Robotik. Die Patente befassen sich demnach mit der Konfiguration von Roboterarmen, der bildlichen Unterstützung im chirurgischen Bereich sowie der Bearbeitung von Substraten in der Halbleiterfertigung. Die generierten Topics lassen sich im Wesentlichen in zwei Themen schwerpunkte unterteilen: Topics, die den Aufbau und die Funktionsweise des Roboters beinhalten (9 Topics) und Topics, die eine konkrete Anwendung der Roboter in z.B. einer bestimmten Branche thematisieren (19 Topics). Auffallend im ersten Themenschwerpunkt ist der Fokus der zugehörigen Topics auf die Steuerung der robotischen Geräte. Diese bezieht sich u.a. auf die Gleichgewichtskontrolle bei Bewegungen (Topic 3), die Fernsteuerung (Topic 7) oder die

Steuerung einer Roboterhand (Topic 20). Weitere Themen beinhalten Patente zur Lokalisierung von Objekten (Topic 9) und Batterieladesystemen (Topic 21). Im zweiten Themenschwerpunkt lassen sich weniger wiederkehrende Muster, dafür unterschiedliche Anwendungsbereiche erkennen. Die Anwendungsbereiche der Robotik liegen bspw. in der Medizin zur Unterstützung in der Chirurgie (Topic 1) und in der Medikation (Topic 23), in der Produktion von Sensoren (Topic 8, Topic 24) und im Spritzgießverfahren (Topic 15), in der Lebensmittelverarbeitung (Topic 13) oder in der Landwirtschaft für Melksysteme (Topic 17). Neben der industriellen Anwendung der Robotik ist die Technologie auch im Haushaltsbereich für Reinigungsfunktionen (Topic 4) vertreten.

Des Weiteren ist erkennbar, dass die Topics überwiegend am Rand der Distanzkarte angeordnet sind. Es gibt viele kleine, unterschiedliche Topics. Die einzelnen Topics grenzen sich voneinander ab, in dem sie wenig Verbindungen zu anderen Themen aufweisen. Dieses lässt zum einen auf die spezialisierten Technologien und Anwendungsbereiche schließen, zum anderen auf eine hohe Dynamik innerhalb des Technologiegebiets. Dieses Phänomen verdeutlicht die Vielfalt und Komplexität des Technologiegebiets.

4.2 Identifizierung von Trends im Technologiegebiet der Robotik

Auf Basis der identifizierten Hauptthemen können neu aufkommende Trends erkannt werden. Hierzu werden im zweiten Schritt der Analyse die letzten zehn Jahre der Patente im Technologiegebiet der Robotik, der Zeitraum vom 01.01.2014 bis zum 31.12.2023, dynamisch mittels BERTopic modelliert. Die Datenbasis in diesem Zeitraum umfasst eine Anzahl von 16.961 Patenten, was einem relativen Anteil von 70,3 % bezogen auf die gesamte Datenbasis (24.124 Patente) entspricht. BERTopic ermittelt 60 Topics, deren absoluten Häufigkeiten (Anzahl Patente pro Topic) in den betrachteten Patenten über diesen Zeitraum in Bild 3 dargestellt sind. Die absolute Häufigkeit der Topics repräsentiert ihre Relevanz in der Datenbasis. Erkennbar ist, dass alle Topics ab dem Jahr 2021 stetig an Häufigkeit und somit an Relevanz verlieren. Wie bereits in 3.1 erläutert, ist die Ursache für den Abfall der Kurven der Topics der administrative Prozess von der Anmeldung zur Erteilung von Patenten. Die Patenterteilungen in der Datenbasis für die Jahre 2021, 2022 und 2023 liegen unvollständig vor und verzerren inhaltlich sowie statistisch die ermittelte Häufigkeit der Topics in der Datenbasis. Folglich werden diese Jahre in der Analyse unter Vorbehalt betrachtet und in den zugehörigen Diagrammen in Bild 3, Bild 4 und Bild 5 ausgegraut. Aufgrund der Vielzahl der Topics ist auf die Darstellung einer Legende aller 60 Topics in Bild 3 verzichtet worden.

Die drei größten Topics sind:

- 1) Robotic arm joint structures and drive assemblies (Topic 1)
- 2) Intelligent Systems and Control for Automation Networks (Topic 5)
- 3) Advanced Robotic Surgical Systems and Methods (Topic 0)

Im Vergleich zu den drei größten Topics aus dem vorangegangenen Zeitabschnitt (siehe 4.1), lassen sich ähnliche Hauptthemen ableiten. Die Patente in der Robotik befassen sich weiterhin mit dem Aufbau von Roboterarmen und dem unterstützenden Einsatz in der Chirurgie. Im Gegensatz zum vorherigen Zeitabschnitt, verliert das ehemalige Topic 2 zur Bearbeitung von

Substraten in der Halbleiterfertigung an Größe und somit an Relevanz. Es ist dennoch weiterhin in der Datenbasis präsent (Topic 4, Rang 8). Hinzu kommt das Topic 5 zur Steuerung von Automatisierungsnetzwerken, welches bisher nicht in der Patentdatenbasis erkannt worden ist. Dieses lässt sich als ersten Trend identifizieren.

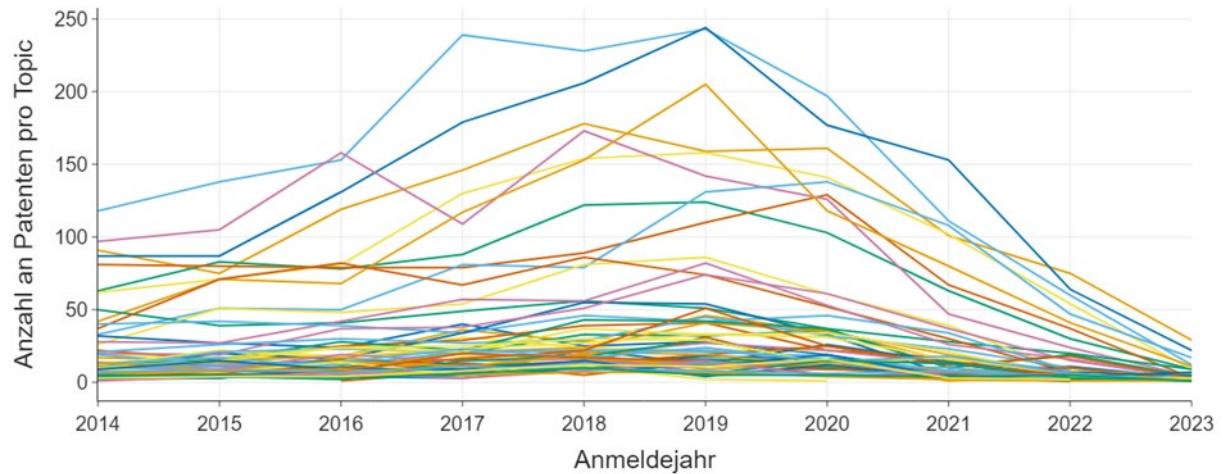


Bild 3: Das Ergebnis des dynamischen BERTopic zeigt die Anzahl der Patente pro Topic über den Zeitverlauf für die Jahre 2014 bis einschließlich 2023. Auf eine Legende zur Darstellung der Bezeichnungen aller 60 Topics ist aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet worden.

Bild 3 zeigt, dass die einzelnen Topics unterschiedliche Hoch- und Tiefpunkte aufweisen. Die drei genannten, ranghöchsten Topics besitzen ihren Hochpunkt im Jahr 2018 (Topic 0, Rang 3) bzw. im Jahr 2019 (Topic 1, Rang 1 und Topic 5, Rang 2). Insbesondere die Kurve des Topics 1 flacht in den darauffolgenden Jahren stark ab. Die zukünftige Abnahme seiner Relevanz wird angenommen. Die negative Steigung der Kurve des Topics 5 hingegen nimmt zum Jahr 2021 ab. Aufgrund der unvollständigen Patentdatenbasis in diesem Jahr, kann hier ein erneuter Anstieg nicht ausgeschlossen werden. Die hohe Anzahl an Patenten beider Topics lässt die Präsenz dieser Themen in der Zukunft erwarten. Sie sollten in die Planung einbezogen werden. Die medizinische Anwendung in der Robotik (Topic 0, Rang 3) steigt bereits zum Jahr 2020 erneut an. Die steigende Relevanz dieses Topics in der Zukunft ist erwartbar. Des Weiteren verändern sich die Häufigkeiten der Topics zwischen zwei Jahren teilweise stark. Dieses betont die angenommene hohe Dynamik des Technologiegebiets.

Für die weitere Analyse der Zeitverläufe der Topics werden die Topics in Teilabschnitte gegliedert und analysiert. Exemplarisch werden im Folgenden zunächst die oberen Top-10 Topics (Rang 1 bis Rang 10) betrachtet (siehe Bild 4). Anschließend werden die unteren Bottom-10 Topics (Rang 51 bis Rang 60) betrachtet (siehe Bild 5), deren Zeitverläufe in Bild 3 unkenntlich sind. Auch diese Topics zeigen die im Abschnitt 4.1 identifizierten Themenschwerpunkte zum Aufbau von Robotern und deren Anwendung. Für die Analyse beider Diagramme gilt der Fokus den im Zeitverlauf ansteigenden Topics, da diesen durch den Zuwachs eine zunehmende Relevanz in der Zukunft unterstellt wird und sie somit einen potenziellen positiven Trend darstellen.

Insgesamt beinhalten die Top-10 Topics 9.597 Patente der Datenbasis. Die Ergebnisse des dynamischen BERTopics sind in Bild 4 dargestellt.

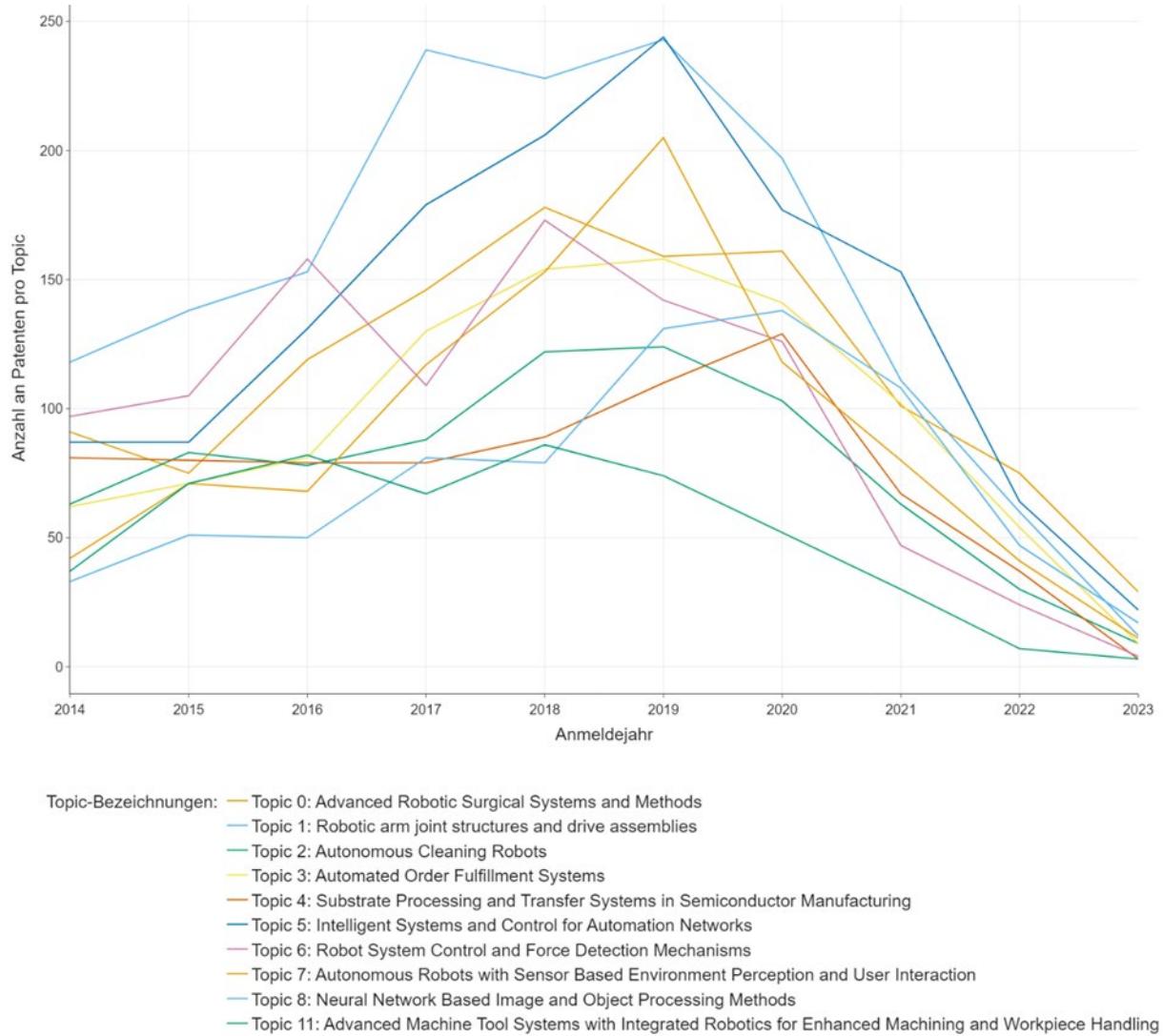


Bild 4: Anzahl der Patente pro Topic pro Anmeldejahr für die zehn größten Topics (Top-10, Rang 1 bis Rang 10) und ihre generierten Topic-Bezeichnungen.

Ein über den Zeitverlauf bis ins Jahr 2020 kontinuierlich ansteigendes Thema ist das Topic 4 (Rang 8) zur Bearbeitung von Substraten in der Halbleiterfertigung, welches bereits im vorherigen Zeitabschnitt erkannt worden ist. Die Anwendung von Robotik in dieser Branche lässt sich somit als Trend identifizieren. Ein weiterer Trend lässt sich im Topic 8 (Rang 9), welches die Anwendung in der Bild- und Objektverarbeitung beschreibt, vermuten. Die zugehörige Kurve zeigt einen stetigen Anstieg bis ins Jahr 2020. Zudem ist zum Jahr 2021 lediglich ein geringer Abfall zu verzeichnen, der sich durch die Vollständigkeit der Patentdatenbasis in einen Anstieg verändern kann. Die Topics 2 (Rang 7) und 3 (Rang 5) weisen einen gleichartigen, bogenförmigen Zeitverlauf auf. Bis ins Jahr 2019 steigen sie leicht an und fallen ebenso leicht im Jahr 2020 ab. Aufgrund dieses leichten Abfalls sollten die Themen der Reinigung (Topic 2) und der Auftragsabwicklung (Topic 3) beobachtet werden. Das Topic 7 (Rang 6) weist einen besonders starken Anstieg der Häufigkeit bis ins Jahr 2019 auf. In den folgenden Jahren fällt es mit gleicher Steigung ab. Folglich ist das Thema der Benutzerinteraktion 2019 besonders relevant gewesen. Die Zeitverläufe der Topics 6 (Rang 5) und 11 (Rang 10) weisen keine Besonderheiten, die auf potenzielle Trends schließen lassen, auf.

Die Zeitverläufe der Bottom-10 Topics sind in Bild 5 dargestellt. Auf den ersten Blick unterliegen diese zwischen den betrachteten Jahren stärkeren Schwankungen. Hier ist zu beachten, dass die Datenbasis der Topics aus 602 zugeordneten Patenten besteht. Diese im Vergleich zu den Top-10 Topics relativ geringe Menge an Patenten spiegelt sich an der Skalierung der y-Achse des Diagramms wider, die sich um ca. 1/12 reduziert und die Sprünge in der absoluten Häufigkeit höher erscheinen lässt. Dennoch bietet die Analyse der Zeitverläufe der Bottom-10 das Potenzial innovative Themen oder Nischentechnologien zu erkennen, die in Zukunft wachsen und somit einen versteckten Trend andeuten.

Insgesamt lassen sich vier Topics identifizieren, die bis zum Jahr 2020 an Häufigkeit zunehmen. Die Themen sind die Kraftkontrolle für die Handhabung und Bewegung von Objekten (Topic 47, Rang 56), die Audioverarbeitung (Topic 59, Rang 54), die robotischen Lehrgeräte und -methoden (Topic 48, Rang 51) und die Auswahlmethoden für robotische Greifer (Topic 51, Rang 55). Letzteres weist im Gegensatz zu den ersten drei genannten Topics, deren Häufigkeit in den folgenden Jahren stark abnimmt, lediglich einen geringen Abfall der Häufigkeit im Jahr 2021 auf. Mit Vollständigkeit der Patentdatenbasis in den folgenden Jahren ist ein weiterer Anstieg zu erwarten. In Topic 51 lässt sich daher ein Trend vermuten. Der Verlauf der Topics 47, 48, und 59 ist in den folgenden Jahren auf einen erneuten Anstieg zu prüfen.

Trotz der Unvollständigkeit der Patentdatenbasis für die Jahre 2021, 2022 und 2023 sind drei Topics identifizierbar, deren Anzahlen zugeordneter Patente im Zeitverlauf bereits auf Grundlage dieser Datenbasis in einem dieser Jahre erkennbar ansteigen. Die Topics 57 und 55 zeigen einen Aufwärtstrend im Jahr 2021 und das Topic 58 für das Jahr 2022. Die zugehörigen Patente beschreiben Themen zur wasserlosen Reinigung von Solarpaneelen (Topic 57, Rang 53), zur automatisierten Lebensmittelzubereitung und -verpackung (Topic 55, Rang 57) und zu automatisierten Beladungssystemen (Topic 58, Rang 60). Unter der Annahme, dass sich der Aufwärtstrend bei Vollständigkeit der Patentdatenbasis fortsetzt, handelt sich bei diesen Inhalten um innovative Trends, die es zu beachten gilt.

Ein negativer Trend zeigt sich im Topic 52 (Rang 58) für automatisierte Melksysteme, da sich die Anzahl der Patente reduziert und ab dem Jahr 2021 kein Patent diesem Topic zugeordnet werden konnte. Die Relevanz des Topics für zukünftige Entwicklungen wird daher als gering eingestuft. Die Zeitverläufe der Topics 37 (Rang 52) und 56 (Rang 59) weisen keine Besonderheiten, die auf potenzielle Trends schließen lassen, auf.

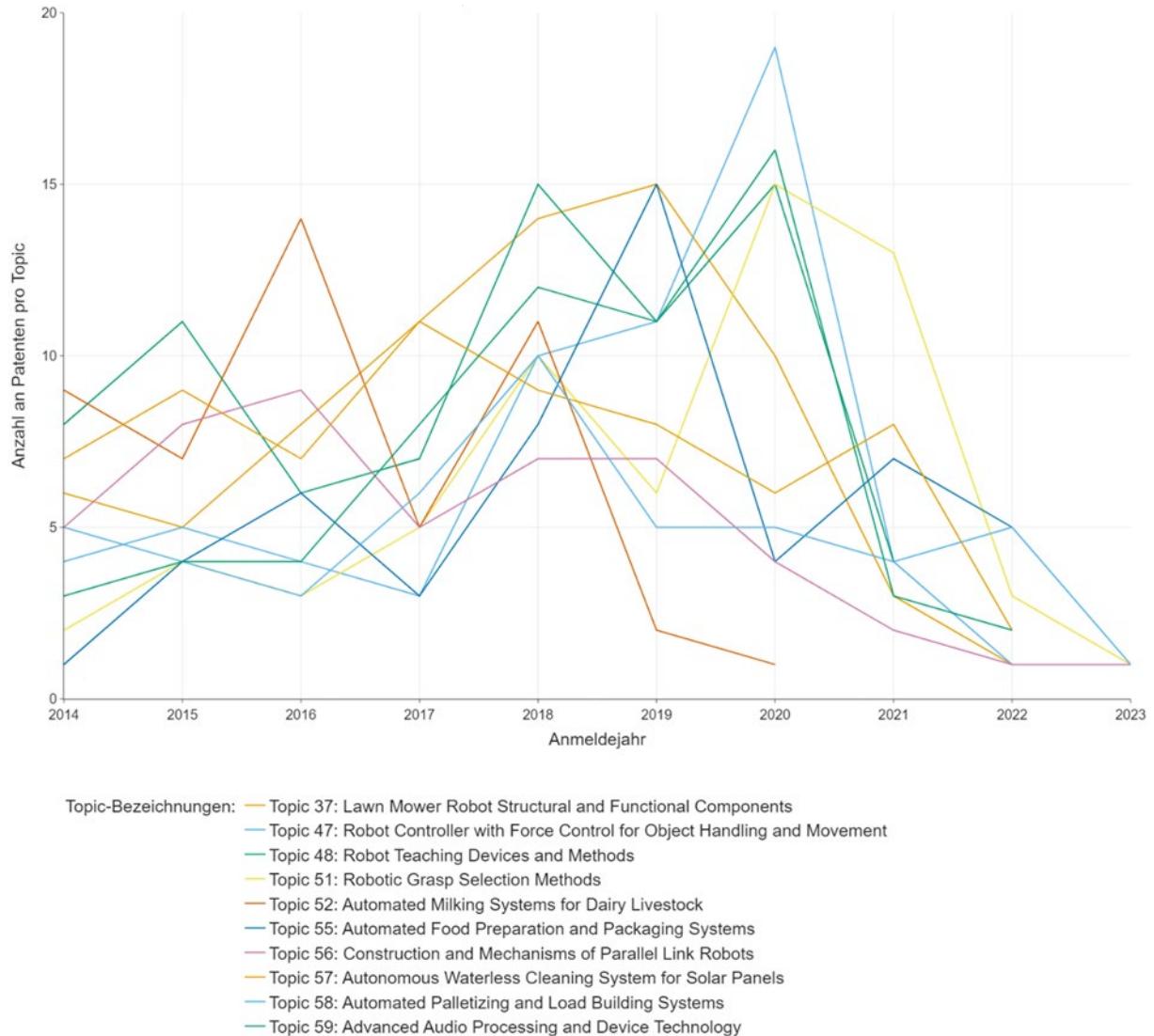


Bild 5: Anzahl der Patente pro Topic pro Anmeldejahr für die zehn kleinsten Topics (Bottom-10, Rang 51 bis Rang 60) und ihre generierten Topic-Bezeichnungen.

5 Anwendung der Trendanalyse in der Szenario-Technik zur Bestimmung von Schlüsselfaktoren

Die ermittelten Trends aus der Analyse der Patente bilden die Grundlage für die Formulierung der Einflussfaktoren und anschließender Bestimmung der Schlüsselfaktoren für das technologische Umfeld im Technologiegebiet der Robotik. Von den analysierten 60 Topics können 27 sogenannte Trend-Topics identifiziert werden. Trend-Topics sind Topics, die basierend auf der gesamten Trendanalyse (zusätzlich zu den im Abschnitt 4.2 dargestellten Trends), eine positive Steigung vom Jahr 2019 auf das Jahr 2020 oder später aufweisen. Bei diesen Topics wird ein fortlaufender Zuwachs in der Zukunft und somit ein positiver Trend angenommen. Topics, die laut Trendanalyse eine negative Steigung ab dem Jahr 2019 aufweisen, werden für die Bestimmung der Schlüsselfaktoren in diesem Beitrag nicht betrachtet. Ihren weiteren Verlauf gilt es, wie in der Trendanalyse beispielhaft für Topics aus den Top-10 und Bottom-10 empfohlen (siehe Abschnitt 4.2), zu beobachten. Anhand der Trend-Topic-Bezeichnungen werden Topic-

Gruppierungen erstellt und die Topics einer Gruppierung zugeordnet. Diese Gruppierungen stellen die Einflussfaktoren und somit potenzielle Schlüsselfaktoren für die Szenario-Erstellung dar. Bezogen auf das in diesem Beitrag vorgestellte Testfeld der Robotik lassen sich anhand der Trend-Topics zehn Einflussfaktoren bestimmen. Tabelle 2 listet die gesammelten Einflussfaktoren sowie die zugeordneten Trend-Topics entsprechend ihres Rangs und ihrer Nummern im dynamischen BERTopic auf. Je Einflussfaktor wird das jeweilige ranghöchste Trend-Topic, das sich durch einen niedrigen Rangnummernwert kennzeichnet, als Beispiel für die Trend-Topic-Bezeichnung genannt.

Tabelle 2: Liste der bestimmten Einflussfaktoren und der zugeordneten Trend-Topics entsprechend ihres Rangs und ihrer Nummer. Die Trend-Topic-Bezeichnung nennt das größte Trend-Topic des Einflussbereichs als Beispiel. Der durchschnittliche Rang des Einflussfaktors errechnet sich aus den Rängen der zugeordneten Topics und ist der Indikator für die Relevanz des Einflussfaktors.

| Einfluss-, potenzieller Schlüsselfaktor | Zugeordnete Topics | | Trend-Topic-Bezeichnung (Bsp.) | Durchschnittlicher Rang |
|--|-----------------------|-----------------------|--|-------------------------|
| | Ränge | Nr. | | |
| 1. Medizinische Robotik | 3, 37 | 0, 42 | Advanced Robotic Surgical Systems and Methods | 20 |
| 2. Bild- und Objekterkennung | 9, 22, 45 | 8, 38, 40 | Neural Network-Based Image and Object Processing Methods | 25,33 |
| 3. Fertigungs- und Verarbeitungsverfahren | 26, 27, 28 | 17, 45, 36 | Advanced Coating Methods and Devices | 27 |
| 4. Prozess- und Transfer-technologie Halbleiterfertigung | 8, 49 | 4, 28 | Substrate Processing and Transfer Systems in Semiconductor Manufacturing | 28,5 |
| 5. Inspektionssysteme | 25, 45 | 16, 40 | Inspection Robots and Systems | 35 |
| 6. Roboterkonfiguration und Betrieb | 30, 33, 44 | 50, 26, 41 | Methods for Configuring and Operating Robotic Systems | 35,67 |
| 7. Robotersteuerung, -bewegung und -interaktion | 2, 15, 50, 51, 55, 56 | 5, 15, 32, 48, 51, 47 | Intelligent Systems and Control for Automation Networks | 38,17 |
| 8. Autonome Reinigungssysteme | 39, 53 | 24, 57 | Pool Cleaning Robots and Systems | 46 |
| 9. Industrielle Automatisierung | 40, 48, 57, 60 | 34, 54, 55, 58 | Advanced Injection Molding Systems and Processes | 51,25 |
| 10. Audiotechnologie | 54 | 59 | Advanced Audio Processing and Device Technology | 54 |

Entsprechend der Regeln zur Szenario-Erstellung nach GAUSEMEIER UND PLASS sind 20 Schlüsselfaktoren für alle Umfelder ausreichend [GP14]. Unter der Annahme, dass fünf Umfelder für das Gestaltungsfeld definiert worden sind, sollten für das technologische Umfeld der Robotik die relevantesten vier Einflussfaktoren als Schlüsselfaktoren selektiert werden. Zur Bestimmung dieser, wird der durchschnittliche Rang der in einem Einflussfaktor enthaltenen Topics gebildet (siehe Tabelle 2). Dabei gilt, je niedriger der Wert des durchschnittlichen Rangs, desto größer sind die im Einflussfaktor enthaltenen Topics und somit die Relevanz des Einflussfaktors.

Es ergeben sich folgende vier Einflussfaktoren als Schlüsselfaktoren:

- 1) Medizinische Robotik
- 2) Bild- und Objekterkennung

- 3) Fertigungs- und Verarbeitungsverfahren
- 4) Prozess- und Transfertechnologie Halbleiterfertigung

Neben der Bestimmung von Einfluss- und Schlüsselfaktoren ist es zudem möglich, erste Zukunftsprojektionen anhand der Trend-Topic-Bezeichnung abzuleiten. Dabei können auch Trend-Topic-Bezeichnungen, die als Einflussfaktor identifiziert und nicht als Schlüsselfaktor ausgewählt worden sind, als Inspiration dienen. Für den ersten Schlüsselfaktor „Medizinische Robotik“ könnten die Zukunftsprojektionen z.B. wie folgt lauten:

- Erweiterte Fähigkeiten und Präzision: Weiterentwicklungen in der Mikrorobotik und Bildgebungstechnologien ermöglichen präzisere und weniger invasive Eingriffe.
- Fernchirurgie: Fortschritte in Roboterchirurgie ermöglichen es Chirurgen, Operationen aus der Ferne durchzuführen.
- Integration von KI: KI-gestützte Assistenzsysteme unterstützen Chirurgen bei der Entscheidungsfindung und erhöhen die Erfolgsquote von Operationen.

Zu beachten ist, dass es sich bei der Bestimmung von Einflussfaktoren, der Auswahl der Schlüsselfaktoren und der Formulierung von Zukunftsprojektionen um ein von der Autorin generiertes Beispiel handelt. Bei der Szenario-Erstellung in konkreten Szenario-Projekten gilt es die durch die Trendanalyse generierten Ergebnisse durch den Einbezug von Experten validieren zu lassen. Die ermittelten Trend-Topics und Einfluss- sowie Schlüsselfaktoren können vom Szenario-Team ebenso verwendet werden, um potenzielle Experten für die weitere Szenario-Erstellung, z.B. nach Empfehlung von GAUSEMEIER UND PLASS [GP14] für die Projektions-Entwicklung (Phase 3), auszuwählen. Die Ergebnisse der Trendanalyse können von ihnen als Grundlage für die Bestimmung der Zukunftsprojektionen verwendet werden. Die Trend-Topics spiegeln die Technologie wider und sind als Paten der Schlüsselfaktoren zu betrachten, die von Experten bewertet werden müssen.

Wie bereits in der Trendanalyse erkannt, unterliegen die Patentanzahlen der einzelnen Topics Schwankungen und einige potenzielle Trends gilt es zu beobachten. Das Technologiegebiet der Robotik besitzt somit eine hohe Dynamik. Für die Bestimmung der Schlüsselfaktoren bedeutet dies, die Trendanalyse in einem regelmäßigen Rhythmus, in dieser Technologie jährlich, durchzuführen. Sollten Veränderungen im Zeitverlauf der bisherigen Trend-Topics bezüglich ihrer Häufigkeit auftreten, neue Topics entstehen oder welche entfallen, ist die erneute Erstellung von Szenarien mit Anpassung der entsprechenden Schlüsselfaktoren und Zukunftsprojektionen in Betracht zu ziehen. So kann das dynamische Topic Modeling zusätzlich verwendet werden, um ein Monitoring der Szenarien zu ermöglichen und einen geeigneten Zeitpunkt für eine erneute Durchführung der Szenario-Technik auszuwählen. Der Aufwand für die Neubildung der Szenarien reduziert sich wesentlich im Vergleich zur Ersterstellung.

6 Zusammenfassung und Diskussion

In diesem Beitrag ist eine Methode zur automatisierten und datenbasierten Erstellung von Schlüsselfaktoren und ein Ansatz zur Ableitung von Zukunftsprojektionen in der Szenario-Technik vorgestellt worden. Die Ergebnisse zeigen drei Implikationen:

- 1) Patente eignen sich als Datengrundlage für die Analyse des globalen Umfelds „Technologie“ des Gestaltungsfelds in der Szenariofeld-Analyse (Phase 2).
- 2) Die Methoden des Topic Modelings eignen sich für die Identifizierung von Trends, die als Grundlage für die Ableitung von Einfluss-, Schlüsselfaktoren und Zukunftsprojektionen dienen.
- 3) Dynamisches Topic Modeling eignet sich zur Erfassung der Dynamik in den Trends und kann für das Monitoring von Szenarien angewandt werden.

Die Methode ist am Beispiel des Technologiegebiets der Robotik durchgeführt worden. Dabei ist gezeigt worden, dass sich die Patente in zwei Themenschwerpunkte unterteilen: Patente, die den Aufbau und die Steuerung von Robotern beinhalten und Patente, die die Anwendung von robotischen Geräten thematisieren. Die Dynamik der Robotik-Patente haben u.a. Trends hinsichtlich der medizinischen Robotik, der Bild- und Objekterkennung, der Fertigungs- und Verarbeitungsverfahren und der Prozess- und Transfertechnologie in der Halbleiterfertigung gezeigt, die als Schlüsselfaktoren fungieren. Aufgrund des dynamischen Technologiegebiets ist zu empfehlen, die Trendanalyse jährlich auf Veränderungen zu prüfen und ggf. die Szenarien zu aktualisieren.

Bei der Bestimmung der Einfluss- und Schlüsselfaktoren sowie bei der Ableitung der Zukunftsprojektionen gilt es die Ergebnisse von Experten validieren zu lassen. Die identifizierten Topics müssen hinsichtlich ihrer Trends ausgewertet und gruppiert werden. Die Trend-Topics stellen damit eher einen Spiegel der Technologie dar und lassen sich nicht direkt als Einflussfaktoren übertragen. Sie können jedoch zur Expertenauswahl und von diesen als Entscheidungsgrundlage verwendet werden. Zudem können, neben den positiven Trends, ebenso die potenziell negativen Trends mit dieser Methode analysiert und deren abnehmende Relevanz in die Bestimmung der Schlüsselfaktoren und Ableitung von Zukunftsprojektionen einbezogen werden. Als Entscheidungsgrundlage zur Auswahl der Schlüsselfaktoren aus den Einflussfaktoren dient in diesem Beitrag der durchschnittliche Rang, der anhand der Größe der Topics in einem Einflussfaktor die Relevanz dieses Faktors abbildet. Hier könnten zukünftig weitere Evaluierungsmethoden, wie bspw. der Einbezug des Grads der Steigung der Topic-Zeitverläufe, geprüft werden. Eine weitere Limitation der Methode ist die Wiederholbarkeit des Topic Modelings. Trotz identischer Eingangsdaten können bei mehrfacher Durchführung unterschiedliche Topics und Topic-Bezeichnungen generiert werden. Die Unterschiede werden als geringfügig eingestuft und können vernachlässigt werden.

Für die Unternehmenspraxis bietet die Methode eine effektive und effiziente Möglichkeit die Bestimmung von Schlüsselfaktoren und Zukunftsprojektionen und somit die Erstellung von Szenarien zu beschleunigen und durch die Einbindung einer Datenbasis deren Qualität zu erhöhen. Durch die Möglichkeit zur fortlaufenden Überwachung der Schlüsselfaktoren lassen sich Veränderungen rechtzeitig erkennen und die Szenarien schnell und unter vertretbarem Aufwand anpassen.

Zur vollständigen Durchführung der Szenario-Technik sollten entsprechend des Gestaltungsfelds neben der Robotik weitere Technologiegebiete betrachtet werden. Dieses ist durch eine Adaption des Suchstrings der Patentrecherche möglich. Des Weiteren sollten für die Einbezie-

hung anderer direkter und globaler Umfelder des Gestaltungsfelds neben Patenten weitere Datenquellen einbezogen werden. Diese können anschließend mit der gleichen vorgestellten Methodik mittels Topic Modeling einer Trendanalyse unterzogen werden. So könnten bspw. Zeitungsartikel für das politische Umfeld mit der Methode analysiert werden. Zukünftige Forschung kann eine Integration weiterer Technologiegebiete sowie Datenquellen zur vollständigen Automatisierung und Datengrundierung der Szenario-Erstellung anstreben.

Literatur

- [BHQ24] BEKAMIRI, H.; HAIN, D. S.; JUROWETZKI, R.: PatentSBERTa: A deep NLP based hybrid model for patent distance and classification using augmented SBERT. *Technological Forecasting and Social Change*, (206) 123536, 2024
- [BHQ24] BEKAMIRI, H.; HAIN, D. S.; JUROWETZKI, R.: PatentSBERTa: A deep NLP based hybrid model for patent distance and classification using augmented SBERT. *Technological Forecasting and Social Change*, (206) 123536, 2024
- [DRM+06] DAIM, T. U.; RUEDA, G.; MARTIN, H.; GERDSRI, P.: Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, (73)8, 2006, S. 981–1012
- [FW17] FRISCHKORN, J.; WALTER, L.: Technologievorausschau mittels informetrisch ausgewerteter Patentdaten – eine Einstiegsoption für das Technologie-Roadmapping. In: Möhrle, M. G.; Isenmann, R. (Hrsg.): *Technologie-Roadmapping – Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen*. 4. Auflage, VDI-Buch, Springer Vieweg, Berlin, 2017, S. 169–183
- [GP14] GAUSEMEIER, J.; PLASS, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. 2. Auflage, Hanser, München, 2014
- [Gro22] GROOTENDORST, M.: BERTopic: Neural topic modeling with a class-based TF-IDF procedure, 2022
- [Gro24a-ol] GROOTENDORST, M. P.: 6B. LLM & Generative AI - BERTopic. Unter: https://maartengr.github.io/BERTopic/getting_started/representation/llm, 26. Juli 2024
- [Gro24b-ol] GROOTENDORST, M. P.: Parameter tuning - BERTopic. Unter: https://maartengr.github.io/BERTopic/getting_started/parameter%20tuning/parametertuning.html, 26. Juli 2024
- [KD22] KÖDDING, P.; DUMITRESCU, R.: Szenario-Technik mit digitalen Technologien. In: Hartmann, E. A. (Hrsg.): *Digitalisierung souverän gestalten II – Handlungsspielräume in digitalen Wertschöpfungsnetzwerken*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2022, S. 120–135
- [QW22] QIU, Z.; WANG, Z.: Technology Forecasting Based on Semantic and Citation Analysis of Patents: A Case of Robotics Domain. *IEEE Transactions on Engineering Management*, (69)4, 2022, S. 1216–1236
- [SKH+19] SOHRABI, S.; KATZ, M.; HASSANZADEH, O.; UDREA, O.; FEBLOWITZ, M. D.; RIABOV, A.: IBM Scenario Planning Advisor: Plan recognition as AI planning in practice. *AI Communications*, (32)1, 2019, S. 1–13
- [SMS+15] STELZER, B.; MEYER-BRÖTZ, F.; SCHIEBEL, E.; BRECHT, L.: Combining the scenario technique with bibliometrics for technology foresight: The case of personalized medicine. *Technological Forecasting and Social Change*, (98), 2015, S. 137–156
- [Son16] SONG, C. H.: Früherkennung von konvergierenden Technologien. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2016
- [Tri15] TRIPPE, A.: Guidelines for preparing patent landscape reports. *Patent landscape reports*. Geneva: WIPO, 2015
- [WS16] WALTER, L.; SCHNITTNER, F. C.: *Patentmanagement – Recherche - Analyse - Strategie*. De Gruyter Oldenbourg, Berlin, 2016

Autoren

Laura M. Berensmeier, M.Sc., studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der Universität in Bremen und arbeitet seit 2023 am Institut für Projektmanagement und Innovation (IPMI) der Universität Bremen. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen in jeglichen Bereichen der Zukunftsforschung und der Inklusion verschiedener Datenquellen in die Szenario-Technik mittels diskriminativer und generativer künstlicher Intelligenz.

Session VII

Strategische Unternehmensvorausschau unter Unsicherheit: Ein robustes Entscheidungsfindungsmodell im aufstrebenden Wasserstoffmarkt

Julian Dörr¹

¹ *Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement Universität Stuttgart,
julian.doerr@iat.uni-stuttgart.de*

Zusammenfassung

Im Rahmen der systemischen Vorausschau zukünftiger Markt- und Technologieentwicklungen sehen sich Unternehmen früher oder später mit der Notwendigkeit komplexer Entscheidungen konfrontiert. Da es sich dabei um weit in die Zukunft reichende Entscheidungen handelt, sind sie in den meisten Fällen mit tiefen Unsicherheiten verbunden [MWB+19]. Unter solchen Bedingungen tiefer Unsicherheit kommt das herkömmliche Risikomanagement und der traditionelle „predict-then-Act“-Ansatz an seine Grenzen und es ist schwierig, sich auf herkömmliche Methoden der Entscheidungsunterstützung zu verlassen, die sich auf eine probabilistische Analyse der zukünftigen Bedingungen stützen [SR21]. In der Praxis zeigt sich jedoch, dass Menschen bei der Bewältigung komplexer Entscheidungsprobleme, die vielfältige Konsequenzen haben, schnell an ihre Grenzen stoßen [GL14]. Ein wesentlicher Kritikpunkt von Praktiken des strategischen Managements, wie beispielsweise der systematischen Unternehmensvorausschau, ist das Fehlen quantitativer Modelle, die Entscheidungsträger:innen datenbasiert Empfehlungen aussprechen [Web24]. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, quantitative Modelle auch als Grundlage für langfristige strategische Entscheidungsfindungen einzusetzen, die mit tiefen Unsicherheiten verbunden sind. Robust Decision-Making (RDM) stellt ein neues quantitatives Instrument zur Entscheidungsunterstützung dar, welches auch bei tiefer Unsicherheit die Grundlage für fundierte Entscheidungen bildet. Die bisherigen Anwendungen von RDM konzentrierte sich jedoch vornehmlich auf politische Entscheidungen, während die Perspektiven von Unternehmen nur wenig Beachtung finden [HJK+23]. In diesem Beitrag wird RDM anhand einer beispielhaften Investitionsentscheidung eines Unternehmens in einen Elektrolyseur zur Erzeugung und Vertrieb von Wasserstoff angewendet. Die Unsicherheit zentraler Parameter der Investitionsrechnung wird anhand von angemessenen Grenzen bzw. Unsicherheitsspannen quantitativ repräsentiert. Aus den Unsicherheitsspannen werden anhand statistischer Methoden zur Auswahl zufälliger Stichproben 10.000 Zukunftsszenarien generiert, welche im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse die Grundlage für die Bewertung der Investitionsentscheidung vor dem Hintergrund der zentralen Unsicherheitsfaktoren bilden. Abschließend werden die Ergebnisse in den Kontext der strategischen Entscheidungsfindung in der Wasserstoffwirtschaft diskutiert und eingeordnet.

Schlüsselworte

Robuste Entscheidungsfindung, tiefe Unsicherheit, Investitionsentscheidung, Wasserstoffwirtschaft

Strategic corporate foresight under uncertainty: A robust decision-making model in the emerging hydrogen market

Abstract

As part of the strategic foresight of future market and technological developments, companies are sooner or later confronted with the need to make complex decisions. As these are decisions that reach far into the future, they are in most cases associated with deep uncertainties [MWB+19]. Under such conditions of deep uncertainty, conventional risk management and the traditional "predict-then-act" approach reach their limits and it is difficult to rely on conventional methods of decision support based on a probabilistic analysis of future conditions [SR21]. In practice, however, it can be seen that people quickly reach their limits when dealing with complex decision-making problems that have multiple consequences [GL14]. A major criticism of strategic management practices, such as corporate foresight, is the lack of quantitative models that provide decision-makers with data-driven recommendations [Web24]. It is therefore crucial to use quantitative models as a basis for long-term strategic decision-making which are associated with deep uncertainties. Robust Decision-Making (RDM) is a new quantitative tool for decision support, which forms the basis for well-founded decisions even in the face of deep uncertainty. However, previous applications of RDM have focussed primarily on political decisions, while the perspectives of companies have received little attention [HJK+23]. In this article, RDM is applied to an exemplary investment decision of a company in an electrolyzer for the production and sale of hydrogen. The uncertainty of central parameters of the investment calculation is quantitatively represented by means of appropriate limits or uncertainty ranges. Using statistical methods for the selection of random samples, 10.000 future scenarios are generated from the uncertainty ranges, which form the basis for the evaluation of the investment decision against the background of the central uncertainty factors as part of a sensitivity analysis. Finally, the results are discussed and categorized in the context of strategic decision-making in the hydrogen economy.

Keywords

Robust decision-making, deep uncertainty, investment decision, hydrogen economy

1 Einleitung

Die Bundesrepublik Deutschland intensiviert zunehmend ihre Anstrengungen, die Dekarbonisierung der Volkswirtschaften voranzutreiben. Die jüngsten Prognosen des Umweltbundesamtes bestätigen, dass Deutschland auf Kurs ist das ausgeschriebene Ziel von Deutschland 2030 65 % der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 zu senken zu erreichen. Vor allem der Ausbau der erneuerbaren Energien gibt Anlass zur Hoffnung und erzielt in den Projektionsdaten eine kumulierte Übererfüllung des Sektorenziels von 175 Mio t CO₂-Äq. bis 2030 [WS24]. Der Rückgang der Installationskosten sowie die Erhöhung der politischen Anreize führen zu einer verstärkten Dynamik im Bereich der erneuerbaren Energien [BUB+23]. In Deutschland beispielsweise lag der Anteil der erneuerbaren Energien an der gesamten Stromerzeugung erstmals über der Hälfte und erreichte im Jahr 2023 55,0 % [Bun24].

Im Kontext der deutschen Energiewende konzentriert sich jedoch ein großer Teil des öffentlichen Diskurses und der politischen Initiativen zum Klimawandel auf die Dekarbonisierung des Stromsektors. Betrachtet man jedoch das Energiesystem als Ganzes, über den Energieträger Strom hinaus, und unter Berücksichtigung der Dekarbonisierung der gesamten Wirtschaft, zeigt sich ein verändertes Bild. Im Jahr 2022 wurden lediglich 20,8 % des deutschen Bruttoendenergieverbrauchs durch erneuerbare Energien gedeckt [Umw23]. Bislang konnten lediglich marginale Fortschritte bei der Dekarbonisierung von Wirtschaftssektoren erreicht werden, deren direkte Dekarbonisierung schwieriger ist und die gemeinhin als "schwer abbaubare Sektoren" („hard-to-abate sectors“) bezeichnet werden, wie beispielsweise die Zement- und Stahlproduktion oder die Luft- und Schifffahrt. Diese Sektoren sind im hohen Maße von fossilen Brennstoffen abhängig und es werden häufig Hochtemperatur-Wärmequellen oder Prozesse eingesetzt, die eine erhebliche Menge an Energie verbrauchen [FG23]. Die Bereitstellung der konstant hohen Energiedichte, die für diese energieintensiven Anwendungen erforderlich ist, stellt eine Herausforderung für elektrische Systeme dar. Dies erfordert die Energiedichte und Speicherfähigkeit chemischer Energieträger, wie Wasserstoff, um beispielsweise sehr hohe Temperaturen in industriellen Prozessen bereitzustellen oder überschüssigen Strom saisonal zu speichern.

Trotz der Notwendigkeit, entsprechende Wasserstoffkapazitäten aufzubauen, steckt die Wasserstoffwirtschaft noch in den Anfängen und der Hochlauf erfolgt nur langsam. Gründe hierfür sind neben Faktoren wie den hohen Kosten und der sich noch im Aufbau befindlichen Infrastruktur auch die weit verbreiteten Unsicherheiten, die von den Akteuren entlang der gesamten Wertschöpfungskette wahrgenommen werden. Diese Unsicherheiten erschweren es strategische Entscheidungen zu treffen und stellen somit eine Herausforderung für die vorausschauende Produkt- und Technologieplanung dar. In diesem Beitrag werden die in der Wasserstoffwirtschaft vorherrschenden Unsicherheiten beschrieben, die es erschweren, entschlossene Investitionsentscheidungen zu treffen. Als Konsequenz davon wird ein neues methodisches Instrument, Robust Decision-Making (RDM), vorgestellt, das die Entscheidungsfindung unter Unsicherheit in der Wasserstoffwirtschaft unterstützen kann. In diesem Beitrag wird die Methodik des RDM anhand einer exemplarischen Investitionsentscheidung eines Unternehmens in einen Elektrolyseur zur Erzeugung und zum Vertrieb von Wasserstoff angewendet. Dabei

werden die Möglichkeiten aufgezeigt, durch die quantitative Erfassung zentraler Unsicherheitsparameter anhand einer Vielzahl von Zukunftsszenarien, die Grundlage für eine robuste Investitionsentscheidung trotz tiefer Unsicherheiten zu schaffen.

2 Der aktuelle Stand der Wasserstoffwirtschaft

Der rasche Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft wird als essenziell für den Erfolg der gesamten Energiewende in Deutschland erachtet. Es ist von entscheidender Bedeutung, so schnell wie möglich auf grünen Wasserstoff umzusteigen, um die kumulativen Emissionen in den nächsten zwei Jahrzehnten zu verringern [FBS22]. Jedoch schreitet die derzeitige Marktentwicklung der Wasserstoffwirtschaft nur langsam voran. Investitionsentscheidungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, von der Produktion über Transport und Speicherung bis hin zur Anwendung, werden nur zögerlich getroffen. Derzeit sind lediglich 20 % der für das Jahr 2030 angestrebten Elektrolysekapazitäten in Deutschland absehbar, wenn man die Projekte einbezieht, die bereits installiert sind, sich im Bau befinden oder für die eine endgültige Investitionsentscheidung getroffen wurde [RGJ+23]. Der Ausbau des Elektrolysemarktes stellt ein entscheidendes Hindernis auf dem Weg zur Klimaneutralität dar [OUN+22]. Um einen funktionsfähigen Markt zu initiieren, muss parallel zum Hochlauf der Produktionskapazitäten auch die Nachfrage- und Infrastrukturseite der Wasserstoffwirtschaft entwickelt werden. Die Koordination dieses Aufbaus wird jedoch als ein dreifaches Henne-Ei-Problem beschrieben. Die begrenzte Verfügbarkeit von Wasserstoff aufgrund des fehlenden Marktvolumens führt zu einem Kreislauf, der die Entwicklung einer geeigneten Infrastruktur und die Nachfrage nach Wasserstoff behindert, was wiederum das Angebot von Wasserstoff beeinträchtigt [SSS21]. In der Konsequenz führt dies zu einer allgemeinen Unsicherheit bezüglich des Verhaltens der übrigen Marktteilnehmer. Zusätzlich bestehen auf jeder der drei Ebenen – Nachfrage, Angebot und Infrastruktur – erhebliche Unsicherheitsfaktoren, welche zukunftsweisende Marktentscheidungen maßgeblich erschweren.

2.1 Unsicherheit auf der Nachfrageseite

Auf der Nachfrageseite eröffnet die Flexibilität von grünem Wasserstoff eine Vielzahl potenzieller Anwendungsbereiche, beispielsweise in der Industrie, im Verkehr, im Strombereich sowie beim Heizen. In einigen Industriezweigen, wie in der Primärstahlerzeugung oder als Ausgangsstoff für die Herstellung von Chemikalien wie Ammoniak oder Olefinen, stellt Wasserstoff die einzige praktikable Möglichkeit zur Dekarbonisierung dar [UBD+21]. In den meisten anderen Anwendungsfällen ist jedoch ungewiss, wie groß der zukünftige Bedarf an Wasserstoff sein wird, und es wird intensiv diskutiert, ob Wasserstoff sich durchsetzen wird oder nicht. In Deutschland wurde beispielsweise während der intensiven Diskussionen über das Heizungsgesetz im Frühling 2023 der Nutzen von Wasserstoff zum Heizen zu einem politischen Thema, was die Verbraucher im Unklaren ließ [Ste23], obwohl keine unabhängigen wissenschaftlichen Belege für die breite Verwendung von Wasserstoff zum Heizen sprechen [Ros22]. Ein weiteres Beispiel ist der Schwerlastverkehr. In der Vergangenheit wurde angenommen, dass Brennstoffzellenfahrzeuge aufgrund ihrer höheren Energiedichte im Vergleich zu batterieelektrischen Fahrzeugen einen signifikanten Marktanteil im Langstreckenverkehr haben werden. Mit dem

Aufkommen batteriebetriebener Lkw der zweiten Generation mit Ladesystemen im Megawattbereich schrumpft jedoch der Zeitrahmen für die Sicherung eines bedeutenden Marktanteils rapide [Plö22]. Große Unternehmen wie MAN haben diesen Trend erkannt und erklären, dass die Anwendung von Wasserstoff im Verkehrssektor derzeit nicht praktikabel ist [Lif24]. Andere bekannte Unternehmen wie Volvo und Daimler Truck betonen jedoch weiterhin die Relevanz von Brennstoffzellen-Lkw [Dai22].

Auch die Einschätzung der potenziellen Wasserstoffnachfrage im Industriesektor ist mit besonderen Schwierigkeiten verbunden. In einigen energieintensiven Industrien lässt sich die Nachfrage klar bestimmen, während in vielen Sektoren Unsicherheiten hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung bestehen. Dies betrifft insbesondere kleine und mittlere Unternehmen, die Schwierigkeiten haben, einen umfassenden Weg zur Erreichung einer kohlenstoffneutralen Produktion für sich festzulegen. Infolgedessen bleibt unklar, ob Wasserstoff eine breitflächig einsetzbare Lösung für sie darstellen wird. Im Jahr 2023 wurde in Baden-Württemberg eine landesweite Bedarfserhebung durchgeführt, deren Ziel es war, den Wasserstoffbedarf von Unternehmen und potenziellen Verbrauchern für die kommenden Jahre zu ermitteln. Auch hier wies die Umfrage eine signifikante Spannbreite der Schätzungen auf [SBP+23].

Der Umstieg von Unternehmen auf die Nutzung von Wasserstoff wird jedoch nicht allein durch die Kosteneffizienz und Überlegenheit der Wasserstofftechnologie gegenüber der derzeitig eingesetzten Technik erreicht, wie dies perspektivisch beispielsweise beim Umstieg von Diesel-Lkw auf Brennstoffzellen zu erwarten ist. Vielmehr muss die Wasserstofftechnologie auch der alternativen, emissionsfreien Option für diesen Anwendungsfall überlegen sein. Im vorliegenden Beispiel bedeutet dies, dass sie auch kostengünstiger als batterieelektrische LKW sein muss. Die Frage der Kostenwettbewerbsfähigkeit von Wasserstofftechnologien im Vergleich zu Technologien, die auf direkter Elektrifizierung basieren, ist Gegenstand intensiver Diskussionen [Lie20]. Eine der wesentlichen Überlegungen der Verbraucher bei der Bewertung der potenziellen Vorteile der Wasserstofftechnologie sind die voraussichtlichen Kosten für den Betrieb eines solchen Systems. Eine Bewertung der Wettbewerbsfähigkeit der Wasserstoffpreise stellt daher die Grundlage für jede Investitionsentscheidung dar. Eine aktuelle Metastudie von MERTEN ET AL. [MSA23] analysierte die voraussichtlichen Kosten der Versorgung mit grünem Wasserstoff in Deutschland im Jahr 2030. Die Studie ergab eine erhebliche Kostenspanne von 4,5 ct/kWh bis zu 20,5 ct/kWh, was eine zuverlässige Planung der Betriebskosten von Wasserstofftechnologien erschwert. Die zukünftige Etablierung von Wasserstoff in verschiedenen Sektoren, insbesondere in verschiedenen industriellen Anwendungen, bleibt daher ungewiss. Das unsichere Investitionsumfeld für potenzielle Wasserstoffkunden hemmt die Möglichkeit eines nachfragegetriebenen Impulses für den technologischen Wandel. Dies hat wiederum direkten Einfluss auf die Angebotsseite.

2.2 Unsicherheit auf der Angebotsseite

Neben den unsicheren Nachfragevolumina existieren weitere erhebliche Unsicherheiten auf der Angebotsseite der entstehenden Wasserstoffwirtschaft, welche die Beschleunigung ihres Wachstums behindern. Der Energiesektor ist kapitalintensiv, und politische Veränderungen wie

die Deregulierung können zu erheblichen verlorenen Investitionen und Marktunsicherheit führen [Mah06]. Gegenwärtig sehen sich Erstanbieter auf der Angebotsseite bereits mit regulatorischer Unsicherheit konfrontiert, da es keinen etablierten regulatorischen Rahmen gibt.

Auch die öffentliche Akzeptanz von Wasserstoff kann den Hochlauf der Wasserstoffproduktion in einem frühen Stadium beeinträchtigen. Die potenzielle Akzeptanz der Gesellschaft für einen deutlichen Anstieg der erneuerbaren Energien wird für die Entwicklung nationaler Wasserstoffproduktionskapazitäten als entscheidender Faktor angesehen [SSS21]. Des Weiteren sind mehrere technisch-wirtschaftliche Faktoren zu nennen, die mit einer hohen Unsicherheit behaftet sind und die Prognose der Wasserstoffproduktionskosten maßgeblich beeinflussen. Zu den relevanten Faktoren zählen die Kosten für die Entwicklung von Elektrolyseuren, der Kapazitätsfaktor, die Strompreise sowie die Einführung eines strengen CO₂-Preises. Aufgrund dieser Faktoren sind verlässliche Aussagen über die Kostenentwicklung auf der Produktionsseite nur schwer zu treffen [FBS22].

Besonders relevant ist außerdem, dass die langfristigen Unsicherheiten in Bezug auf die Elektrolysekapazitäten ein Hindernis für gegenwärtige Investitionen in die Elektrolyse darstellen können [OUN+22]. Bereits im Fall der erneuerbaren Energien wurde beobachtet, dass die Ungewissheit hinsichtlich des technologischen Fortschritts zu Investitionsverzögerungen führen kann. Sofern ein Investor einen erheblichen Kostenrückgang erwartet, kann es vorteilhaft sein, die Investitionsentscheidung aufzuschieben und auf die Kostensenkung zu warten. Gemäß FUSS & SZOLGAYOVÁ [FS10] werden demnach Investitionsoptionen zu einem späteren Zeitpunkt ausgeübt, wenn eine größere Varianz der Unsicherheit besteht. Die Zeitkritikalität der Investitionen ist jedoch bereits heute ein entscheidender Faktor. Auch bei einer vergleichbaren Geschwindigkeit des Ausbaus der Elektrolysekapazitäten im Vergleich zum massiven Ausbau der Wind- und Solarenergie wird grüner Wasserstoff in der Europäischen Union voraussichtlich bis 2030 und weltweit bis 2035 knapp bleiben [OUN+22]. Dies lässt auf ein signifikantes Risiko schließen, dass langfristig ein Ungleichgewicht zwischen dem erwarteten Angebot und der potenziellen Nachfrage besteht. Die gegenwärtige Unsicherheit hinsichtlich der künftigen Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff führt bei potenziellen Kunden zu Verunsicherung, was wiederum die Ungewissheit der Hersteller hinsichtlich des Zeitpunktes und des Preises der Nachfrage erhöht.

2.3 Unsicherheit auf der Infrastrukturseite

Neben den Unsicherheiten auf der Angebots- und Nachfrageseite ist auch die Entwicklung der Wasserstoffinfrastruktur und des Transportsystems mit Ungewissheit behaftet. In Deutschland besteht die Erwartung, dass kostengünstiger Wasserstoff in großem Umfang importiert werden kann. Dies bringt allerdings logistische Herausforderungen mit sich, die noch ungeklärt sind. Derzeit ist nicht abzusehen, dass Wasserstoff nach Deutschland über eine einzige, dominierende Transportoption importiert wird [SAA+22]. Bislang existieren lediglich vereinzelte Pilotprojekte für den Transport von Wasserstoff über Länder- bzw. Kontinentgrenzen hinweg. Aufgrund der bisher begrenzten Erfahrungswerte ist es schwierig, eine verlässliche Kostenabschätzung für importierten Wasserstoff zu erstellen. Neben den Investitions- und Betriebskos-

ten, die mit Schiffen und dem Transport auf dem Landweg verbunden sind, gibt es auch erhebliche Unsicherheiten bezüglich der Kosten für die Verarbeitung des Wasserstoffs für den Transport und dessen anschließende Freisetzung. Diese zusätzlichen Kosten könnten einen erheblichen Einfluss auf den Endpreis von importiertem Wasserstoff haben [YHB +23]. Selbst wenn diese Hürden für den Import überwunden werden, sehen Experten eine leistungsgebundene Wasserstoffversorgung für viele mittelständische Unternehmen in Deutschland sowohl räumlich als auch zeitlich noch in weiter Ferne [KS22]. Dies wirft die Frage auf, inwiefern eine zuverlässige und wirtschaftliche Versorgung von Unternehmen, die sich weit vom Wasserstoff-Kernnetz entfernt befinden, sichergestellt werden wird.

Insgesamt betrachtet wird deutlich, dass Unsicherheiten in der entstehenden Wasserstoffwirtschaft eine entscheidende Rolle spielen. Sowohl auf der Angebots- und Nachfrageseite als auch bei der Entwicklung der Wasserstoffinfrastruktur lassen sich verschiedene Formen der Unsicherheit beobachten, welche die Entscheidungsträger beeinflussen. Die Komplexität dieser Unwissensheiten machen die Entscheidungsfindung in dieser frühen Phase der Wasserstoffwirtschaft zu einer schwierigen Aufgabe und weitreichende Maßnahmen werden dadurch potentiell gehemmt. Hierbei ist wichtig zu unterstreichen, dass die heute getroffenen Investitionsentscheidungen die CO₂-Intensität des künftigen Energiemixes bestimmen werden [FS10]. Die Dringlichkeit der Lage wirft die Frage auf, wie Unternehmen angesichts der Unsicherheit über die Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft strategische Entscheidungen treffen können, um dennoch entschlossene Maßnahmen zur Dekarbonisierung zu ergreifen.

3 Quantitative Methoden der Entscheidungsfindung

Die Wasserstoffwirtschaft steht aktuell vor zahlreichen Herausforderungen. In Kapitel 2 wurden die weitverbreiteten Unsicherheiten beschrieben, die es erschweren, die Konsequenzen und das Ausmaß der heutigen Entscheidungen abzuschätzen. Bei der Bewältigung komplexer Entscheidungsprobleme, die vielfältige Konsequenzen haben, können Menschen schnell an ihre Grenzen stoßen [GL14]. Aus diesem Grund nutzen Unternehmen quantitative Analysen, um fundierte Entscheidungen zu treffen. Quantitative Analysen können die systematische Auswertung umfangreicher Informationen erleichtern und Verzerrungen und Mängel in der Argumentation aufdecken [LPB03]. Das Fehlen von quantitativen Modellen, die datengestützte Empfehlungen für Entscheidungsträger liefern, wird in strategischen Geschäftspraktiken wie der strategischen Unternehmensvorausschau („corporate foresight“) kritisiert [Web24]. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, quantitative Modelle als Grundlage für die Vielzahl von Formen der strategischen Entscheidungsfindung zu nutzen. Bei langfristigen Entscheidungen zeigen sich jedoch die Grenzen quantitativer Methoden und kommen in diesen Fällen nur selten zum Einsatz [LPB03].

3.1 Unsicherheit und Entscheidungsfindung

Langfristige Prognosen sind mit der Herausforderung ihrer inhärenten Unsicherheiten konfrontiert. Die Entscheidungsprozesse bei langfristigen Entscheidungen werden somit in den meisten Fällen von einer "tiefen Unsicherheit" („deep uncertainty“) begleitet [MWB+19]. Im Rahmen

der Betrachtung von Unsicherheit in der Entscheidungsfindung ist es von grundlegender Bedeutung, eine Differenzierung zwischen Unsicherheit und Risiko vorzunehmen. Bereits im Jahr 1921 wies Frank H. Knight auf die Notwendigkeit einer Differenzierung zwischen Risiko und Ungewissheit hin. Er betonte, dass Ungewissheit nicht mit einem Risiko gleichgesetzt werden kann, da sie sich nicht auf eine objektive, quantitativ bestimmbare Wahrscheinlichkeit reduzieren lässt [Kni21]. Bei der Entscheidungsfindung unter Risiko werden mehrere zukünftige Zustände mit zugehörigen Wahrscheinlichkeiten betrachtet, was zu einem Erwartungswert für jede Entscheidungsalternative führt [DH23]. Diese Wahrscheinlichkeitstheorie kann jedoch nicht auf Unsicherheiten angewandt werden, da den Unternehmen wichtige Informationen fehlen, um den Standard-Entscheidungsprozess, wie beispielsweise die Schätzung der Ergebniswahrscheinlichkeit, durchzuführen [Are24]. Risiko kann als eine Form der Unsicherheit auf niedriger Ebene kategorisiert werden, bei der Verluste und Wahrscheinlichkeiten quantifizierbar sind [MWB +19]. Bei Betrachtung von Unsicherheiten differenzieren Autoren zwischen verschiedenen Ebenen der Unsicherheit, die im spezifischen Kontext der Entscheidungsfindung entsprechende Reaktionen erfordern. Das Spektrum der verschiedenen Unsicherheitsstufen ist vielfältig und reicht vom unerreichbaren Ideal des vollständigen Determinismus bis hin zur völligen Unkenntnis [WHR +03]. Nach LEMPERT ET AL. [LPB03] bezieht sich tiefe Ungewissheit auf Situationen, in denen Entscheidungsträger wenig Wissen oder keinen Konsens haben über (i) den geeigneten konzeptionellen Rahmen, (ii) die Wahrscheinlichkeitsverteilungen zur Darstellung der Ungewissheit und/oder (iii) die gewünschten Ergebnisse des Systems. In Situationen, in denen die Entscheidungsfindung von tiefer Unsicherheit geprägt ist, sind demnach Fälle, in denen es erhebliche Einschränkungen dessen gibt, was über die Entscheidung bekannt ist oder bekannt sein kann. In diesen Situationen ist es nicht sinnvoll, sich auf traditionelle Methoden der Entscheidungsunterstützung zu verlassen, die auf einer probabilistischen Analyse zukünftiger Bedingungen basieren [BR21]. Der Ansatz „Vorhersagen und Handeln“ („predict-and-act“) stellt eine konventionelle Planungsmethode dar, die versucht die Komplexität einer Entscheidungssituation zu reduzieren und von einem zukünftigen Szenario ausgeht, das auf empirischen Daten und Expertenurteilen basiert. Im Anschluss erfolgt die Wahl einer Strategie, welche den erwarteten Nutzen für das angenommene Zukunftsszenario maximiert, wie es im klassischen entscheidungstheoretischen Konzept vorgesehen ist. Die beste verfügbare Vorhersage stellt folglich die Grundlage für die Entscheidungsfindung dar [WLB +13]. Allerdings kann es in manchen Fällen schwierig sein, Annahmen über die wahrscheinlichste Zukunft zu treffen und genaue Prognosen zu erstellen. Entscheidungen in komplexen Systemen sozialer Strukturen sind naturgemäß nicht präzise messbar, vorhersehbar und planbar. Gemäß Fattore & Vittadini [FV21] sind Flexibilität und anpassungsfähige Strategien erforderlich, statt sich ausschließlich auf verbesserte Vorhersage- und Optimierungsmöglichkeiten zu verlassen. Unter Bedingungen tiefer Unsicherheit erweisen sich herkömmliche quantitative Methoden als inadäquat. Es ist nicht möglich, die Wahrscheinlichkeit wichtiger Ereignisse, die die ferne Zukunft beeinflussen könnten, exakt vorherzusagen und jedem möglichen Ergebnis Wahrscheinlichkeiten zuzuordnen [LPB03]. Die Vorhersage der Wahrscheinlichkeit zukünftiger Weltzustände und die Zuordnung von Wahrscheinlichkeiten zu verschiedenen plausiblen Zukünften stellt ein grundlegendes Problem dar. Daher sind dem traditionellen Risikomanagement und seinen Instrumenten Grenzen gesetzt, und der Ansatz „Vorhersagen und dann Handeln“ erweist

sich als unwirksam. In Situationen tiefer Unsicherheit, wie sie in der Anfangsphase der Wasserstoffwirtschaft vorherrschen, ist dennoch eine gewisse Orientierung notwendig, um fundierte Entscheidungen treffen zu können. Quantitative Analysen sind nach wie vor ein unverzichtbares Instrument, um fundierte Entscheidungen treffen zu können. Es ist jedoch notwendig, neue Methoden zu entwickeln, um solche Situationen zu bewältigen.

3.2 Robuste Entscheidungsfindung

Im Bereich der Forschung zur Entscheidungsfindung unter tiefer Unsicherheit wurden zahlreiche Analysemethoden und -instrumente entwickelt, einschließlich des Ansatzes der robusten Entscheidungsfindung (RDM). Der Ansatz des RDM basiert darauf, dass vorgeschlagene Strategien anhand einer Vielzahl plausibler Zukunftsszenarien getestet werden, anstatt sich ausschließlich auf Computermodelle und Daten als Prognosewerkzeuge zu verlassen. Zu diesem Zweck werden im Rahmen der RDM explorative Modelle eingesetzt. Wenn die Unsicherheitsfaktoren eines Problems ausreichend charakterisiert werden können, lassen sie sich durch stochastische Realisierung als eine Vielzahl möglicher Ergebnisse darstellen [BK20]. Der RDM-Ansatz basiert auf der Verwendung quantitativer Simulationsmodelle, um eine Vielzahl von Annahmen mit ihren entsprechenden Konsequenzen in Beziehung zu setzen. Dadurch entsteht eine umfangreiche Datenbank, die den quantitativen Rahmen für die nachfolgende Analyse bildet [Lem19]. Beim RDM-Ansatz wird hierbei die Wahrscheinlichkeit der Szenarien nicht berücksichtigt, im Gegensatz dazu bewertet das Modell die Wirksamkeit der verschiedenen Strategien für jede mögliche Zukunft [GFK+14]. Die Wirksamkeit der Strategien kann iterativ für alle plausiblen Szenarien analysiert werden. Auf Basis der ermittelten Ergebnisse können kritische Faktoren, die das Ergebnis beeinflussen, identifiziert und die entsprechenden Strategien angepasst werden [BK20].

Letztlich dienen Szenarien den Analysten dazu, die Abwägungen zwischen den Strategien zu bewerten, die Anfälligkeit der verschiedenen Strategien zu beurteilen und festzustellen, welche Entscheidungen in einem breiten Spektrum plausibler Zukunftsszenarien robuster sind [Lem19]. Eine als robust bezeichnete Strategie zeichnet sich dadurch aus, dass sie im Vergleich zu alternativen Ansätzen über ein breites Spektrum plausibler Szenarien hinweg konsistent funktioniert. Dabei wird eine geringere Sensitivität gegenüber Annahmen höher gewichtet als ein optimale Performance, um die Anforderungen in einem breiten Spektrum von Szenarien erfüllen zu können [LC07].

Es besteht auch die Möglichkeit, ein quantitatives Kriterium zur Bestimmung der Robustheit festzulegen. Zudem existieren mehrere Robustheitsmetriken, welche ein optimistischeres oder pessimistischeres Verhalten von Entscheidungsträgern erfassen. Die Wahl der zu verwendende Metrik hat einen signifikanten Einfluss auf das potenzielle Ergebnis der Entscheidung [GC2016]. Dennoch kann kein ideales allgemeingültiges Robustheitskriterium in RDM definiert werden, da es vielmehr Teil der Problemeingrenzung im ersten Schritt des Entscheidungsprozesses ist [Lem19]. In der Gesamtschau stellt RDM ein quantitatives Instrument zur Entscheidungsunterstützung dar, welches auch in Situationen hoher Unsicherheit eine fundierte Ent-

scheidungsfindung ermöglicht. Als Alternative zu prognoseorientierten Entscheidungstechniken findet dieser Ansatz zunehmend Anwendung in verschiedenen Bereichen wie dem Hochwassermanagement, der Verkehrsplanung und der Energieplanung [WS22].

3.3 Robuste Entscheidungsfindung und der Energiesektor

Angesichts der inhärenten Unsicherheiten bei der Stromplanung [FS2010] ist der Energiesektor in besonderem Maße geeignet für die Anwendung von Entscheidungen unter tiefer Unsicherheit. Die lange Lebensdauer der Energieinfrastruktur impliziert, dass die strategische Planung solcher Infrastrukturen langfristige Auswirkungen hat und daher zwangsläufig von Unsicherheiten beeinflusst wird. Auch die laufenden Transformationsprozesse sind von erheblicher Relevanz für den Energiesektor. Der Übergang zu einer nachhaltigen Energieversorgung ist stark von Unsicherheiten geprägt, die durch eine Kombination dynamischer Faktoren wie die Einführung neuer Technologien und die zunehmenden Auswirkungen des Klimawandels auf Ressourcen und Infrastrukturen entstehen [SAB+19]. Des Weiteren tragen auch soziale und institutionelle Faktoren zu der signifikanten Unsicherheit im Kontext der Energiewende bei [PPH24]. Ein Bereich, der Anlass zur Sorge gibt, sind beispielsweise die möglichen Auswirkungen politischer Entscheidungen auf den Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft. Politische Unsicherheiten haben eine dämpfende Wirkung auf langfristige Investitionen. Dies führt dazu, dass Akteure ihre Portfoliopläne ändern und die Menge der bereitgestellten grünen Dienstleistungen anpassen [BS22]. Letztlich erschweren die tiefen Unsicherheiten somit auch die Entscheidungsfindung von Unternehmen und Finanzinvestoren und stellt ein Hindernis für klimafreundliche Investitionen dar [HJK+23]. Dies ist besonders wichtig angesichts der zeitlichen Dringlichkeit und der Notwendigkeit privater Finanzierung für den Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft.

Es kann festgehalten werden, dass der Umgang mit tiefer Unsicherheit eine signifikante Herausforderung im Energiesektor darstellt. Mit RDM ist ein neuartiger quantitativer Ansatz entstanden, dessen Ziel es ist, die Entscheidungsfindung in genau solchen Kontexten zu unterstützen. Dennoch wurde dem Energiesektor diesbezüglich bislang nur wenig Aufmerksamkeit zuteil. Im Jahr 2021 wurde in einer Literaturübersicht [BR21] eine Analyse von 37 Fallstudien von Infrastrukturprojekten vorgenommen, bei denen Methoden zur Entscheidungsfindung unter tiefer Unsicherheit Anwendung fanden. Den größten Anteil an Studien, die sich mit dem Thema befassten, machte der Wassersektor aus, gefolgt vom Verkehrssektor. Lediglich zwei Studien, was einem Anteil von fünf Prozent entspricht, widmeten sich dem Energiesektor. Dieses Bild ergibt sich auch für die Wasserstoffwirtschaft. Verschiedene Simulationsmodelle analysierten die Übergangsprozesse zu einer wasserstoffbasierten Wirtschaft, jedoch blieben die Unsicherheiten und deren Einfluss auf diesen Prozess unberücksichtigt [FBS22].

Der Energiesektor hat es nicht nur vernachlässigt, sich ausreichend mit tiefgreifender Unsicherheit zu befassen, sondern auch eine andere wichtige Perspektive weitgehend unbeachtet gelassen. HAAS ET AL. [HJK+23] stellten fest, dass sich der Großteil der Anwendungen von RDM darauf konzentriert die Politikgestaltung zu informieren, während es wesentlich weniger Literatur zu den Perspektiven von Unternehmen gibt. Die Quantifizierung tiefgreifender Unsicher-

heiten stellt für Privatunternehmen in Investitionssituationen jedoch eine besondere Herausforderung dar. Diese Erkenntnis ist besonders relevant, da Privatunternehmen eine Schlüsselrolle im Kontext der Transformation zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft einnehmen. Insgesamt wurden im Zeitraum zwischen 2013 und 2020 weltweit 75 % der Investitionen in erneuerbare Energien von privaten Unternehmen getätigt [IRE23]. Auch im Kontext der Wasserstoffwirtschaft wird die private Finanzierung eine entscheidende Rolle einnehmen [SF23].

In diesem Beitrag wurde zunächst die Notwendigkeit eines zügigen Markthochlaufs der Wasserstoffwirtschaft zur Erreichung der Klimaschutzziele sowie die zentrale Rolle der Unsicherheit in dieser Situation dargelegt. Gleichzeitig wurde mit dem RDM ein neues methodisches Instrument präsentiert, das für derartige Konstellationen als geeignet erachtet wird, bislang jedoch im Energiesektor, insbesondere aus Perspektive privater Akteure, noch keine breite Anwendung erfahren hat. Nun soll im Folgenden die Entscheidungsfindung der Akteure in der aktuellen Situation der Wasserstoffwirtschaft anhand einer beispielhaften Investitionsentscheidung mit Hilfe von RDM adressiert werden.

4 Investitionsentscheidung in der Wasserstoffwirtschaft unter Unsicherheit

Das Konzept von RDM soll nun anhand einer beispielhaften Investitionsentscheidung im Kontext der Wasserstoff veranschaulicht werden. Konkret soll die Frage erörtert werden, ob ein Unternehmen in einen Elektrolyseur zur Erzeugung und zum Vertrieb von Wasserstoff investieren sollte. Zur Beurteilung von Investitionsentscheidungen wird in der Regel die Kapitalwertmethode herangezogen, welche die zeitliche Wertigkeit des Geldes und die Opportunitätskosten des Kapitals einbezieht. Für diese Investitionsentscheidung werden folgende vereinfachte und beispielhafte Werte angenommen.

Tabelle 1: Eingangsparameter Investitionsentscheidung

| Eingangsparameter | Wert |
|--|-------------|
| Installierte Leistung Elektrolyseur | 1000 kW |
| Volllaststunden ¹ | 5000 h/a |
| Wirkungsgrad Elektrolyseur (η) ² | 64 % |
| Projektlebensdauer | 20 Jahre |
| Diskontierungssatz ² | 2 % |
| Energieaufwand Wasserstofferzeugung | 50 kWh/kg |
| Wasserstoffpreis ³ | 8 €/kg |
| Strompreis ⁴ | 7.25 ct/kWh |
| Investitionskosten ⁵ | 2000€/kWel |

| | |
|--|----------------------------|
| Wartungskosten ² | 1 % der Investitionskosten |
| ¹ Basierend auf [FMB24]; ² Basierend auf [Sch20]; ³ Basierend auf [Kan19]; ⁴ Basierend auf [KMS+24]; ⁵ Basierend auf [RBR+20] | |

Die Annahmen der Eingangsparameter basieren auf optimistischen Annahmen aus der Literatur. Durch die intelligente Kombination von Photovoltaik- und Windstromerzeugung kann von einer jährlichen Betriebsdauer von 5.000 Stunden ausgegangen werden [FMB24] und größere PV-Dachanlagen mit einer Leistung von mehr als 30 kWp können heute in Süddeutschland Strom zu Gestehungskosten von 5,7 bis 8,8 Cent/kWh erzeugen (Mittelwert 7,25 Cent/kWh). Die Zahlungsbereitschaft für Wasserstoff als Kraftstoff oder Rohstoff ist in den verschiedenen Sektoren sehr unterschiedlich, kann aber im Verkehrssektor bis zu 8 €/kg erreichen [Kan19].

Basierend auf diesen Annahmen ergeben sich folgende Schritte zur Errechnung des Kapitalwerts:

$$[I] \text{Produktion Wasserstoff} = \frac{\text{Ertrag jährlich} \times \eta}{\text{Energieaufwand}} = \frac{5,000,000 \text{ kWh} \times 0.64}{50 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}} \approx 64,000 \text{ kg}$$

$$[II] \text{Einnahmen jährlich} = \text{Produktion}_{H2} \times P_{H2} = 64,000 \text{ kg} \times 8 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 512,000 \text{ €/a}$$

$$[III] \text{Betriebskosten jährlich} = \text{Kosten}_{\text{Strom}} + \text{Kosten}_{\text{Wartung}} = (5,000,000 \text{ kWh} \times 7.25 \frac{\text{ct}}{\text{kWh}}) + (0,01 \times 2,000,000 \text{ €}) = 382,500 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

$$[IV] \text{Rückfluss jährlich} = \text{Einnahmen jährlich} - \text{Kosten jährlich} = 512,000 \frac{\text{€}}{\text{a}} - 382,500 \frac{\text{€}}{\text{a}} = 129,500 \text{ €}$$

$$[V] \text{Kapitalwert} = \sum_{t=1}^n \frac{\text{Rückfluss}_t}{(1+r)^t} - \text{Investitionskosten}$$

$$[VI] \text{Kapitalwert} = \sum_{t=1}^{20} \frac{129,500 \text{ €}}{(1 + 0.02)^t} - 2,000,000 \text{ €} = 248322.08 \text{ €}$$

Die Kapitalwertmethode zeigt, dass der gegenwärtige Wert der zukünftigen Nettogewinne abzüglich der Anfangsinvestition positiv ist. Unter den gegebenen Annahmen und Berechnungen wäre die Investition in den Elektrolyseur wirtschaftlich vorteilhaft und würde einen Gewinn darstellen. Wie aber eingangs erläutert herrscht in der Wasserstoffwirtschaft große Unsicherheit, sodass die Festlegung der Eingangsparameter auf einen spezifischen Wert eine Herausforderung darstellen kann. Anhand von Rhodium, einer Open-Source-Python-Bibliothek mit unterstützenden Tools für RDM und explorativer Modellierung [HGH+20], wird nun die Robustheit der Investitionsentscheidung in verschiedenen Zukunftsszenarien bewertet. Dadurch sollen die potenziellen Schwachstellen der Analyse beleuchtet werden, die sich aus der Festlegung der Parameter auf einen geschätzten Wert ergeben haben. Dafür wurden für die Eingangsparameter

folgende Unsicherheitsspannen festgelegt. Die jährlichen Vollaststunden wurden in der Initialberechnung mit 5.000 h/a gewählt. Andere Quellen [SBP+23] gehen von geringeren Werten, wie beispielsweise 4.500 Stunden aus, so dass ein Unsicherheitsbereich von 4.500 - 5.000 h/a gewählt wurde. Als Eingangsparameter für die Stromkosten wurde der Mittelwert der Gestehungskosten für größere PV-Dachanlagen in Süd-deutschland verwendet. Für Gesamtdeutschland gibt die Quelle eine Spanne von 5,7 - 12 Cent/kWh an. Diese Spanne wurde nun für die Unsicherheitsbetrachtung festgelegt. Da die Zahlungsbereitschaft für Wasserstoff in den verschiedenen Sektoren sehr unterschiedlich eingeschätzt wird, wurde hier der Ausgangswert von 8 €/kg mit einer Schwankungsbreite von 18,75 % um diesen Wert festgelegt. Für die Parameter Wirkungsgrad ($\pm 5\%$), Wartungskosten ($\pm 50\%$) und Diskontierungssatz ($\pm 25\%$) wurden ebenfalls relative Abweichungen um den Ausgangswert festgelegt.

Tabelle 2: Unsicherheitsspannen der Eingangsparameter

| Eingangsparameter | Unsicherheitsspanne |
|----------------------------|----------------------------------|
| Vollaststunden | 4500 - 5000 h/a |
| Wirkungsgrad Elektrolyseur | 60.8-67.2 % |
| Diskontierungssatz | 1.5-2.5 % |
| Wasserstoffpreis | 6.5 – 9.5 €/kg |
| Strompreis | 5.7-12 ct/kWh |
| Wartungskosten | 0.5-1.5 % der Investitionskosten |

Mit Hilfe der Rhodium-Bibliothek wurde ein Modell definiert, welches die Kapitalwertberechnung unter Unsicherheit darstellt. Die Berechnung des Kapitalwerts erfolgt unter Verwendung der gleichen Rechnung wie in Gleichung V dargestellt, allerdings werden die Ergebnisse nicht wie üblich in einem Szenario, sondern in 10.000 Szenarien analysiert. Die Zukunftsszenarien wurden mit Rhodium durch Latin Hypercube Sampling aus den Unsicherheitsspannen generiert. Diese statistische Methode erzeugt zufällige Stichproben, die den gesamten Bereich der oben definierten Unsicherheitsbereiche abdecken. Anschließend wurden die Ergebnisse analysiert und die Rhodium-Methoden für Sensitivitätsanalysen angewandt, um die wesentlichen Einflussfaktoren für das Ergebnis des Kapitalwerts der Investitionsentscheidung zu ermitteln.

Die Auswertung führt zu dem Ergebnis, dass die anfänglich optimistische Einschätzung der Wirtschaftlichkeit mit positivem Gewinn unter Berücksichtigung der Annahmen zur Unsicherheit einem differenzierteren und kritischeren Bild weicht. In den 10.000 generierten Szenarien führen lediglich 2.504 zu einem positiven Kapitalwert. In nahezu dreimal so vielen Szenarien (7.496) ist der Kapitalwert negativ. In der Analyse können die Auswirkungen der verschiedenen Einflussfaktoren ausgewertet und anhand Datenvisualisierungswerkzeugen dargestellt werden.

Bild 1 stellt visuell dar, inwiefern der Kapitalwert in den verschiedenen Szenarien abhängig von Vollaststunden, Wasserstoffpreis oder Stromkosten ist. In der Abbildung wird ersichtlich, dass die Unsicherheiten, die mit den Vollaststunden verbunden sind, keine großen Auswirkungen auf das Ergebnis haben im Verhältnis zu den anderen beiden Faktoren. Die Auswirkungen

einzelner Faktoren ermöglichen auch die Grenzwerte innerhalb der Unsicherheitsspannen zu erkennen, die einen großen Einfluss auf das Ergebnis der Kapitalwertberechnung haben.

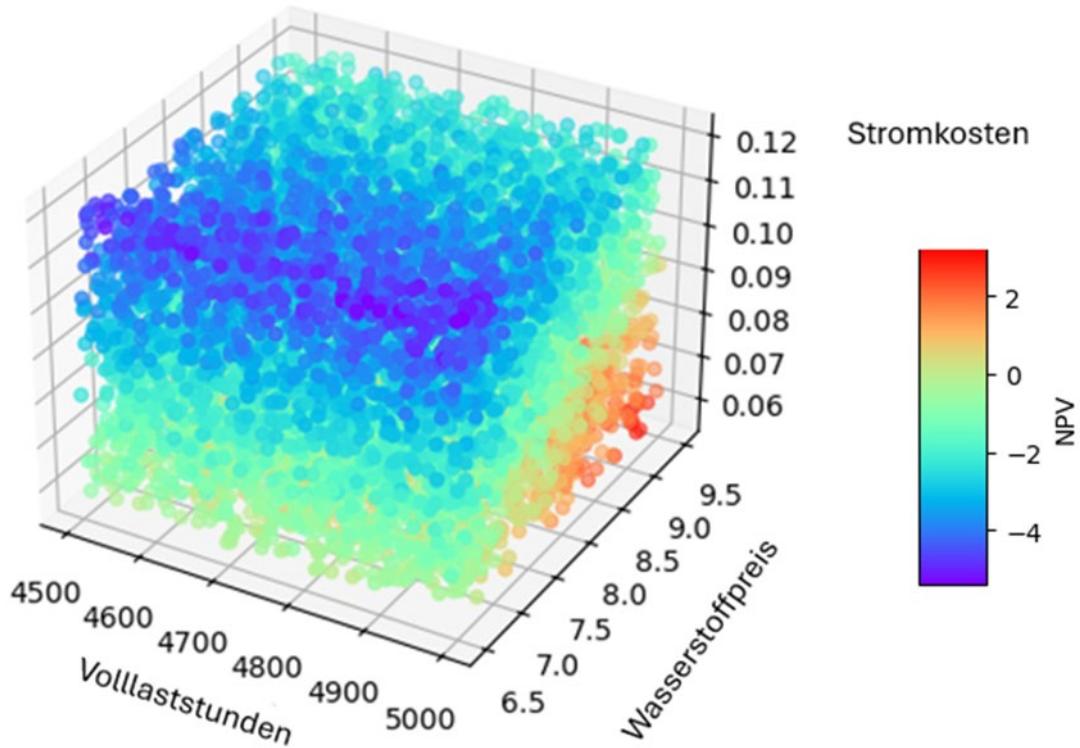


Bild 10: 3D-Scatterplot Kapitalwert abhängig von Volllaststunden; Wasserstoffpreis; Stromkosten

Die Bilder 2 und 3 zeigen die Verteilungen der Ergebnisse der Szenarien abhängig von den Schlüsselvariablen Wasserstoffpreis bzw. Stromkosten und stellen somit den Einfluss dieser Unsicherheitsfaktoren dar.

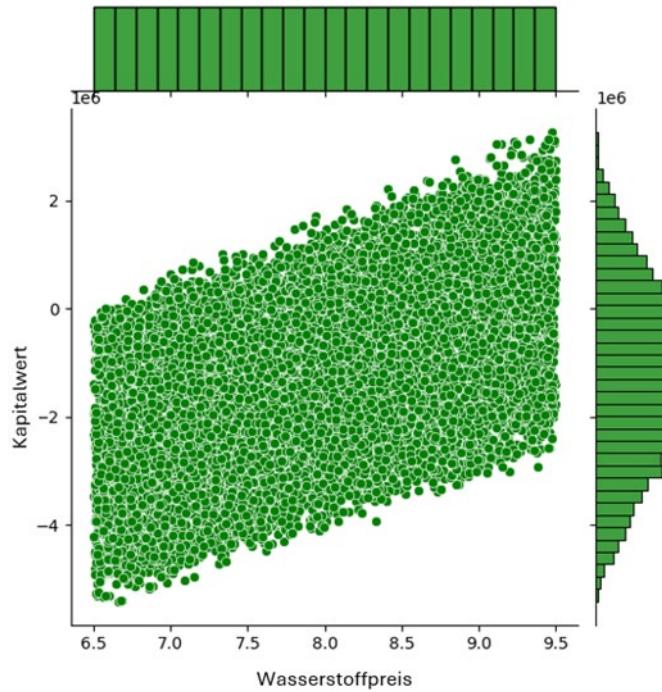


Bild 11: Kombinierte Analyse Kapitalwert; Wasserstoffpreis

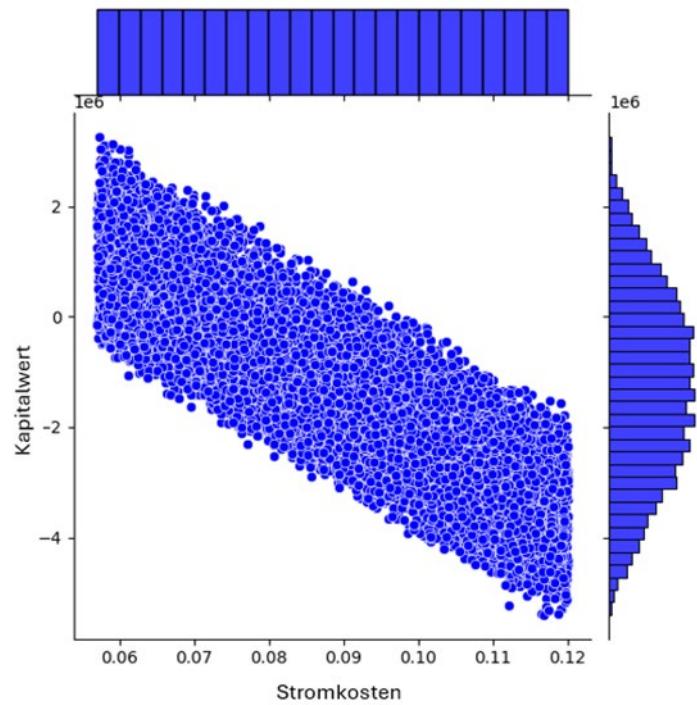


Bild 12: Kombinierte Analyse Kapitalwert; Stromkosten

Es wird deutlich, dass die Unsicherheiten in Bezug auf den potenziellen Wasserstoffpreis und insbesondere die Stromkosten den größten Einfluss auf den Kapitalwert über die 10.000 Szenarien hinweg haben. Eine Auswertung des direkten Einflusses der einzelnen Parameter zeigt Bild 4:

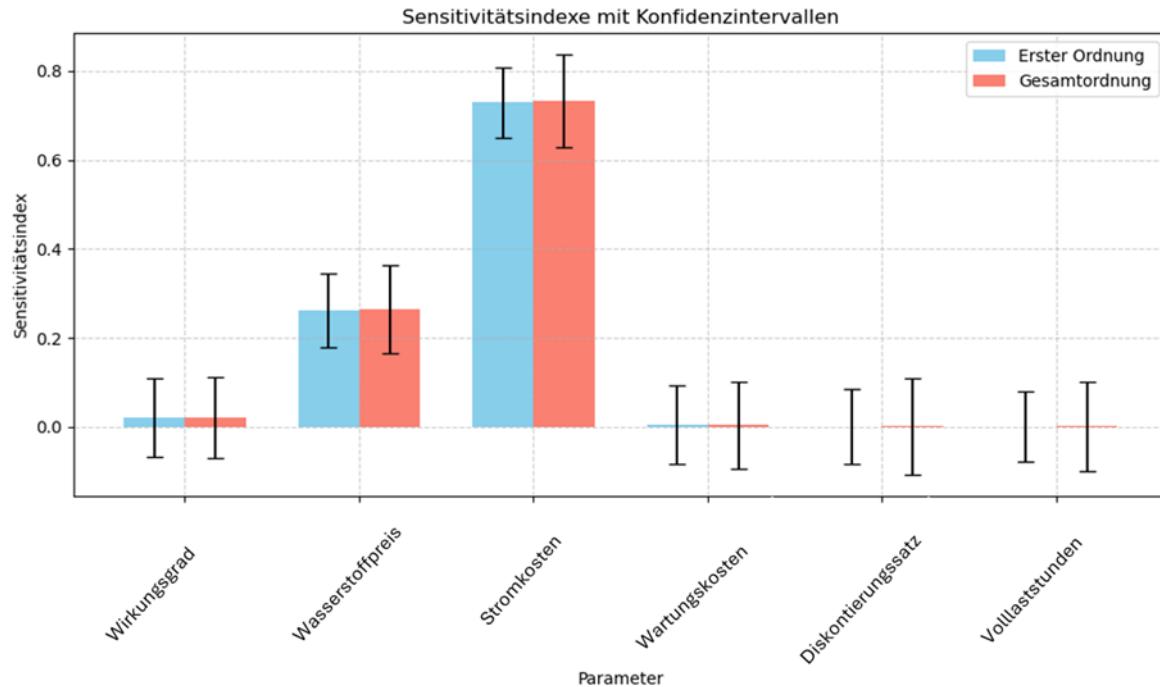


Bild 13: Balkendiagramm Sensitivitätsindizes Unsicherheitsfaktoren

Die Auswertung verdeutlicht das Ziel der RDM-Analyse, eine quantitative Entscheidungsfindung für Investitionen in die Wasserstoffwirtschaft trotz bestehender Unsicherheiten zu ermöglichen. Die Untersuchung analysiert die verschiedenen Unsicherheitsfaktoren, die bei solchen Entscheidungen häufig auftreten und deren Einfluss auf das Ergebnis quantitativer Investitionsentscheidungen. Es wird deutlich, dass in Entscheidungssituationen, in denen die Ergebnisse stark von den angenommenen Wahrscheinlichkeiten abhängen, Variationen der Unsicherheitsfaktoren die Ergebnisse stark beeinflussen können. Die Auswirkungen der Unsicherheiten in Bezug auf die potenziellen Verkaufspreise des Wasserstoffs und die Kosten für den Strombezug auf den Kapitalwert sind in diesem Fall erheblich. Diese Erkenntnis kann Entscheidungsträgern ermöglichen, hinsichtlich der kritischen Unsicherheitsfaktoren potenzielle Neubewertungen oder Anpassungen vorzunehmen, um die Einschätzung der Investitionsentscheidung insgesamt gesicherter bewerten zu können.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der Methodik wird gleichzeitig deutlich, dass die Wahl des Unsicherheitsbereichs einen großen Einfluss auf das Ergebnis der Analyse hat. Dies verdeutlicht eine Schwäche des Ansatzes. Der Ansatz ermöglicht es eine breite Palette an Unsicherheiten mit weitgezogenen Unsicherheitsspannen zu berücksichtigen. Die Schwierigkeit in der Praxis kann aber darin liegen die relevanten Unsicherheiten zu identifizieren und diese ausreichend einzugrenzen. Die Ergebnisse der Analyse sollten daher auch als Ausgangspunkt für die Entscheidungsträger gesehen werden, die Unsicherheitsfaktoren und -bandbreiten neu zu bewerten. Auf diese Weise kann ein iterativer Entscheidungsprozess angestoßen werden, der es ermöglicht, die Unsicherheitskomponenten der Entscheidung systematisch einzugrenzen und damit insgesamt beherrschbarer zu machen. Dies verdeutlicht einen der zentralen Unterschiede des RDM-Ansatzes zur traditionellen Szenariotechnik und zum klassischen „pre-dict-then-act“-Ansatz. Der RDM-Ansatz fördert adaptive Entscheidungsansätze und legt einen starken Fokus auf

partizipative Prozesse. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, inwieweit die Simulation beim RDM-Ansatz als exploratives Instrument zu verstehen ist, das die Funktionsfähigkeit der Strategie unter verschiedenen Bedingungen testet und im Gegensatz zu traditionellen Szenariotechniken keine Bewertung der Wahrscheinlichkeiten zukünftiger Zustände vornimmt. Dieses Instrument ist daher eine vielversprechende Ergänzung für die strategische Vorausschau in einem Umfeld tiefer Unsicherheit, wie es bei einigen Entscheidungen in der Wasserstoffwirtschaft der Fall ist.

5 Fazit

Insgesamt verdeutlicht die Untersuchung, dass die tiefen Unsicherheiten, die langfristige strategische Entscheidungen begleiten, traditionelle Entscheidungsansätze und Risikomanagementmethoden an ihre Grenzen bringen. Die aufstrebende Wasserstoffwirtschaft, als zentraler Bestandteil der globalen Dekarbonisierungsbemühungen, ist von erheblichen Unsicherheiten auf der Nachfrage-, Angebots- und Infrastrukturseite geprägt, die die strategische Planung und Entscheidungsfindung erheblich erschweren. Unter diesen Bedingungen erweist sich der konventionelle „predict-then-act“-Ansatz als unzureichend. Der Ansatz der robusten Entscheidungsfindung hingegen stellt eine vielversprechende methodische Alternative dar, indem er mögliche Vorgehensweisen anhand einer Vielzahl plausibler Zukunftsszenarien evaluiert und somit eine fundierte Entscheidungsgrundlage trotz tiefer Unsicherheiten bietet. Diese Methodik kann besonders relevant für die Wasserstoffwirtschaft sein, da sie die strategische Planung in einem Umfeld tiefer Unsicherheit unterstützt. Die Implementierung quantitativer Modelle in den Entscheidungsprozess ist dabei unerlässlich, um datengestützte und robuste Entscheidungen zu ermöglichen und die langfristige strategische Entscheidungsfindung zu fördern.

Die Anwendung des RDM-Ansatzes in dieser Untersuchung ergänzt die bestehende Forschungsliteratur zur Entscheidungsfindung unter tiefer Unsicherheit um einen aktuellen Anwendungsfall mit praktischen Implikationen. Für Entscheidungsträger:innen in der Wasserstoffwirtschaft kann dieser Ansatz insbesondere bei Investitionsentscheidungen wertvolle Erkenntnisse liefern, indem er kritische Schwachstellen bei Investitionen in Wasserstofferzeugungsanlagen aufdeckt. So wird beispielsweise deutlich, inwiefern die erhebliche Unsicherheitsbandbreite bei Wasserstoffverkaufspreisen oder Strompreisen die Wirtschaftlichkeit solcher Investitionsvorhaben beeinflusst. Gleichzeitig wird deutlich, dass bei den in diesem Beispiel gewählten Unsicherheitsbandbreiten andere Prozessparameter wie Vollaststunden oder Wartungskosten eine geringere Rolle spielen. Der Ansatz ermöglicht somit eine systematische Analyse der Unsicherheitsfaktoren und eine Abschätzung ihrer Auswirkungen, wodurch die Unsicherheiten eine Entscheidung insgesamt handhabbarer machen.

Zukünftige Forschung könnte sich auf die Anwendung des RDM-Ansatzes mit realen Anwendungspartnern aus der Wasserstoffwirtschaft konzentrieren, um dessen Praxistauglichkeit und Vorteile weiter zu validieren. Zudem wäre die Weiterentwicklung von Simulationsmodellen, die eine Quantifizierung komplexerer Entscheidungen der Wasserstoffwirtschaft ermöglichen, ein vielversprechendes Forschungsfeld, das weiter erforscht werden sollte.

Literatur

- [Are24] AREND, R. J.: *Uncertainty in Strategic Decision Making*. Springer Nature Switzerland, Cham, 2024
- [BK20] BARTHOLOMEW, E.; KWAKKEL, J. H.: On considering robustness in the search phase of Robust Decision Making: A comparison of Many-Objective Robust Decision Making, multi-scenario Many-Objective Robust Decision Making, and Many Objective Robust Optimization. *Environmental Modelling & Software*, (127), 2020, S. 104699
- [BR21] BONJEAN STANTON, M. C.; ROELICH, K.: Decision making under deep uncertainties: A review of the applicability of methods in practice. *Technological Forecasting & Social Change*, 171, 2021
- [BS22] BRETSCHGER, L.; SORETZ, S.: STRANDED ASSETS: How Policy Uncertainty affects Capital, Growth, and the Environment. *Environmental & resource economics*, (83)2, 2022, S. 261–288
- [BUB+23] BURCK, J.; UHLICH, T.; BALS, C.; HÖHNE, N.; NASCIMENTO, L.; HARESH KUMAR, C.; BOSSE, J.; RIEBANDT, M.; PRADIPTA, G.: CCPI Climate Change Performance Index – RESULTS Monitoring Climate Mitigation Efforts of 63 Countries plus the EU – covering more than 90% of the Global Greenhouse Gas Emissions, 2023
- [Bun24] Bundesnetzagentur veröffentlicht Daten zum Strommarkt 2023, 2024
- [DH23] DANGELMAIER, M.; HÖLZLE, K.: Probabilistisch entscheiden in der Produktentwicklung. Fraunhofer-Gesellschaft, 2023
- [Dai22] DAIMLER TRUCK: Discussion battery-electric vs. hydrogen: Daimler Truck consistently pursuing dual-track strategy with both technologies. Unter: <https://www.daimlertruck.com/en/newsroom/pressrelease/discussion-battery-electric-vs-hydrogen-daimler-truck-consistently-pursuing-dual-track-strategy-with-both-technologies-51879307>, 19. Januar 2024
- [FG23] FRANCO, A.; GIOVANNINI, C.: Routes for Hydrogen Introduction in the Industrial Hard-to-Abate Sectors for Promoting Energy Transition. *Energies*, (16)16, 2023
- [FS10] FUSS, S.; SZOLGAYOVÁ, J.: Fuel price and technological uncertainty in a real options model for electricity planning. *Applied Energy*, (87)9, 2010, S. 2938–2944
- [FV21] FATTORE, M.; VITTADINI, G.: Subsidiarity and Adaptive Sustainability in Complex, Entangled, and Unpredictable Societies. In: Baikady, R.; Sajid, S.; Przeperski, J.; Nadesan, V.; Rezaul, I.; Gao, J. (Hrsg.): *The Palgrave Handbook of Global Social Problems*. Springer International Publishing, Cham, 2021
- [FBS22] FAZELI, R.; BECK, F. J.; STOCKS, M.: Recognizing the role of uncertainties in the transition to renewable hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, (47)65, 2022, S. 27896–27910
- [FMB24] FREWER, T.; MAETZEL, T.; BRANCONI, C. VON: Zum Stand der Einführung von Wasserstoff als klimaneutralem Energieträger in Deutschland, 2024
- [GC16] GIULIANI, M.; CASTELLETTI, A.: Is robustness really robust? How different definitions of robustness impact decision-making under climate change. *Climatic Change*, (135)3–4, 2016, S. 409–424
- [GL14] GELDERMANN, J.; LERCHE, N.: Leitfaden zur Anwendung von Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung, 2014
- [GFK+14] GROVES, D.; FISCHBACH, J.; KALRA, N.; MOLINA-PEREZ, E.; YATES, D.; PUR-KEY, D.; FENCL, A.; MEHTA, V.; WRIGHT, B.; PYKE, G.: *Developing Robust Strategies for Climate Change and Other Risks: A Water Utility Framework*. Water Research Foundation, Denver, Colorado, 2014
- [HGH+20] HADJIMICHAEL, A.; GOLD, D.; HADKA, D.; REED, P.: RHODIUM: Python Library for Many-Objective Robust Decision Making and Exploratory Modeling. *Journal of Open Research Software*, (8)1, 2020
- [HJK+23] HAAS, C.; JAHNS, H.; KEMPA, K.; MOSLENER, U.: Deep uncertainty and the transition to a low-carbon economy. *Energy Research & Social Science*, (100), 2023

- [IRE23] World energy transitions outlook 2023: 1.5°C pathway. International Renewable Energy Agency IRENA, [Abu Dhabi], 2023
- [KS22] KUHLMANN, A.; SAUER, A.: Deutschland braucht eine dezentrale Wasserstoffversorgung. Unter: <https://www.handelsblatt.com/meinung/kommentare/gastkommentar-deutschland-braucht-eine-dezentrale-wasserstoffversorgung/28600982.html>, 25. Januar 2024
- [Kan19] KANELLOPOULOS, K., BLANCO REANO, H.: The potential role of H2 production in a sustainable future power system – An analysis with METIS of a decarbonized system powered by renewables in 2050. Luxembourg, 2019
- [KMS+24] KOST, C.; MÜLLER, P.; SEPÚLVEDA SCHWEIGER, J.; FLURI, V.; THOMSEN, J.: Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien – Juli 2024, 2024
- [Kni21] KNIGHT, F. H.: Risk, Uncertainty and Profit. Boston, 1921
- [LC07] LEMPERT, R. J.; COLLINS, M. T.: Managing the risk of uncertain threshold responses: comparison of robust, optimum, and precautionary approaches. Risk analysis an official publication of the Society for Risk Analysis, (27)4, 2007, S. 1009–1026
- [Lem19] LEMPERT, R. J.: Robust Decision Making (RDM). In: Marchau, V. A.; Walker, W. E.; Bloemen, P. J.; Popper, S. W. (Hrsg.): Decision Making under Deep Uncertainty – From Theory to Practice. Springer Nature, 2019, S. 23–51
- [Lie20] LIEBREICH, M.: LIEBREICH: Separating Hype from Hydrogen – Part Two: The Demand Side. Unter: <https://about.bnfc.com/blog/liebreich-separating-hype-from-hydrogen-part-two-the-demand-side/>, 25. Januar 2024
- [Lif24] LIFONA, D. L.: MAN apuesta por los camiones eléctricos: "El hidrógeno no es viable". Unter: <https://www.expansion.com/empresas/motor/2024/01/10/659eba48468aeb1c578b4591.html>, 25. Januar 2024
- [LPB03] LEMPERT, R.; POPPER, S.; BANKES, S.: Shaping the Next One Hundred Years: New Methods for Quantitative, Long-Term Policy Analysis. RAND Corporation, 2003
- [Mah06] MAHNOVSKI, S.: Robust Decisions and Deep Uncertainty – An Application of Real Options to Public and Private Investment in Hydrogen and Fuel Cell Technologies. Dissertation, Pardee RAND Graduate School, 2006
- [MSA23] MERTEN, F.; SCHOLZ; ALEXANDER: Meta-Analysis of the Costs of and Demand for Hydrogen in the Transformation to a Carbon-Neutral Economy, 2023
- [MWB+19] MARCHAU, V. A.; WALKER, W. E.; BLOEMEN, P. J.; POPPER, S. W.: Introduction. In: Marchau, V. A.; Walker, W. E.; Bloemen, P. J.; Popper, S. W. (Hrsg.): Decision Making under Deep Uncertainty – From Theory to Practice. Springer Nature, 2019, S. 1–20
- [OUN+22] ODENWELLER, A.; UECKERDT, F.; NEMET, G. F.; Jensterle, M.; Luderer, G.: Probabilistic feasibility space of scaling up green hydrogen supply. Nature Energy, (7)9, 2022, S. 854–865
- [Plö22] PLÖTZ, P.: Hydrogen technology is unlikely to play a major role in sustainable road transport. Nature Electronics, (5)1, 2022, S. 8–10
- [PPH24] PAREDES-VERGARA, M.; PALMA-BEHNKE, R.; HAAS, J.: Characterizing decision making under deep uncertainty for model-based energy transitions. Renewable and Sustainable Energy Reviews, (192), 2024, S. 114233
- [RBR+20] ROEB, M.; BRENDLBERGER, S.; ROSENSTIEL, A.; AGRAFIOTIS, C.; MONNERIE, N.; BUDAMA, V.; JACOBS, N.: Wasserstoff als ein Fundament der Energiewende – Teil 1: Technologien und Perspektiven für eine nachhaltig und ökonomische Wasserstoffversorgung. Köln, 2020
- [RGJ+23] REICHENBACH, J.; GATZEN, C.; JANSSEN, M.; BILLER, J.; KÖNINGS, F.: Herausforderungen und Instrumente zur Unterstützung des Markthochlaufs der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland, 2023
- [Ros22] ROSENOW, J.: Is heating homes with hydrogen all but a pipe dream? An evidence review. Joule, (6)10, 2022, S. 2225–2228

- [SF23] SIEVERNICH, J.; FOKER, S.: Financial instruments for a green hydrogen transition. Unter: <https://iap.unido.org/articles/financial-instruments-green-hydrogen-transition#fn-2721-0>, 15. Mai 2024
- [SR21] STANTON, M. C. B.; ROELICH, K.: Decision making under deep uncertainties: A review of the applicability of methods in practice. *Technological Forecasting and Social Change*, (171), 2021, S. 120939
- [SAA+22] STAISI, F.; ADOLF, J.; AUSFELDER, F.; ERDMANN, C.; HEBLING, C.; JORDAN, T.; KLEPPER, G.; MÜLLER, T.; PALKOVITS, R.; POGANETZ, W.-R.; SCHILL, W.-P.; SCHMIDT, M.; STEPHANOS, C.; STÖCKER, P.; WAGNER, U.; WESTPHAL, K.; WURBS, S.; FISCHEDICK, M.: Optionen für den Import grünen Wasserstoffs nach Deutschland bis zum Jahr 2030. acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2022
- [SAB+19] SHARMINA, M.; ABI GHANEM, D.; BROWNE, A. L.; HALL, S. M.; MYLAN, J.; PETROVA, S.; WOOD, R.: Envisioning surprises: How social sciences could help models represent 'deep uncertainty' in future energy and water demand. *Energy Research & Social Science*, (50), 2019, S. 18–28
- [SBP+23] SCHMIDT, M.; BICKEL, P.; PÜTTNER, A.; WOLF, P.: Entwicklung des Wasserstoffbedarfs in Baden-Württemberg bis 2040 – basierend auf der Wasserstoffbedarfserhebung 2023. Online-Präsentation. Unter: <https://www.plattform-h2bw.de/h2-bedarf>, 24. Januar 2024
- [Sch20] SCHMIDT, T.: Wasserstofftechnik – Grundlagen, Systeme, Anwendung, Wirtschaft. Hanser eLibrary, Hanser, München, 2020
- [SSS21] SCHLUND, D.; SCHULTE, S.; SPRENGER, T.: The who's who of a hydrogen market ramp-up: A stakeholder analysis for Germany. EWI Working Paper, Köln, 2021
- [Ste2023] STEHLE, A.: Das falsche Versprechen der FDP. Unter: <https://www.zeit.de/wirtschaft/2023-04/heizungen-streit-fdp-gasheizungen-waermewende>, 19. Januar 2024
- [UBD+21] UECKERDT, F.; BAUER, C.; DIRNAICHNER, A.; EVERALL, J.; SACCHI, R.; LUDE-RER, G.: Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation. *Nature Climate Change*, (11)5, 2021, S. 384–393
- [Umw23] UMWELTBUNDESAMT: Erneuerbare Energien in Zahlen. Unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick>, 29. Dezember 2023
- [WS22] WEBBER, M. K.; SAMARAS, C.: A Review of Decision Making Under Deep Uncertainty Applications Using Green Infrastructure for Flood Management. *Earth's Future*, (10)7, 2022
- [WS24] WEHNEMANN, K.; SCHULTZ, K.: Treibhausgas-Projektionen 2024 – Ergebnisse kompakt. Dessau-Roßlau, 2024
- [Web24] WEBB, A.: Bringing True Strategic Foresight Back to Business. Unter: <https://hbr.org/2024/01/bringing-true-strategic-foresight-back-to-business>, 31. Januar 2024
- [WHR+03] WALKER, W. E.; HARREMOËS, P.; ROTMANS, J.; VAN DER SLUIJS, J. P.; VAN AS-SELT, M.; JANSSEN, P.; KAYER VON KRAUSS, M. P.: Defining Uncertainty: A Conceptual Basis for Uncertainty Management in Model-Based Decision Support. *Integrated Assessment*, (4)1, 2003, S. 5–17
- [WLB+13] WEAVER, C. P.; LEMPERT, R. J.; BROWN, C.; HALL, J. A.; REVELL, D.; SARE-WITZ, D.: Improving the contribution of climate model information to decision making: the value and demands of robust decision frameworks. *WIREs Climate Change*, (4)1, 2013, S. 39–60
- [YHB+23] YANG, M.; HUNGER, R.; BERRETTONI, S.; SPRECHER, B.; WANG, B.: A review of hydrogen storage and transport technologies. *Clean Energy*, (7)1, 2023, S. 190–216

Autoren

Julian Dörr ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart. Er hat einen Bachelor-Abschluss in „International Energy and Resource Management“ und einen Master-Abschluss in „International Environmental Sciences“ von der Universität zu Köln. In seiner Arbeit leitet und führt er Forschungsprojekte zum Thema grüner Wasserstoff und Dekarbonisierung des Energiesystems. Vor seiner Tätigkeit an der Universität Stuttgart arbeitete er in der internationalen Entwicklungsfinanzierung in der Infrastrukturplanung in Lateinamerika und der Karibik.

Entwicklung eines Modells zur Analyse von Stakeholder-Interaktionen im Batterierecyclingprozess

Jantje Marie Schrömer¹, Sebastian Stegmüller²

¹ Universität Stuttgart, Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT),
jantje.marie.schloemer@iat.uni-stuttgart.de

² Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO,
sebastian.stegmueller@iao.fraunhofer.de

Zusammenfassung

Die Anwendung der Kreislaufwirtschaft im industriellen Kontext von automobilen Traktionsbatterien verspricht zahlreiche wirtschaftliche, ökologische und soziale Vorteile. Jedoch stehen diesen Vorteilen in Bezug auf die Realisierung bedeutende, unter anderem organisatorische und wirtschaftliche Herausforderungen gegenüber. Zur Lösung dieser Herausforderungen konzentrieren sich aktuelle Forschungsprojekte vornehmlich auf die Optimierung spezifischer Teilprozesse der End-of-Life-Phase des Batterierecyclings, wie etwa die Automatisierung der Materialextraktion oder die Umsetzung von Design-for-Recycling-Strategien. Es fehlt jedoch an einer umfassenden Analyse der wertschöpfenden Wechselwirkungen und Interdependenzen der beteiligten Akteure im gesamten Recyclingprozess.

Im Beitrag wird vorgestellt, wie ein integratives Modell entwickelt werden kann das den Batterierecyclingprozess in der Europäischen Union als ein kohärentes Wertschöpfungsnetzwerk unterschiedlicher Akteure abbildet. Relevante Stakeholder – einschließlich Automobilproduzenten, Recyclingunternehmen, Second-Use-Unternehmen, Produktionsunternehmen und Logistikunternehmen – werden als individuelle Entitäten modelliert. Die wechselseitigen Abhängigkeiten sowie materiellen und monetären Flüsse zwischen diesen Stakeholdern werden durch das Modell im Gesamtzusammenhang kalkulierbar gemacht.

Das Modell bildet damit die Basis zur Optimierung des Systemdesigns, um Kostensenkungen durch optimierte materielle Flüsse zu erreichen. Darüber hinaus können verschiedene Strategien spieltheoretisch modelliert werden, um den ökonomisch und ökologisch effizientesten Gesamtprozess zu ermitteln sowie mögliche kritische Stellhebel für die identifizierten Stakeholder aufzuzeigen.

Schlüsselworte

Batterierecycling, Kreislaufwirtschaft für Elektrofahrzeuge, Stakeholder-Interaktionen im Recyclingprozess, Optimierungsmodelle für Lithium-Ionen-Batterien

Development of a Model for Stakeholder Analysis in Battery Recycling

Abstract

The application of circular economy principles in the industrial context of automotive traction batteries promises numerous economic, ecological, and social benefits. However, significant challenges, including organizational and economic hurdles, stand in the way of realizing these benefits. Current research projects predominantly focus on optimizing specific subprocesses in the end-of-life phase of battery recycling, such as automating material extraction or implementing design-for-recycling strategies. However, there is a lack of comprehensive analysis of the value-creating interactions and interdependencies among the involved actors throughout the entire recycling process.

This paper presents the development of an integrative model that depicts the battery recycling process in the European Union as a coherent value network of various stakeholders. Relevant stakeholders—including car manufacturers, recycling companies, second-use companies, manufacturing companies, and logistics companies—are modeled as individual entities. The mutual dependencies, as well as material and financial flows between these stakeholders, are analyzed and made calculable within the overall context through the model.

The model thus forms the basis for optimizing system design to achieve cost reductions through optimized material flows. Furthermore, various strategies can be modeled using game theory to determine the most economically and ecologically efficient overall process and to identify potential critical levers for the identified stakeholders.

Keywords

Battery recycling, circular economy for electric vehicles, stakeholder interactions in the recycling process, optimization models for lithium-ion batteries

1 Einleitung

Batterie elektrische Fahrzeuge (BEVs) mit Lithium-Ionen-Batterien (LIBs) werden weltweit als eine der zentralen Lösung zur Verringerung der CO₂-Emissionen im Transportsektor gesehen [Ago19]. Mit zunehmender Marktdurchdringung und steigendem Bedarf an Traktionsbatterien könnten sich allerding vielschichtige Probleme ergeben, da seltene Materialien wie Lithium, Kobalt und Nickel für die Produktion benötigt werden. Der Abbau dieser Rohstoffe führt wiederum zu Umwelt-, Wirtschafts- und Sozialproblemen in der Lieferkette [IEA20], [Öko20], [MSM19], [FBG+20].

Um diesen Problemen zu begegnen, hat die Europäische Union die Batterierichtlinie (Directive, 2006/66/EC) eingeführt [Eur06]. Diese zielt darauf ab, eine Kreislaufwirtschaft für Batterien zu etablieren, um die Primärnachfrage nach den Materialien zu reduzieren und somit die damit verbundenen Auswirkungen während des Abbaus sowie die Abhängigkeit von ressourcenreichen Ländern wie China zu verringern, zumal die wesentlichen Abaugebiete außerhalb der Europäischen Gemarkungen liegen. Jedoch stehen diesen Nachhaltigkeitsvorteilen einer Kreislaufwirtschaft Herausforderungen gegenüber, die bewältigt werden müssen [NPM+22], [RLY+23]. Hohe Kapital- und Betriebskosten erschweren es der Recyclingwirtschaft, mit den Rohstoffpreisen aus dem Primärbergbau zu konkurrieren [TMB+23], [RLY+23], [BHS+23]. Zusätzlich existieren noch keine ausgereiften Wertschöpfungsketten am Markt, welche die Prozesszuständigkeiten einheitlich definieren. Es sind somit vielfältige wertschöpfungsbezogene Fragestellungen hinsichtlich der effektiven und effizienten Zusammenarbeit verschiedener Stakeholder im Gesamtwertschöpfungssystem zu beantworten.

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen ist eine operative Entscheidungsunterstützung erforderlich, um die geplanten geschlossenen Lieferketten effizient realisieren zu können [KK18]. Der Ansatz dieses Beitrags verfolgt dafür die Entwicklung eines integrativen formal-mathematisches Metamodells, das den Batterierecyclingprozess in der Europäischen Union als ein kohärentes Wertschöpfungsnetzwerk unterschiedlicher Akteure abbildet. Relevante Stakeholder – einschließlich Automobilproduzenten, Recyclingunternehmen, Second-Use-Unternehmen, Produktionsunternehmen und Logistikunternehmen – sollen als individuelle Entitäten modelliert werden, um unterschiedliche Perspektiven im Wertschöpfungsnetzwerk zu repräsentieren. Die wechselseitigen Abhängigkeiten sowie materiellen und monetären Flüsse zwischen diesen Stakeholdern sollen abgebildet und durch das Modell im Gesamtzusammenhang szenariobasiert kalkulierbar gemacht werden.

Insbesondere soll das Modell zur Entscheidungsunterstützung folgender Fragestellungen genutzt werden können:

- Wie können die materiellen und monetären Flüsse zwischen den Stakeholdern im gesamten Batterierecyclingprozess optimiert werden?
- Welche strategischen Ansätze können zur Verbesserung der Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Stakeholdern beitragen?

In diesem Beitrag wird ein erstes Konzept des Modells vorgestellt auf Basis dessen weitere Schritte zur zukünftigen Entwicklung des Modells basieren sollen. In Kapitel 2 werden zunächst bestehende Optimierungsmodelle des Recyclingwertschöpfungssystems analysiert und notwendige Weiterentwicklungen abgeleitet. Darauf basierend wird in Kapitel 3 die Methodik zur Konzeption des Modells erläutert. Die identifizierten Theoriefehlzeiten werden in Kombination mit den übergreifenden Forschungsfragen zur Formulierung von formalen und inhaltlichen Anforderungen in Kapitel 4 genutzt. Die Konzeption des Modells erfolgt basierend auf diesen Anforderungen in Kapitel 5. Abschließend werden in Kapitel 6 die weiteren Schritte zur Entwicklung des Modells abgeleitet.

2 Literaturrecherche

In einem ersten Schritt wird eine umfassende Analyse der bestehenden wissenschaftlichen Literatur durchgeführt, um aktuelle Theorien, Modelle und Ansätze im Bereich des Batterierecyclings und der Stakeholder-Interaktionen zu identifizieren. Diese Recherche dient dazu, bestehende Theoriefehlzeiten aufzudecken und eine fundierte Grundlage für die Modellentwicklung zu schaffen.

Generell ist eine zunehmende Anzahl an Veröffentlichungen in Bereich der Kreislaufwirtschaft von LIBs zu beobachten, insbesondere im Zusammenhang mit Elektrofahrzeugen, erneuerbaren Energiesystemen und Batteriespeichern. Die Literatur zeigt, dass viele Veröffentlichungen Rückgewinnungsstrategien und Wiederverwendungsthemen [CAM+21], [RMP+21], [RFG+20], [TMB+23], [LTN+23], [CZL+23], [THH+21], [JNL+23] thematisieren, während Aspekte wie Abfallmanagement, Geschäftsmodelle und Demontage weniger untersucht werden [II22]. Experimentelle Studien dominieren hierbei die Forschung.

Bezüglich einer wirtschaftlichen Betrachtung des ganzheitlichen Recyclingprozesses existieren nur wenige Veröffentlichungen. Ein Beispiel hierfür ist die Arbeit von BEIGEL ET AL., die eine Wertschöpfungskette für das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien in Österreich entwickelt hat [BSP+21]. Die Autoren beschreiben die Rahmenbedingungen für einen Recyclingprozess und erstellen eine Technologie-Roadmap, die von Second-Life-Ansätzen bis zu Rücknahmee- und Sammelsystemen sowie innovativen Recyclingtechnologien reicht. Diese Roadmap wird hinsichtlich der wirtschaftlichen Effekte analysiert und bietet eine Grundlage für Entscheidungsträger, zukünftige Maßnahmen im Bereich der Elektromobilität besser abzuwegen. JIN ET AL. entwickelten ein nachhaltiges Rücknahmenetzwerk für ausgediente Leistungsbatterien in Chengdu [JLZ+23]. Sie identifizierten Standorte für Sammelzentren und wählten Verarbeitungs- und Abfallbehandlungszentren aus, um das Gesamtnetzwerk kostenoptimal zu modellieren. Dabei zeigt sich, dass eine stärkere Zusammenarbeit der Unternehmen eine geschlossene Lieferkette fördern kann. SCHELLER ET AL. entwickelten ein Modell zur Produktionsplanung und Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Netzwerkstrukturen in geschlossenen Lieferketten für LIBs [SSS23]. Dieses Modell integriert mehrere Kreislaufstrategien und unterscheidet zwischen Zulieferern und OEM-eigenen Fabriken. Die Autoren identifizierten drei Hauptfaktoren, die die operative Planung beeinflussen: Integration der Eigenproduktion, Energiekosten und Transportkosten bzw. -distanzen. WRÅLSEN ET AL. verwendeten die Delphi-Me-

thode, um zirkuläre Geschäftsmodelle für verschwendete Lithium-Ionen-Batterien zu identifizieren [WPM+21]. Die Autoren empfahlen, dass professionelle Logistikorganisationen, Recycler und Hersteller für die Sammlung von LIBs verantwortlich sein sollten, da sie Schlüsselakteure in der Lieferkette sind. AZADNIA ET AL. identifizierten mithilfe der Delphi-Technik Hindernisse für die erfolgreiche Implementierung von Reverse-Logistics-Aktivitäten für das End of Life Management (EoL-Management) von EVs-LIBs [AOG21]. Die Autoren nutzten einen integrierten Ansatz der Total Interpretive Structural Modelling (TISM) und der Cross-Impact Matrix Multiplication Applied to Classification (MICMAC), um ein hierarchisches Modell auf der Basis der definierten Barrierekategorien zu entwickeln. Die Ergebnisse zeigen, dass die Kategorien "Markt und Soziales" sowie "Politik und Vorschriften" die beiden größten Hindernisse für die Einführung von funktionierenden Reverse Logistic Netzwerken sind.

Trotz der vorhandenen Forschungsarbeiten fehlt eine Betrachtung der verschiedenen Stakeholder entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Viele Studien vernachlässigen explizite Aussagen zur Zusammenarbeit der verschiedenen Stakeholder und bieten keine Analyse der Wechselwirkungen und Abhängigkeiten im gesamten Recyclingprozess. Zusammenfassend lassen sich zwei Theoriedefizite ableiten:

- *Unzureichende Modellierung der gesamten Wertschöpfungskette:* Der Fokus vieler Forschungsarbeiten liegt auf spezifischen Teilprozessen oder einzelnen Akteuren, während eine Modellierung der gesamten Wertschöpfungskette von der Sammlung über die Verarbeitung bis hin zur Wiederverwendung der Materialien fehlt. Es besteht somit eine Forschungslücke zur Identifikation kritischer Stellhebel für alle beteiligten Stakeholder.
- *Mangelnde Berücksichtigung der dynamischen Interaktionen:* Viele Arbeiten berücksichtigen die dynamischen (d.h. die zeitlich variablen) Interaktionen und Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Stakeholdern nicht ausreichend. Dies führt zu einer statischen Betrachtung des Recyclingprozesses, die die realen, sich verändernden Bedingungen und Beziehungen im Wertschöpfungsnetzwerk nicht adäquat widerspiegelt.

3 Lösungsansatz und Methodik

In diesem Kapitel wird die Methodik beschrieben, die zur Entwicklung des ganzheitlichen Modells zur Analyse von Stakeholder-Interaktionen im Batterierecyclingprozess verwendet wird. Die Methodik umfasst die Anwendung eines formal-mathematischen Metamodells sowie die spezifischen Schritte zur Konzeption des Modells.

3.1 Formal-mathematisches Metamodell

Zur Modellierung der Stakeholder-Interaktionen wird ein formal-mathematisches Metamodell entwickelt, das auf dem Wertschöpfungsmodell von THOMBEIL ET AL. [TB23] (Forschungsprojekt „Serviceorientierte Wertschöpfung (SOW)“) basiert. Durch das Metamodell lassen sich die komplexen Beziehungen im Gesamtwertschöpfungsnetzwerk auf verschiedenen Ebenen anpassbar darstellen. Das Metamodell dient als strukturelle und methodische Basis für die Konzeption des generischen Modells und umfasst folgende Elemente:

- *Grundlegende Struktur:* Das Metamodell definiert die grundlegenden strukturellen Komponenten des Batterierecyclingprozesses, einschließlich der relevanten Stakeholder und ihrer Interaktionen. Es kodiert bestehendes und neues Wissen in Elemente und Beziehungen, die wiederverwendet werden können, um spezifische Netzwerkszenarien zu modellieren, zu analysieren und zu optimieren.
- *Mathematische Abstraktion:* Die wesentlichen Elemente und Beziehungen im Recyclingprozess werden mathematisch abstrakt dargestellt, um eine präzise und analytische Modellierung zu ermöglichen. Das Metamodell nutzt die formalen und mathematischen Definitionen, um emergente Effekte zu simulieren und das Wertschöpfungsnetzwerk zu analysieren.
- *Simulationsmethoden:* Die Anwendung von Simulationsmethoden ermöglicht es, verschiedene Szenarien und deren Auswirkungen auf den gesamten Recyclingprozess zu analysieren. Das Metamodell unterstützt strategische Managemententscheidungen und hilft, operationale Gestaltungsthemen des Systems zu identifizieren.

3.2 Modellkonzeption

Die Konzeption des Modells erfolgte in mehreren Schritten, um sicherzustellen, dass die formalen und inhaltlichen Anforderungen vollständig erfüllt werden:

- 1) *Definition der Anforderungen:* Zu Beginn des Entwicklungsprozesses werden die formalen und inhaltlichen Anforderungen an das Modell präzise festgelegt. Diese Anforderungen basieren auf den Zielen der Forschung sowie den Erkenntnissen aus der Literaturrecherche und Experteninterviews.
- 2) *Strukturierung des Modells:* Das Modell wird in verschiedene Ebenen unterteilt, um die Komplexität zu reduzieren und eine klare Trennung der unterschiedlichen Aspekte des Batterierecyclingprozesses zu gewährleisten. Hierzu gehören die Prozessebene, die Materialflussebene, die Finanzflussebene, die Stakeholder-Ebene sowie die regulatorische Ebene.
- 3) *Ableitung weiterer Schritte zur Entwicklung des Modells:* Basierend auf der Strukturierung und Konzeption des Modells werden weitere Schritte zur Entwicklung des Modells abgeleitet.

4 Anforderungen an das Modell

Ziel des Modells ist die Optimierung der materiellen und monetären Flüsse zwischen den Stakeholdern im gesamten Batterierecyclingprozess sowie die Identifikation strategischer Ansätze zur Verbesserung der Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Stakeholdern. In diesem Kapitel werden die Anforderungen zur Erfüllung dieser Zielstellung formuliert. Abschnitt 4.1 definiert die formalen Anforderungen, während Abschnitt 4.2 die inhaltlichen Anforderungen basierend auf den Forschungsfragen aus Kapitel 1 und den Theoriedefiziten aus Kapitel 2 behandelt.

4.1 Formale Anforderungen

Die Entwicklung des Modells basiert auf verschiedenen wissenschaftlichen Ansätzen der Modellbildung und Simulation. Diese Ansätze stellen sicher, dass das entwickelte Modell robust, valide und anwendbar ist. Im Folgenden werden die wichtigsten formalen Anforderungen (FAF) beschrieben, die sich aus diesen wissenschaftlichen Ansätzen ergeben.

- *FAF 1 - Vereinfachung und Abstraktion:* Eine zu detaillierte Modellierung kann unnötige Komplexität und Rechenaufwand verursachen, während eine zu starke Vereinfachung wichtige Zusammenhänge übersehen könnte [Ste00], [For61]. Das Modell muss folglich wesentliche Elemente und Beziehungen des realen Systems isolieren und abstrahieren. Es sollte die Komplexität reduzieren, ohne die wesentlichen Dynamiken des Systems zu verlieren.
- *FAF 2 - Strukturgleichheit:* Trotz Vereinfachung muss eine Strukturgleichheit bzw. Strukturähnlichkeit zwischen dem Modellsystem und dem Realsystem gewahrt bleiben. Dies bedeutet, dass die grundlegenden Mechanismen und Interaktionen korrekt abgebildet werden müssen. Dies stellt sicher, dass die Ergebnisse des Modells auf das reale System übertragbar und interpretierbar sind [ZPK19].
- *FAF 3 - Logische Konsistenz:* Das Modell muss über eine logische Konsistenz verfügen. Alle Annahmen, Gleichungen und Beziehungen im Modell müssen kohärent und nachvollziehbar sein. Ein logisch inkonsistentes Modell kann zu fehlerhaften oder irreführenden Ergebnissen führen, die die Entscheidungsfindung negativ beeinflussen können [Bun67].
- *FAF 4 - Flexibilität und Anpassungsfähigkeit:* Das Modell sollte flexibel und anpassungsfähig sein, um auf unterschiedliche Szenarien und neue Informationen reagieren zu können. Dies ermöglicht es, das Modell kontinuierlich zu verbessern und auf sich ändernde Bedingungen oder neue Erkenntnisse zu reagieren [Bun67], [Hol05], [RG19].

4.2 Inhaltliche Anforderungen

Neben den formalen Anforderungen werden sechs inhaltliche Anforderungen (IAF) definiert, die sicherstellen, dass das Modell die relevanten Aspekte des Batterierecyclingprozesses umfassend abbildet und analysiert. Die inhaltlichen Anforderungen werden aus der Zielstellung dieser Arbeit (vgl. Kapitel 1) und den identifizierten Theoriedefiziten (vgl. Kapitel 2) abgeleitet. Resultierend ergeben sich die nachfolgend beschriebenen Anforderungsfaktoren:

- *IAF 1 - Abbildung des Wertschöpfungsnetzwerks Batterierecycling:* Das Modell muss den gesamten Recyclingprozess von der Sammlung der Altbatterien bis zur Wiederverwendung der Materialien darstellen. Eine umfassende Darstellung ermöglicht die Identifikation aller relevanten Prozessschritte und deren Optimierung. Dies ist entscheidend, um die Effizienz und Nachhaltigkeit des gesamten Systems zu gewährleisten.
- *IAF 2 - Abbildung der Stakeholder als individuelle Entitäten:* Relevante Stakeholder müssen als individuelle Entitäten modelliert werden. Eine detaillierte Modellierung der Stakeholder ist notwendig, um deren spezifische Rollen, Verantwortlichkeiten und Einflussfaktoren im Prozess zu verstehen.
- *IAF 3 - Analyse der materiellen und monetären Flüsse:* Das Modell muss die materiellen und monetären Flüsse zwischen den Stakeholdern abbilden und analysieren.

- *IAF 4 - Abbildung der Wechselwirkungen:* Die wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen den Stakeholdern müssen im Modell berücksichtigt und analysiert werden. Ein Verständnis der Abhängigkeiten ermöglicht die Identifikation kritischer Stellhebel und potenzieller Engpässe im Prozess.
- *IAF 5 - Berücksichtigung regulatorischer Aspekte:* Das Modell muss relevante gesetzliche Vorgaben und Umweltanforderungen einbeziehen.
- *IAF 6 - Möglichkeit zur Optimierung des Systemdesigns:* Das Modell soll die Basis für die Optimierung des Systemdesigns bieten um in der Lage zu sein, verschiedene Strategien zu simulieren.

5 Konzeption des Modells

Die in Abschnitt 4.2 erarbeiteten Anforderungen stellen inhaltliche Forderungen an das Modell. In diesem Kapitel wird ein erstes methodisches Modell für die Analyse der Stakeholder-Zusammenhänge konzeptioniert, welches diese inhaltlichen Anforderungen in ihrer Gänze erfüllt. Abschließend werden verschiedene Ebenen des Modells logisch unterteilt und definiert.

5.1 Ausarbeitung des Basismodells

Erweiternd zu den bereits bestehenden Ansätzen, welche in Kapitel 2 dargestellt wurden, wird ein Modell zur Untersuchung der Zusammenhänge entwickelt welches auf verschiedenen Ebenen mathematisch modelliert werden kann. Dafür wird das Wertschöpfungsmodell von THOMBEIL ET AL. [TB23] (siehe Abschnitt 3.1) als Grundlage gesetzt und im Folgenden entsprechend den inhaltlichen Anforderungen aus Abschnitt 4.2 ergänzt

Zur Erfüllung aller inhaltlichen Anforderungen werden insgesamt fünf Modellebenen definiert. Jede Ebene beschreibt das Wertschöpfungsmodell Batterierecycling aus einer anderen Perspektive. Dadurch wird ermöglicht, dass die komplexen Beziehungen der Stakeholder vielschichtig abgebildet werden können. Die Topologie des Modells wird durch die Beziehungen zwischen den Ebenen bestimmt. Diese definieren welche Ebenen miteinander verknüpft sind und wie die emergenten Effekte simuliert werden. Einzelne Ebenen können in sich sowie durch die Einflüsse der Topologie parametrisierbar sein. Bild 1 stellt die einzelnen Ebenen sowie die Beziehungen und die Parametrisierbarkeit dar.

Zur Erfüllung der formalen Anforderung werden verschiedene Informationsperspektiven definiert. Diese unterscheiden die Vereinfachung und Abstraktion (FAF1) sowie die Anpassungsfähigkeit und Flexibilität (FAF4) der einzelnen Ebenen. Grundsätzlich können die Ebenen drei unterschiedliche Informationsperspektiven abdecken:

- 1) *Strukturelle Parametrisierbarkeit:* Ist eine Ebene strukturell parametrisierbar kann diese in ihrer Struktur innerhalb des Modells angepasst werden. Ist eine Ebene nicht strukturell parametrisierbar bedeutet das, dass die Zusammenhänge der einzelnen Elemente auf dieser Ebene starr sind.
- 2) *Elementbezogene Parametrisierbarkeit:* Verfügt eine Ebene über eine Elementbezogene Parametrisierbarkeit bedeutet dies, dass innerhalb der Ebene weitere Variablen verfügbar

sind welche einzelnen Strukturelemente in sich oder in Beziehung mit anderen parametrisierbar gestalten

- 3) *Richtung der Abhängigkeit der Parameter:* Ist eine Ebene elementbezogen parametrisierbar können diese Variablen entweder nur auf ihrer eigenen Ebene mathematisch beeinflussbar sein oder durch die Parametrisierbarkeit anderer Ebenen beeinflusst werden.

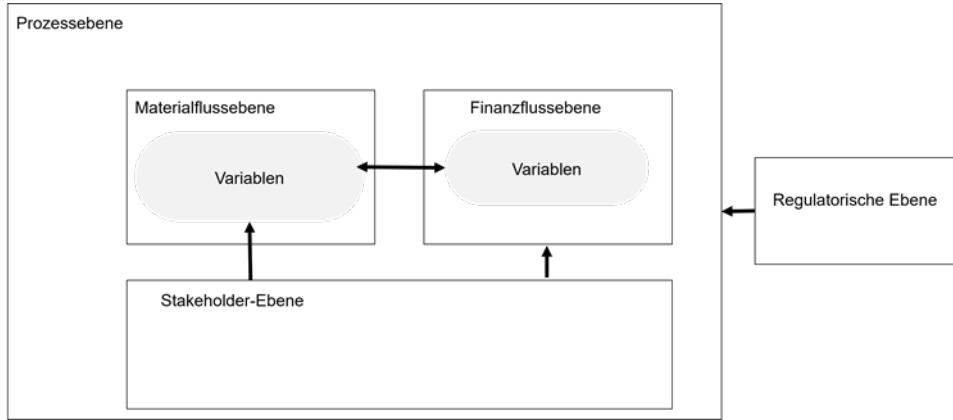


Bild 13: Darstellung des Modells

Tabelle 1 stellt die Ebenen anhand der aufgestellten Kriterien dar.

Tabelle 1: Definition der Ebenen anhand aufgestellter Kriterien

| Ebene | Strukturelle Parametrisierbarkeit | Elementbezogene Parametrisierbarkeit | Richtung der Abhängigkeit der Parameter |
|----------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---|
| Prozessebene | Nein | Nein | - |
| Materialflussebene | Nein | Ja | Durch Strukturelle Parametrisierbarkeit der Stakeholder-Ebene |
| Finanzflussebene | Ja | Ja | Durch Elementbezogene Parametrisierbarkeit der Materialflussebene und strukturelle Parametrisierbarkeit der Stakeholder-Ebene |
| Stakeholder-Ebene | Ja | Nein | - |
| Regulatorische Ebene | Nein | Nein | - |

5.2 Prozessebene

Die Prozessebene bildet die Grundlage der Modellierung des Batterierecyclingprozesses. Ihre zentrale Bedeutung liegt darin, die Prozessschritte und deren Abfolge zu beschreiben, die für das Verständnis und die Analyse der Interaktionen zwischen den Stakeholdern erforderlich

sind. Die Prozessebene definiert somit die festen Abläufe und die grundlegende Struktur des gesamten Batterierecyclingprozesses und wird strukturell nicht parametrisierbar modelliert.

Die Grundlage der Prozessebene bildet das Konzept der geschlossenen Batteriekreislaufwirtschaft [Brä18]. Um das Modell in seiner Gesamtheit nutzbar zu machen, wird das Konzept der geschlossenen Batteriekreislaufwirtschaft durch erweiterte Prozessschritte der Wertschöpfung ergänzt. Dazu zählen insbesondere:

- *Transport*: Die Logistik der Altbatterien von den Sammelstellen zu den Recyclinganlagen.
- *Sammlung*: Die systematische Erfassung und Bündelung der Altbatterien.
- *Lagerung*: Die sichere und effiziente Zwischenlagerung der Altbatterien bis zur Weiterverarbeitung sowie die Lagerung der Rezyklate

Bild 2 illustriert die generalisierte Wertschöpfungskette, die als Grundlage der Prozessebene dient. Diese Abbildung visualisiert die verschiedenen Prozessschritte und deren Abfolge, um eine klare und verständliche Basis für die Modellierung zu bieten.

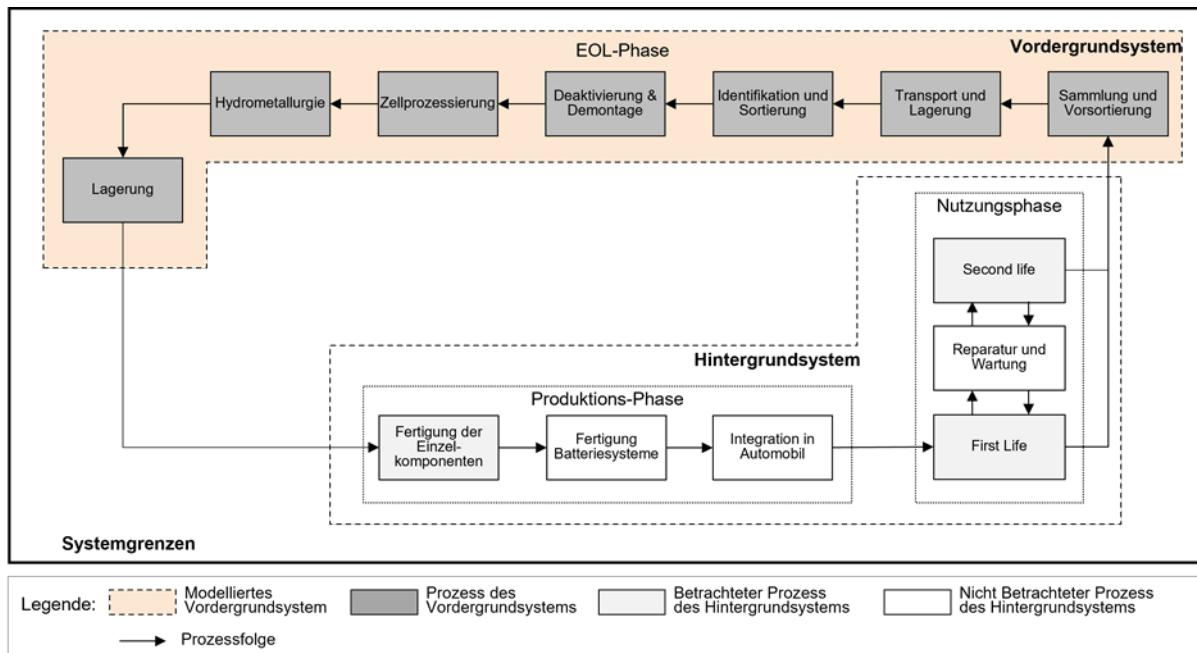


Bild 14: Übersicht Prozessebene

Um den Anforderungen gerecht zu werden, wird das Modell in ein Vordergrund- und ein Hintergrundsystem unterteilt:

- **Vordergrundsystem:** Das Vordergrundsystem beinhaltet alle Wertschöpfungsprozesse der EoL-Phase. Hier werden die detaillierten Prozessschritte und ihre Interaktionen modelliert.
- **Hintergrundsystem:** Das Hintergrundsystem umfasst die Produktions- und Nutzungsphase der Batterien. Hier werden nur die Prozessschritte aktiv betrachtet, die in direkter Abhängigkeit mit den Prozessen des Vordergrundsystems stehen. Dazu zählen:
 - Fertigung der Einzelkomponenten: Die Herstellung der Materialien welche zur Fertigung der Batteriesysteme benötigt wird.
 - First-Life: Die ursprüngliche Verwendung der Batterien in Fahrzeugen.
 - Second-Life: Die Wiederverwendung der Batterien in anderen Anwendungen.

5.3 Material- und Finanzflussebene

Zur Erfüllung der inhaltlichen Anforderung *IAF 3 - Analyse der materiellen und monetären Flüsse* wird eine Materialflussebene und eine Finanzflussebene definiert. Die Materialflussebene modelliert den Materialfluss zwischen den einzelnen Prozessschritten der Prozessebene und ist somit wie die Prozessebene nicht strukturell parametrisierbar. Einzelne Variablen sind in sich parametrisierbar, als auch durch die strukturelle Parametrisierbarkeit der Stakeholder-Ebene beeinflussbar. Somit wird ermöglicht, dass eine Variation der Zuständigkeiten direkte Einflüsse auf Variablen wie Prozessqualität oder Materialmenge haben können.

Zur Betrachtung der monetären Flüsse wird eine strukturell parametrisierbare Finanzflussebene definiert. Um verschiedene Geschäftsmodelle und Zuständigkeiten innerhalb des Wertschöpfungsmodells auf der Finanzebene abbilden zu können ist diese in der strukturellen Parametrisierbarkeit direkt abhängig von der Stakeholder-Ebene (siehe Bild 3). Die Variablen in der Finanzebene werden zudem direkt durch die elementbezogene Parametrisierbarkeit der Materialflussebene beeinflusst. Dadurch kann im Modell beispielsweise abgebildet werden, dass eine geringere Recyclingquote oder Prozessqualität zu direkte Auswirkungen auf den Umsatz einen Recyclingunternehmens führt.

5.4 Stakeholder-Ebene

Zur Untersuchung der Stakeholder-Interaktionen wird eine vierte Ebene definiert. Die Grundlage für die Bildung dieser Ebene ist die Erfüllung der Anforderung *AF2 – Abbildung der Stakeholder als individuelle Entitäten*. Die Stakeholder-Theorie von R. Edward Freeman dient als theoretische Basis für die Identifikation und Analyse der Stakeholder [FM01]. Diese Theorie betont die Bedeutung aller Parteien, die von den Entscheidungen einer Organisation betroffen sind oder diese beeinflussen können.

In der Stakeholder-Ebene werden die Zuständigkeiten für die Prozesse der Prozessebene modelliert. Diese Ebene ist strukturell parametrisierbar, um unterschiedliche Prozesszuständigkeiten darzustellen. Grundsätzlich werden zwei Arten von Stakeholdern definiert: direkte und indirekte Stakeholder.

Als direkte Stakeholder werden Akteure definiert, die in direktem Zusammenhang mit der Batterie innerhalb des Vorder- und Hintergrundsystems arbeiten. Diese Stakeholder lassen sich bei der Betrachtung der Wertschöpfungskette der EoL-Phase direkt identifizieren und sind für die Durchführung der Prozesse im Vordergrundsystem sowie der betrachteten Prozesse im Hintergrundsystem zuständig. Zu den direkten Stakeholdern zählen beispielsweise Automobilproduzenten, Recyclingunternehmen, Second-Use-Unternehmen, Produktionsunternehmen und Logistikunternehmen.

Indirekte Stakeholder hingegen lassen sich nicht unmittelbar durch die abgebildeten Prozesse identifizieren. Diese Stakeholder haben jedoch einen Einfluss auf die Qualitätsergebnisse des Batterierecyclingprozesses und müssen daher ebenfalls berücksichtigt werden. Indirekte Stakeholder können beispielsweise Hersteller von Transportboxen oder Recyclinganlagen sein.

Bild 3 stellt beispielhaft die Ebenen anhand zwei verschiedener Beispiele dar. Aus diesen Darstellungen wird ersichtlich, dass die Materialflussebene bei verschiedenen Prozesszuständigkeiten stabil bleibt, während die Finanzflussebene durch die strukturelle Parametrisierbarkeit der Stakeholder-Ebene flexibel beeinflusst wird.

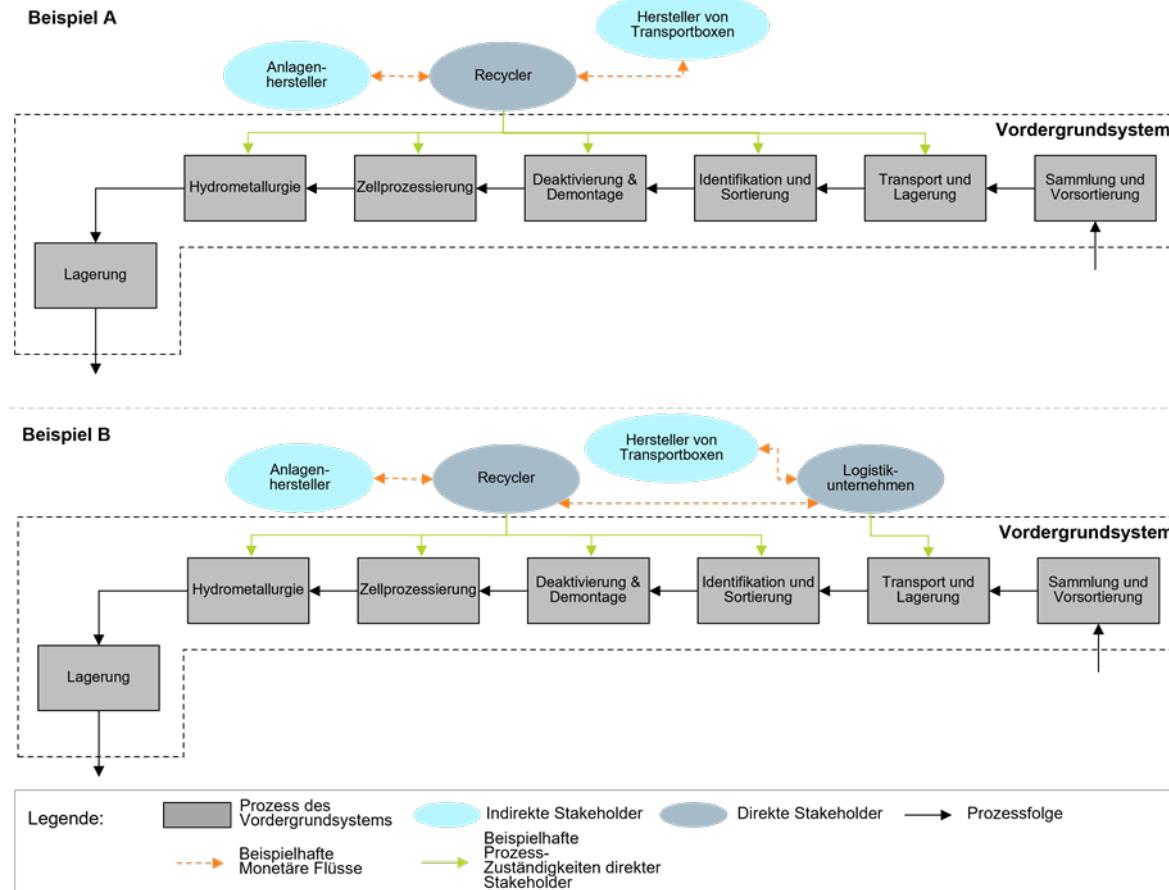


Bild 15: Beispielhafte Darstellung der Finanzfluss- und Stakeholder-Ebene

Zur Erfüllung der Anforderung *IAF 4 - Abbildung der Wechselwirkungen* werden Machtverhältnisse zunächst nicht modelliert, sondern als qualitative Information zur Bewertung der Aussagekraft der Simulationsergebnisse erfasst. Potenzielle Interessenkonflikte und Wettbewerb zwischen den Akteuren werden qualitativ berücksichtigt, um die Tiefe der Modellierung zu gewährleisten.

5.5 Regulatorische Ebene

Die regulatorische Ebene bildet den Rahmen für das gesamte Modell und definiert die gesetzlichen und normativen Vorgaben, innerhalb derer sich die anderen Ebenen bewegen können. Regularien werden als verbindliche Vorschriften und Gesetze verstanden, die nicht flexibel und nicht beeinflussbar sind und über keine veränderbaren Variablen im Modell verfügen. Dies stellt die Konformität des Modells mit realen gesetzlichen Anforderungen sicher und gewährleistet, dass die analysierten und simulierten Szenarien praxisnah und umsetzbar sind.

6 Ableitung weiterer Schritte zur Entwicklung des Modells

Das konzipierte Modell bietet den Rahmen für die modelltechnische Analyse der Stakeholder-Interaktionen im Batterierecyclingprozess. Um diese final szenariobasiert berechenbar zu machen, muss das Modell weiterentwickelt und implementiert werden. Insbesondere müssen folgende Schritte unternommen werden:

6.1 Ausdefinition der einzelnen Ebenen

Die detaillierte Ausarbeitung der einzelnen Ebenen des Modells ist notwendig, um eine präzise Modellierung zu ermöglichen. Dies beinhaltet die Erstellung relevanter Variablen für jede Ebene. Eine klare Definition dieser Variablen stellt sicher, dass die Interaktionen und Dynamiken innerhalb und zwischen den Ebenen korrekt abgebildet werden können. Für die einzelnen konzipierten Ebenen bedeutet dies folgendes:

- *Prozessebene*: Detaillierte Beschreibung aller Prozessschritte und deren Abfolge.
- *Materialflussebene*: Definition der Materialströme und deren Quantifizierung.
- *Finanzflussebene*: Identifikation aller monetären Flüsse und deren Variablen.
- *Stakeholder-Ebene*: Detaillierte Charakterisierung der Stakeholder und ihrer Interaktionen.
- *Regulatorische Ebene*: Berücksichtigung aller relevanten gesetzlichen Vorschriften und Normen.

Entsprechend der formalen Anforderungen *FAF 1 - Vereinfachung und Abstraktion* und *FAF 2 - Strukturgleichheit* müssen die Ebenen dabei so definiert werden, dass es einerseits genug Aussagekraft enthält, aber noch handhabbar bleibt. Die genaue Ausgestaltung der Ebenen sollte daher von individuellen, zu vertiefenden Fragestellungen in einem konkreten Projekt abhängen und muss zu Beginn unter Abwägung der Handhabbarkeit und Informationsdichte definiert und dokumentiert werden.

6.2 Mathematische Modellierung der Ebenen

Nach der Definition der Variablen müssen diese mathematisch miteinander in Verbindung gebracht werden. Dies erfordert die Entwicklung geeigneter mathematischer Modelle und Gleichungen, die die Interaktionen und Dynamiken zwischen den verschiedenen Ebenen abbilden. Ein zentraler Aspekt dieser Modellierung ist die Entwicklung sowohl linearer als auch nichtlinearer Gleichungen, um die Beziehungen zwischen den Variablen präzise darzustellen.

6.3 Definition aller relevanten Stakeholder

Um die Rollen, Verantwortlichkeiten und Einflussfaktoren der Stakeholder im Modell adäquat zu berücksichtigen, ist eine umfassende Identifikation und Definition aller relevanten Stakeholder unabdingbar. Im Modell sind hierfür mehrere Schritte erforderlich. Zunächst muss ein Stakeholder-Mapping durchgeführt werden, welches eine Kartierung aller relevanten direkten und indirekten Stakeholder umfasst. Anschließend sind die Rollen und Verantwortlichkeiten jedes Stakeholders detailliert zu beschreiben. Schließlich müssen die zentralen Einflussfaktoren identifiziert werden, die das Verhalten der Stakeholder maßgeblich beeinflussen.

6.4 Definition geeigneter Szenarien

Die Entwicklung und Modellierung verschiedener Szenarien ist erforderlich, um die Auswirkungen unterschiedlicher Strategien und Rahmenbedingungen zu analysieren. Zunächst müssen Basis- und alternative Szenarien erstellt werden. Anschließend sind die Parameter und Variablen zu definieren, die in den Szenarien untersucht werden sollen. Ein Beispiel für ein Szenario wäre die Optimierung der Gesamtkosten des Systems durch die Analyse verschiedener Stakeholder-Zuständigkeiten auf der Prozessebene. Konkret könnte untersucht werden, ob die Logistik der Rücknahme von Batterien besser von den Recyclingunternehmen selbst durchgeführt werden sollte oder ob ein externer Dienstleister beauftragt werden sollte. Diese Ansätze sind bereits exemplarisch in den Beispielen A und B in Bild 3 dargestellt.

6.5 Simulation des Modells

Die finale mathematische Simulation des aufgestellten Modells ermöglicht die Analyse und Bewertung der verschiedenen Szenarien und deren Auswirkungen auf den Batterierecyclingprozess. Durch die Simulation können unterschiedliche Strategien hinsichtlich ihrer ökonomischen und ökologischen Effizienz bewertet werden. Konkret sollten folgende Schritte durchgeführt werden:

- *Durchführung der Simulationen:* Implementierung der Szenarien in das Simulationsmodell und Durchführung der Simulationen.
- *Ergebnisanalyse:* Auswertung der Simulationsergebnisse und Identifikation der effizientesten Strategien.

6.6 Validierung

Eine umfassende Validierung des Modells ist notwendig, um die Genauigkeit und Anwendbarkeit der Modellierungsergebnisse zu überprüfen. Die zentrale Herausforderung liegt hierbei darin, dass zum aktuellen Zeitpunkt nur wenige bis keine empirischen Daten des Modells existieren. Relevante Wertschöpfungskettenbezüge konnten sich aufgrund der bisher geringen Rücklaufmengen noch nicht vollständig ausbilden. Die Validierung muss daher auf Experteninterviews basieren um die Umsetzbarkeit der Optimierten Stakeholder-Interaktionen zu überprüfen. Basierend darauf soll die Aussagefähigkeit des Modells anhand einer Fallstudie erprobt werden, um die praktische Anwendung des Modells zu demonstrieren.

7 Zusammenfassung & Ausblick

In diesem Beitrag wurde ein Ansatz zur Entwicklung eines integrativen Modells vorgestellt, welches idealtypische Batterierecyclingprozesse mit Bezug zu den Rahmenbedingungen in der Europäischen Union als kohärentes Wertschöpfungsnetzwerk unterschiedlicher Akteure abbildet. Auf Basis des Modells können perspektivisch verschiedene Strategien modelliert und mögliche kritische Stellhebel für die die Definition von Rahmenbedingungen sowie für die Beeinflussung der Verhaltensweisen der identifizierten Stakeholder aufgezeigt werden.

Zur Aufstellung des Modells wurden zunächst die grundlegenden, formalen Anforderungen an das Modell definiert, darunter Vereinfachung und Abstraktion, Strukturgleichheit, logische Konsistenz sowie Flexibilität und Anpassungsfähigkeit. Auf dieser Grundlage wurden die inhaltlichen Anforderungen erarbeitet, die sicherstellen, dass das Modell die relevanten Aspekte des Batterierecyclingprozesses erfasst und analysiert. Diese Anforderungen umfassen die Abbildung des gesamten Recyclingprozesses, die Modellierung der Stakeholder als individuelle Entitäten, die Analyse der materiellen und monetären Flüsse, die Berücksichtigung der Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen den Stakeholdern, die Einbeziehung regulatorischer Aspekte sowie die Möglichkeit zur Optimierung des Systemdesigns.

Das Modell wurde in fünf verschiedene Ebenen unterteilt: Prozessebene, Materialflussebene, Finanzflussebene, Stakeholder-Ebene und regulatorische Ebene. Jede dieser Ebenen wurde detailliert beschrieben und ihre spezifischen Rollen und Funktionen im Modell erläutert. Die Prozessebene bildet die Grundlage der Modellierung und beschreibt die grundlegenden Prozessschritte und deren Abfolge. Die Materialflussebene modelliert die Materialflüsse zwischen den Prozessschritten, während die Finanzflussebene die monetären Flüsse und deren Variablen abbildet. Die Stakeholder-Ebene charakterisiert die relevanten Akteure und deren Interaktionen, und die regulatorische Ebene berücksichtigt alle relevanten gesetzlichen Vorschriften und Normen.

Um das Modell szenariobasiert berechenbar zu machen, wurden weitere Schritte zur Entwicklung des Modells abgeleitet. Diese umfassen die detaillierte Ausarbeitung der einzelnen Ebenen, die mathematische Modellierung der Ebenen, die umfassende Identifikation und Definition aller relevanten Stakeholder, die Entwicklung und Modellierung geeigneter Szenarien, die mathematische Simulation des Modells sowie die Validierung des Modells durch empirische Daten und Fallstudien. Die Validierung des Modells stellt dabei eine zentrale Herausforderung dar, da zum aktuellen Zeitpunkt nur wenige empirische Daten verfügbar sind. Experteninterviews bieten eine wertvolle Grundlage, können jedoch nicht alle realen Werte vollständig nachbilden und liefern daher nur begrenzte Robustheit. Zukünftige Forschungen sollten sich daher verstärkt auf die Erhebung und Integration empirischer Daten fokussieren, um die Präzision und Anwendbarkeit des Modells zu verbessern. Zudem sollte untersucht werden, inwiefern sich das Modell auf internationale Batterierecyclingmärkte und deren spezifische regulatorische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen übertragen lässt. Dies ist entscheidend, um die Skalierbarkeit und Übertragbarkeit des Modells zu gewährleisten und dessen Anwendung in verschiedenen globalen Kontexten zu ermöglichen.

Literatur

- [Ago19] Agora Verkehrswende: Klimabilanz von Elektroautos – Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial, 2019
- [AOG21] AZADNIA, A. H.; ONOFREI, G.; GHADIMI, P.: Electric vehicles lithium-ion batteries reverse logistics implementation barriers analysis: A TISM-MICMAC approach. *Resources, Conservation and Recycling*, (174), 2021, S. 105751
- [BHS+23] BORRMANN, D.; HERRMAN, F.; STEGMÜLLER, S.; BLOCK, L.; KEICHER, L.: Themenpapier Cluster Elektromobilität Süd-West: Wertstoffkreislauf von Traktionsbatterien aus Europa, 2023

- [Brä18] BRÄUER, S.: Electric Vehicle Battery Second Use – Future Trade, Business Models, and Information Systems Design (Cut Copy for ResearchGate), 2018
- [BSP+21] BEIGEL, P.; SCHERHAUFER, S.; Part, F.; Jandric, A.; Salhofer, S.; Nigl, T.; Altendorfer, M.; Rutherford, B.; Pomberger, R.; Meyer, I.; Sommer, M.: Entwicklung einer Wertschöpfungskette für das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien in Österreich, 2021
- [Bun67] BUNGE, M.: Scientific Research II – The Search for Truth, 1967
- [CAM+21] CHAN, K. H.; ANAWATI, J.; MALIK, M.; AZIMI, G.: Closed-Loop Recycling of Lithium, Cobalt, Nickel, and Manganese from Waste Lithium-Ion Batteries of Electric Vehicles. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, (9)12, 2021, S. 4398–4410
- [CZL+23] CONG, L.; ZHOU, K.; LIU, W.; LI, R.: Retired Lithium-Ion Battery Pack Disassembly Line Balancing Based on Precedence Graph Using a Hybrid Genetic-Firework Algorithm for Remanufacturing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, (145)5, 2023
- [Eur06] Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC, 2006
- [FBG+20] FU, X.; BEATTY, D. N.; GAUSTAD, G. G.; CEDER, G.; ROTH, R.; KIRCHAIN, R. E.; BUSTAMANTE, M.; BABBITT, C.; OLIVETTI, E. A.: Perspectives on Cobalt Supply through 2030 in the Face of Changing Demand. *Environmental science & technology*, (54)5, 2020, S. 2985–2993
- [FM01] FREEMAN, R. E. E.; MCVEA, J.: A Stakeholder Approach to Strategic Management. *SSRN Electronic Journal*, 2001
- [For61] FORRESTER, J. W.: *Industrial Dynamics*, 1961
- [Hol05] HOLLING, C. S.: *Adaptive Environmental Assessment and Management*, 2005
- [IEA20] IEA, I. E.: Global EV outlook 2020. URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>, 2020
- [II22] ISLAM, M. T.; IYER-RANIGA, U.: Lithium-Ion Battery Recycling in the Circular Economy: A Review. *Recycling*, (7)3, 2022, S. 33
- [JLZ+23] JLIN, J.; LI, X.; ZHAO, Y.; CHEN, W.; WANG, M.: Design a reverse logistics network for end-of-life power batteries: A case study of Chengdu in China. *Sustainable Cities and Society*, (98), 2023, S. 104807
- [JNL+23] JIANG, S.; NIE, C.; LI, X.; SHI, S.; GAO, Q.; WANG, Y.; ZHU, X.; WANG, Z.: Review on comprehensive recycling of spent lithium-ion batteries: A full component utilization process for green and sustainable production. *Separation and Purification Technology*, (315), 2023, S. 123684
- [KK18] KASTENS, U.; KLEINE BÜNING, H.: *Modellierung – Grundlagen und formale Methoden*. 4. Auflage, Hanser, München, 2018
- [LTN+23] LANDER, L.; TAGNON, C.; NGUYEN-TIEN, V.; KENDRICK, E.; ELLIOTT, R. J.; ABBOTT, A. P.; EDGE, J. S.; OFFER, G. J.: Breaking it down: A techno-economic assessment of the impact of battery pack design on disassembly costs. *Applied Energy*, (331), 2023, S. 120437
- [MSM19] MAYYAS, A.; STEWARD, D.; MANN, M.: The case for recycling: Overview and challenges in the material supply chain for automotive li-ion batteries. *Sustainable Materials and Technologies*, (19), 2019, e00087
- [NPM+22] NEUMANN, J.; PETRANIKOVA, M.; MEEUS, M.; GAMARRA, J. D.; YOUNESI, R.; WINTER, M.; NOWAK, S.: Recycling of Lithium-Ion Batteries—Current State of the Art, Circular Economy, and Next Generation Recycling. *Advanced Energy Materials*, (12)17, 2022
- [Öko20] ÖKO-INSTITUT: Ökologische und sozio-ökonomische Herausforderungen in Batterie-Lieferketten: Graphit und Lithium, 2020
- [RFG+20] ROLDÁN-RUIZ, M. J.; FERRER, M. L.; GUTIÉRREZ, M. C.; DEL MONTE, F.: Highly Efficient p-Toluenesulfonic Acid-Based Deep-Eutectic Solvents for Cathode Recycling of Li-Ion Batteries. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, (8)14, 2020, S. 5437–5445

- [RG19] RAILSBACK, S. F.; GRIMM, V.: Agent-based and individual-based modeling – A practical introduction. Princeton University Press, Princeton, 2019
- [RLY+23] REN, Z.; LI, H.; YAN, W.; LV, W.; ZHANG, G.; LV, L.; SUN, L.; SUN, Z.; GAO, W.: Comprehensive evaluation on production and recycling of lithium-ion batteries: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (185), 2023, S. 113585
- [RMP+21] RAMBAU, K.; MUSYOKA, N. M.; PALANIYANDY, N.; MANYALA, N.: Manganese-Based Metal Organic Framework from Spent Li-Ion Batteries and its Electrochemical Performance as Anode Material in Li-ion Battery. *Journal of The Electrochemical Society*, (168)1, 2021, S. 10527
- [SSS23] SCHELLER, C.; SCHMIDT, K.; SPENGLER, T. S.: Effects of network structures on the production planning in closed-loop supply chains – A case study based analysis for lithium-ion batteries in Europe. *International Journal of Production Economics*, (262), 2023, S. 108892
- [Ste00] STERMAN, J.: *Business Dynamics, System Thinking and Modeling for a Complex World*, 2000
- [TB23] TOMBEIL, S.; BLOCK, L.: Towards a Metamodel for Service-Oriented Value Creation: The Human Side of Service Engineering. 14th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2023), July 20-24, 2023, AHFE International, AHFE International, 2023
- [THH+21] THOMPSON, D.; HYDE, C.; HARTLEY, J. M.; ABBOTT, A. P.; ANDERSON, P. A.; HARPER, G. D.: To shred or not to shred: A comparative techno-economic assessment of lithium ion battery hydro-metallurgical recycling retaining value and improving circularity in LIB supply chains. *Resources, Conservation and Recycling*, (175), 2021, S. 105741
- [TMB+23] TORO, L.; MOSCARDINI, E.; BALDASSARI, L.; FORTE, F.; FALCONE, I.; COLETTA, J.; TORO, L.: A Systematic Review of Battery Recycling Technologies: Advances, Challenges, and Future Prospects. *Energies*, (16)18, 2023, S. 6571
- [WPM+21] WRÄLSEN, B.; PRIETO-SANDOVAL, V.; MEJIA-VILLA, A.; O'BORN, R.; HELLSTRÖM, M.; FAESSLER, B.: Circular business models for lithium-ion batteries - Stakeholders, barriers, and drivers. *Journal of Cleaner Production*, (317), 2021, S. 128393
- [ZPK19] ZEIGLER, B. P.; PRAEHOFER, H.; KIM, T. G.: *Theory of Modeling and Simulation*. Elsevier, 2019

Autoren

Jantje Marie Schrömer studierte Wirtschaftsingenieurwesen Maschinenbau an der RWTH Aachen und der Universität Paderborn. Bereits während ihrer Masterarbeit beschäftigte Sie sich intensiv mit der Batteriekreislaufwirtschaft, indem Sie ein Modell zur Prognose von sekundären Batteriezellmaterialien entwickelte. Seit Anfang 2024 arbeitet Sie als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IAT der Universität Stuttgart und am Fraunhofer IAO im gemeinsamen Forschungsteam Mobility Innovation. Ihr Forschungsschwerpunkte fokussieren die Frage, wie Kreislaufwirtschaft praxisnah und wirtschaftlich umgesetzt werden kann.

Sebastian Stegmüller arbeitete nach seinem Studium des Wirtschaftsingenieurwesens am KIT mit den Schwerpunkten Fahrzeugtechnik, Innovationen und Unternehmensstrategie als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IAT der Universität Stuttgart und am Fraunhofer IAO im gemeinsamen Forschungsteam Mobility Innovation, das er von 2018 bis 2021 auch als Abteilungsleiter führte. In dieser Zeit leitete er unter anderem das Innovationsnetzwerk „FutureCar“, ein vorwettbewerbliches Kooperationsformat von Firmen der Automobilindustrie und Fraunhofer-Instituten, und etablierte das Mobility Innovation Lab als Ort für kreative Wissensarbeit im Kontext der automobilen Transformation. Heute leitet er als Abteilungsdirektor den Forschungsbereich für Mobilitäts- und Innovationssysteme am Fraunhofer IAO. Seine persönlichen wissenschaftlichen Arbeiten fokussiert er auf die Frage, wie strategiekonforme, lösungsorientierte

Produkte im Sinne der hybriden Wertschöpfung frühphasig ganzheitlich konzipiert und bewertet werden können.

Session VIII

Multiperspektivische Vorausschau für Emerging Technologies: Praxisbeispiel Nicht-invasive Hirnstimulation (NIBS)

Moritz Julian Maier¹, Simone Kaiser¹, Karen Klug¹, Katharina Hölzle^{1,2}

¹ *Fraunhofer IAO, Center for Responsible Research and Innovation,
moritz-julian.maier@iao.fraunhofer.de, simone.kaiser@iao.fraunhofer.de,
karen.klug@iao.fraunhofer.de*

² *University of Stuttgart, Institute for Human Factors Engineering,
katharina.hoelzle@iao.fraunhofer.de*

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag betrachtet die Anwendung multiperspektivischer Vorausschau (MPV) im Bereich Emerging Technologies mit einem spezifischen Fokus auf Neurotechnologien. Die MPV ist ein ganzheitlicher Ansatz zur Gestaltung möglicher Zukünfte, der verschiedene Perspektiven, Disziplinen und Akteursgruppen einbezieht. Sie ist damit besonders geeignet, die Vielfalt und Interdependenzen aller Lebensbereiche, einschließlich der technologischen und gesellschaftlichen Veränderungen, zu berücksichtigen. Sie sind auf einen längerfristigen Zeithorizont angelegt und nutzen in besonderer Weise partizipative und kreative Methoden. Es werden Methoden zur Identifikation relevanter Stakeholder sowie verschiedene MPV-Techniken vorgestellt und durch Praxisbeispiele aus dem EU-Forschungsprojekt STIMCODE illustriert. Dabei wird insbesondere auf Stakeholderauswahl, Forschungs- und Workshopmethoden und die Ableitung von Handlungsempfehlungen eingegangen.

Schlüsselworte

Multiperspektivische Vorausschau, Neurotechnologien, Emerging Technologies, Nicht-invasive Hirnstimulation (NIBS)

Multi-perspective Foresight for Emerging Technologies : A Practical Example for Non-invasive brain stimulation

Abstract

This article addresses the application of multi-perspective foresight (MPV) in the field of emerging technologies with a specific focus on neurotechnologies. MPV is a holistic approach to shaping possible futures that incorporates different perspectives, disciplines and stakeholder groups. It is therefore particularly suitable for taking into account the diversity and interdependencies of all areas of life, including technological and social changes. They are designed for a longer-term time horizon and make particular use of participatory and creative methods. Methods for identifying relevant stakeholders and various MPV techniques are presented and illustrated with practical examples from the EU research project STIMCODE. In particular, stakeholder selection, research and workshop methods and the derivation of recommendations for action are discussed.

Keywords

Multi-perspective Foresight, Neurotechnology, Emerging Technologies, Non-invasive Brain-stimulation

1 Einleitung

Nicht erst mit dem Erscheinen und der überraschend schnellen Diffusion generativer KI-Technologien, dem Auftreten multipler Krisen im politischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Kontext sowie einer sich verändernden Weltordnung ist klar geworden, dass Zukunft weder linear noch eindimensional ist, sondern vielmehr multidimensional und im Plural betrachtet werden muss. Zwischen Hyperkomplexität, Beschleunigung und Digitalisierung aller Lebensbereiche ist die multiperspektivische Vorausschau (MPV) ein ganzheitlicher Ansatz zur Gestaltung möglicher Zukünfte, der verschiedene Perspektiven, Disziplinen und Akteursgruppen einbezieht. Im Gegensatz zur klassischen Vorausschau (Vorhersage, Prognose, Risikomanagement) zielt sie darauf ab, ein breites Spektrum an möglichen, wahrscheinlichen und wünschenswerten Zukunftsszenarien zu entwickeln. Sie ist damit besonders geeignet, die Vielfalt und Interdependenzen aller Lebensbereiche, einschließlich der technologischen und gesellschaftlichen Veränderungen, zu berücksichtigen. Durch die Integration multipler Szenarien, interdisziplinärer Perspektiven und partizipativer Ansätze kann sie traditionelle Prognoseverfahren erweitern, um effektiver auf die wachsende Komplexität unserer Zeit zu reagieren.

Neben der Technikfolgenabschätzung, die als reaktives Instrument der Politikberatung entwickelt wurde [BGK+21], kann die MPV als ein zentrales, gestaltendes Instrument zur Bewältigung der Herausforderungen gesehen werden, die mit der zunehmenden Komplexität neu entstehender Emerging Technologies verbunden sind. Als Emerging Technologies werden Technologien mit einer schnellen Entwicklung und Ungewissheit in Bezug auf Verlauf und Auswirkungen bezeichnet. Durch die häufig hohe Unvorhersehbarkeit, schnelle Entwicklung, Interdisziplinarität sowie der tiefgreifenden gesellschaftlichen Auswirkungen von Emerging Technologies sind klassische Vorausschauprozesse häufig nicht in der Lage, den Entwicklungen, Konsequenzen und Interdependenzen der Entwicklungen von Emerging Technologies ausreichend Rechnung zu tragen. Eine multiperspektivische Vorausschau ist daher unabdingbar, um diese Technologien angemessen beurteilen und gestalten zu können [KV19], [Uta24-ol].

Neben Biotechnologie, Klimainterventionen, Quantentechnologien und Advanced Artificial Intelligence werden Neurotechnologien aufgrund ihres großen Potentials in der Krankheitsbehandlung, aber auch wegen zahlreicher ethischer und regulatorischer Herausforderungen vom International Center for Future Generations (ICFG) als eine der fünf Schlüsseltechnologien bezeichnet, die das Potential haben, das Leben von Milliarden von Menschen positiv oder negativ zu beeinflussen [GKR24] und daher besonders beachtet werden sollten.

Ein Beispiel für eine sich aktuell schnell entwickelnde Neurotechnologie ist die nicht-invasive Hirnstimulation (NIBS). Nicht nur die klinische Forschung und Behandlung mit NIBS wirft ethische Fragen für Forscher und Praktiker auf. So ist beispielsweise die Grenze zwischen Behandlung und Neuroenhancement verschwommen, beispielsweise ist nicht ausreichend definiert, wo in der Demenzprophylaxe die Grenze zwischen Leistungssteigerung und medizinisch notwendiger Behandlung verläuft. Weiterhin hat sich in den letzten Jahren außerhalb der klinischen Forschung ein großer, finanziell lukrativer Markt entwickelt, auf dem Einzelpersonen NIBS-Produkte kaufen und sie zu Hause ohne jegliche medizinische Aufsicht verwenden kön-

nen. Diese Entwicklungen führen die zuständigen Behörden zunehmend zu ernsthaften regulatorischen Problemen. Ziel des ERA-NEUT NEURON Forschungsprojekts STIMCODE war es daher, in Zusammenarbeit mit Interessengruppen aus Wissenschaft, Gesellschaft, Industrie und Regierung einen Verhaltenskodex für NIBS zu entwickeln. Durch die Einbeziehung von Laien, Experten aus verschiedenen Fachrichtungen und der Industrie sowie eines internationalen Konsortiums sollte der entwickelte Verhaltenskodex die Beachtung zahlreicher Perspektiven aus einem breiten Spektrum der Gesellschaft gewährleisten. Angesichts des enormen erwarteten Umsatzes und der wachsenden Zahl von Veröffentlichungen zu diesem Thema ist zu erwarten, dass NIBS in Zukunft noch größere Auswirkungen auf die Gesellschaft und einzelne Akteure haben wird. In dem Projekt sollte daher das Konzept der MPV auf NIBS angewandt werden, um eine sozial verantwortliche und nachhaltige Entwicklung zu gewährleisten. Auf diese Weise wäre es möglich, die potenziellen Auswirkungen des technologischen und wissenschaftlichen Fortschritts von NIBS an die Forschenden selbst zurückzugeben, um sie in die Lage zu versetzen, über die Zwecke, Motivationen und potenziellen Auswirkungen ihrer Forschung nachzudenken, sich über die damit verbundenen Unsicherheiten, Annahmen und Dilemmata klarer zu werden und diese Visionen für eine breitere Diskussion und einen Dialog in der Öffentlichkeit zu öffnen, zu übersetzen und zu verbreiten. Um einen ganzheitlichen Verhaltenskodex (Code of Conduct, CoC) zu entwickeln, wurde für dieses Projekt das Konzept der Quadruple Helix übernommen. Das bedeutet, dass bei sozial nachhaltigen Innovationen Akteure aus Gesellschaft, Politik, Wissenschaft und Wirtschaft von Anfang an einbezogen werden müssen [CG16]. Kontroverse Fragen im Zusammenhang mit NIBS, wie die Unterscheidung zwischen Behandlung und Leistungssteigerung [FCB19], der Einfluss der Hirnstimulation auf die persönliche Identität [Nor17] oder der Umgang mit besonders schutzbedürftigen Gruppen wie Kindern [Gar17] wurden mit einer Vielzahl von Gruppen diskutiert und zu gemeinsamen Handlungsempfehlungen zusammengeführt.

1.1 Abgrenzung multiperspektivische Vorausschau (MPV) – klassische Vorausschau

Im Gegensatz zur klassischen Vorausschau, die von einer Determiniertheit der Zukunft ausgeht [Gra15], berücksichtigt die MPV die Offenheit und Gestaltbarkeit von Zukünften mit seinen hyperkomplexen und oft unvorhersehbaren Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Ebenen und Akteuren. Um den Unterschied zwischen klassischer und multiperspektivischer Vorausschau zu verdeutlichen, wird im Folgenden der Future Cone (siehe Bild 1) betrachtet.

Der Ansatz der klassischen Vorausschau, der häufig in Prognosen mündet, schränkt die Pfade des Future Cones auf eine enge Auswahl wahrscheinlicher Zukünfte ein. Da er sich hauptsächlich auf bestehende Trends und historische Daten stützt, ist er nur eingeschränkt in der Lage auf unerwartete Veränderungen und Störungen adäquat zu reagieren. Im Vergleich dazu erweitert die MPV den Future Cone, indem sie multiple, mögliche, plausible und erstrebenswerte Zukünfte, in Form von Szenarien, in die Betrachtung mit einbezieht. Diese Vorgehensweise berücksichtigt eine Vielzahl an Einflussfaktoren sowie deren Wechselwirkungen, die zu unvorhergesehenen Entwicklungen führen können. Die Berücksichtigung verschiedener Perspektiven, Akteure und Ebenen erlaubt eine breitere und tiefere Analyse. Die MPV stellt somit ein umfassendes und flexibles Rahmenwerk zur Analyse von Transformationsprozessen bereit,

welches sowohl die Stabilität als auch die Veränderung in sozio-technischen Systemen berücksichtigt. Entscheidungsträger sind dadurch nicht nur auf erwartbare Entwicklungen vorbereitet, sondern können auch auf Überraschungen und Disruptionen angemessen reagieren [KG08], [Ste97], [Eur15].

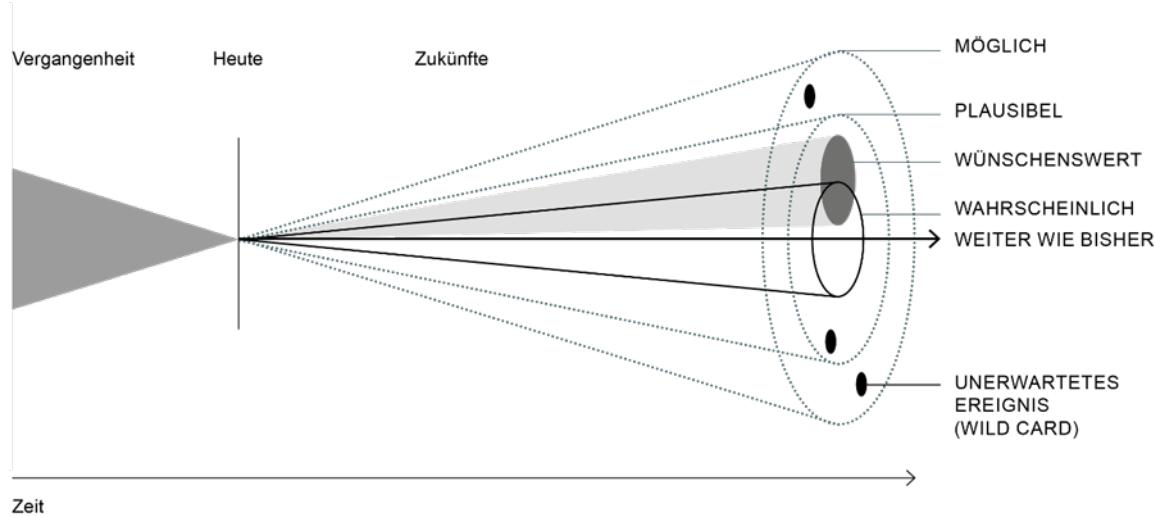


Bild 1: Adaption des Future Cone nach VOROS [Vor03].

Die klassische Vorausschau ist stark datengetrieben und fokussiert sich auf die Extrapolation bestehender Trends, um kurzfristige Vorhersagen für spezifische Zielgruppen zu erstellen. Die multiperspektivische Vorausschau hingegen integriert eine Vielzahl von Perspektiven und Methoden, um langfristige und vielfältige Zukunftsszenarien zu erkunden und resilentere Strategien zu entwickeln. Dieser Vergleich ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Vergleich klassische und multiperspektivische Vorausschau (eigene Darstellung in Anlehnung an Steinmüller [Ste97])

| | Klassische Vorausschau | Multiperspektivische Vorausschau |
|-----------|---|--|
| Fokus | Fokus auf Vorhersage und Analyse; operative, strategische Planung, um geschäftsziele zu erreichen und Risiken zu minimieren | Fokus auf Integration verschiedener Perspektiven (Wissenschaft, Politik, Gesellschaft, Industrie), Akteure, Partizipation; strategische Planung und Politikgestaltung |
| Variablen | Messbare, quantitative Variablen, die objektiv überprüfbar, bekannt und analysierbar sind | Variablen sind nicht immer messbarer Natur (qualitativ); Einbezug von Meinungen und Einschätzungen (subjektiv) unter Berücksichtigung bekannter oder unbekannter Variablen |
| Nutzung | Nutzung statistischer und mathematischer Modelle | Nutzung partizipativer und kreativer Methoden |

| | | |
|--------------|---|--|
| Zielgruppe | Entscheidungsträger in Unternehmen und Regierungen | Breite Öffentlichkeit, verschiedene Stakeholder aus Politik, Wirtschaft, Gesellschaft, Wissenschaft |
| Methoden | Prognose, Risikomanagement, Trendextrapolation, quantitative Methoden, ökonometrische Modelle (historische Daten) | Qualitative und quantitative Methoden, Szenario-Analyse, Delphi-Methode, Trendanalyse, Partizipation |
| Zeithorizont | 1-5 Jahre kurzfristig (für präzise Vorhersagen) | 10-50 Jahre (Langfristig) |

1.2 Praxisbeispiel Nicht-invasive Hirnstimulation

Unter Neurotechnologien versteht man Methoden und Instrumente, die entweder Hirnsignale aufzeichnen und gegebenenfalls in technische Kontrollbefehle „übersetzen“ können oder die Hirnaktivität mit Hilfe elektrischer, magnetischer oder optischer Stimuli manipulieren können [MR17]. Viele dieser Technologien wurden zur Behandlung psychischer Erkrankungen wie Depressionen [SEG+20] oder Zwangsstörung [RKF+19] entwickelt, auch zur Behandlung von Personen nach Schlaganfällen [EKP+20], mit motorischen Einschränkungen oder Lähmungserscheinungen [RKD+22] werden oftmals Neurotechnologien eingesetzt. In den vergangenen Jahren hat sich zudem außerhalb der Forschung und medizinischen Anwendung ein Heimwendungsmarkt für Neurotechnologien entwickelt, z.B. zur kognitiven Leistungssteigerung [ALB+22]. Es ist davon auszugehen, dass sich durch den zunehmenden Einsatz künstlicher Intelligenz Neurotechnologien für analytische, prosthetische oder therapeutische Anwendungen noch schneller entwickeln [SAS22]. Der globale Umsatz mit Neurotechnologien lag 2022 bei 12,82 Milliarden Dollar, für das Jahr 2032 wird ein Umsatz von 38,17 Milliarden Dollar vorhergesagt [Pre22-ol].

1.2.1 Chancen und Risiken der Neurotechnologien

Viele aktuelle Herausforderungen wie beispielsweise steigende Preise, das Kriegsgeschehen in der Ukraine, Arbeitslosigkeit, Druck durch Vergleichsprozesse in den sozialen Medien oder die Auswirkungen des Klimawandels stellen Stressoren für die Menschen in der EU dar und wirken sich insbesondere auf die psychische Gesundheit von Kindern und Jugendlichen negativ aus [Eur24-ol]. Aktuell geben 46 % der Befragten in der EU an, unter emotionalen oder psychosozialen Herausforderungen zu leiden [Eur24-ol], [Rie18]. Auch wenn nicht alle dieser Personen behandlungsbedürftig sind, zeigt sich in dieser Zahl, dass es einen zunehmenden Druck auf die Gesundheitssysteme hinsichtlich der Behandlung psychischer Erkrankungen gibt. Schon jetzt warten behandlungswillige Patienten im Schnitt in Deutschland 142 Tage auf einen Therapieplatz [Bun22-ol]. In der EU wird von ca. 600 Milliarden Euro jährlicher direkter oder indirekter Kosten durch psychische Erkrankungen ausgegangen, für Deutschland werden Kosten in Höhe von 4,8% des Bruttoinlandprodukts prognostiziert [OE18]. Es stellt sich daher die Frage, wel-

che zusätzlichen wirksamen und zeit- und kosteneffizienten Behandlungsangebote den erkrankten Personen zugänglich gemacht werden können. Hier zeigt sich das große Potential von Neurotechnologien; viele der Technologien sind vergleichsweise einfach, zeit- und kosteneffizient zur Behandlung psychischer Erkrankungen einzusetzen (z.B. [NJP+22], [SEG+20], [RKF+19]). Zudem können auch herkömmliche Behandlungen durch den Einsatz von Neurotechnologien effizienter gestaltet werden, da eine immer genauere Differentialdiagnostik und damit passgenauere Behandlung ermöglicht wird [RE20].

Neben den umfangreichen Chancen für Forschung und klinische Behandlung ergeben sich durch die fortschreitende Entwicklung der Neurotechnologien jedoch eine Vielzahl an ethischen und regulatorischen Herausforderungen. Folgende Herausforderungen können im Bereich der Neurotechnologien identifiziert werden [GKS+21]:

- Persönliche Identität: Neurotechnologien wie Tiefenhirnstimulation oder Computer-Hirn-Schnittstellen können bestimmte Symptome lindern, aber als Nebenwirkung auch die persönliche Identität des Nutzers verändern. Zudem kann durch die Technologien eine Person dazu befähigt werden, über die physischen Grenzen des eigenen Körpers hinaus zu agieren, was grundsätzliche philosophische Fragen aufwirft.
- Datenschutz: Generell stellt sich bei technologischem Zugriff auf persönliche Daten die Frage des Datenschutzes. Im Bereich der Neurowissenschaften gibt es diesbezüglich folgende Punkte, die besonders sensibel sind: Gehirndaten stellen die intimste Datenbasis eines Menschen dar, ohne Neurotechnologien ist ein Zugriff auf Gehirndaten nicht möglich, und es zeigt sich ein allgemeiner Trend von Technologieunternehmen vermehrt auch Gehirndaten zu sammeln. Daraus ergeben sich folgende kritische Punkte:
- Unautorisierte Zugang: Gehirndaten könnten versehentlich freigegeben oder gestohlen werden. Dies kann insbesondere bei mangelhafter Aufklärung der Nutzenden und unzureichenden Sicherheitsrichtlinien geschehen.
- Einverständniserklärung: Oftmals erfolgt die Zustimmung zur Verwendung von Gehirndaten, ohne dass die Personen die Nutzungsbedingungen vollständig verstehen. Die Komplexität der Gehirndaten und die unklaren zukünftigen Anwendungsoptionen erschweren eine sinnvolle Einverständniserklärung.
- Beeinflussung von Gedanken und Erinnerungen: Durch Stimulation des Gehirns können Verhaltensreaktionen oder Halluzinationen entstehen, die von Personen als Teil des Selbst interpretiert werden könnten.
- Individuelle Einverständniserklärung vs. Kollektivverhalten: Persönliche Informationen werden teilweise schlecht durch individuelle Einverständniserklärungen reguliert. Teilweise können Anbieter mit Hilfe großer Datenmengen auch Aussagen über Nichtnutzer treffen und somit individuelle Zustimmungsmodelle obsolet machen.
- Machtgefälle: Häufig gibt es aufgrund sozialer Gefüge, finanzieller Ausstattung oder Wissensunterschieden ein Macht- oder Informationsungleichgewicht zwischen einem nutzenden Individuum und Anbietern von Neurotechnologien.
- Bias: Bias sind Vorannahmen, die entstehen können, wenn wissenschaftliche oder technologische Entscheidungen auf Grundlage unzureichender Daten, Methoden oder Konzepten getroffen werden. Sie können umfassenden Einfluss auf folgende Aspekte der Neurotechnologien haben:

- **Forschungsziele und Fragen:** Oft werden Forschungsziele von Trends, Finanzierung, Jobdruck, kulturellen Normen, Publikationsverzerrungen und Interessenkonflikten beeinflusst. Das kann dazu führen, dass die Perspektiven und Bedürfnisse von Betroffenen nicht ausreichend beachtet werden und Entwicklungen an eigentlichen Bedarfen vorbeigehen.
- **Teilnehmenden- und Datenauswahl:** Häufig ist die Auswahl von Teilnehmenden an Studien nicht inklusiv genug, sodass neue Neurotechnologien eventuell nicht ausreichend für Wirksamkeit und Sicherheit bei marginalisierten Gruppen getestet wurden.
- **Verbreitung:** Je weiter verbreitet Neurotechnologien sind, desto stärker formen die Versprechen der Technologien auch unsere Wahrnehmung, welcher Zustand erstrebenswert ist (z.B. leistungsfähig und positiv gestimmt).
- **Feedback:** Häufig werden Wirksamkeit und Verträglichkeit von Neurotechnologien von den entwickelnden Unternehmen durch Messinstrumente erfasst, die Bedenken von Nutzenden nicht ausreichend Raum geben. Dies geschieht dadurch, dass häufig ein großes Interesse daran besteht, positive Ergebnisse hinsichtlich Wirksamkeit und Einsatzmöglichkeiten einer Neurotechnologie zu finden.
- **Leistungssteigerung:** Unter Leistungssteigerung versteht man eine Verbesserung des menschlichen Organismus über ein Maß welches nötig wäre, um Gesundheit zu erhalten oder wiederherzustellen. Im Bereich der Neurotechnologien gibt es in diesem Zusammenhang folgende kritische Punkte:
- **Sicherheit:** Neurotechnologien, die im medizinischen Bereich eingesetzt werden, sind entsprechend zertifiziert und weisen hohe Sicherheitsstandards auf. Anders ist es bei Geräten, welche zur kognitiven Leistungssteigerung im Heimanwendungsbereich genutzt werden. Hier müssen häufig keine spezifischen Sicherheitsstandards eingehalten werden. Zudem gibt es die ungeklärte Frage der Langzeitfolgen, wenn das Gehirn kontinuierlich über einen längeren Zeitraum stimuliert wird, so gibt es beispielsweise Hinweise darauf, dass die Leistungssteigerung in einem spezifischen Gehirnteil auf Kosten der Leistungsfähigkeit in einem anderen Gehirnteil geschieht.
- **Finanzieller Druck:** Im Bereich der Leistungssteigerung wird nicht nur finanziert durch staatliche Institutionen geforscht, sondern auch immer mehr von privaten Firmen, welche sich lukrative Ergebnisse erhoffen. Dadurch entsteht die Gefahr, dass forschungsethische Grundsätze vernachlässigt werden.
- **Sozialer Zwang:** Es besteht die Befürchtung, dass durch eine immer weitere Verbreitung von Neurotechnologien zur Leistungssteigerung z.B. im Bildungsbereich oder Militär zunehmend Druck auf den Einzelnen steigt, ebenfalls Neurotechnologien einzusetzen, um wettbewerbsfähig zu bleiben.
- **Verteilungsgerechtigkeit:** Wenn Neurotechnologien nur einkommensstarken Personengruppen oder Regionen vorbehalten sind, können sich dadurch bestehende Ungleichheiten weiter verstärken.
- **Dual Use:** Wie jede Technologie, die für positive Zwecke entwickelt wurde, können auch Neurotechnologien für nicht intendierte Zwecke missbraucht werden. Durch den möglichen Eingriff direkt in die Gehirnfunktion ist diesem Aspekt aber besondere Beachtung zu schenken.

1.2.2 Beschreibung Nicht-invasive Hirnstimulationstechniken

Techniken der nicht-invasive Hirnstimulation (NIBS) können die Hirnaktivität in bestimmten Bereichen durch elektrische oder magnetische Energie stimulieren. Insbesondere transkranielle Gleichstromstimulation (tDCS) und repetitive transkranielle Magnetstimulation (rTMS) haben in den letzten Jahren große Fortschritte in der Behandlung von zahlreichen neurologischen und psychiatrischen Erkrankungen gemacht, z.B. bei chronischen Schmerzen, kognitiven Beeinträchtigungen oder Depressionen (vgl. [ALB+22], [LAA+17], [FEP+21]). Für die klinische Anwendung sowie die Anwendung im wissenschaftlichen Bereich wurden in der Vergangenheit zahlreiche Sicherheitsrichtlinien entwickelt, sodass NIBS heute als sichere und nebenwirkungsarme Behandlung gilt [Was98], [RHR+09].

Trotz der sicheren Anwendung und nachgewiesenen Wirksamkeit für zahlreiche Krankheitsbilder wird aktuell die Behandlung mit NIBS in den meisten europäischen Ländern (inkl. Deutschland) nicht von den gesetzlichen Krankenversicherungen übernommen [BL17]. Unter anderem auch dadurch hat sich parallel zum medizinischen Bereich ein finanziell lukrativer Markt für tDCS-Geräte für Laien im Heimanwendungsbereich entwickelt, die die Technologie vor allem zur Selbstbehandlung oder kognitiven Leistungssteigerung nutzen [Bou16], [Jwa18]. Der größte Händler für nicht-medizinische Hirnstimulationsgeräte Caputron (New York, USA) gibt an, dass er seine Verkäufe seit der Unternehmensgründung 2014 jedes Jahr um 60-70% steigern konnte und mittlerweile mehrere zehntausend Produkte pro Jahr verkauft [Wal19]. Problematisch ist, dass diese Geräte für den Heimgebrauch häufig keine nachgewiesene Wirksamkeit und Sicherheit haben [WR19] und zudem oft mit missverständlichen Versprechungen beworben werden [CLM+19].

2 Anwendung der multiperspektivischen Vorausschau

2.1 Das Forschungsprojekt STIMCODE

Das Ziel des Forschungsprojekts STIMCODE war, Handlungsempfehlungen für den zukünftigen Umgang mit NIBS in der Europäischen Union zu entwickeln. Das Projekt wurde im Rahmen des Europäischen Fördernetzwerks ERA-NET NEURON durch das BMBF unterstützt. Durchgeführt wurde es durch ein multinationales Forschungskonsortium, bestehend aus dem Fraunhofer IAO (Coordinating Principal Investigator), dem Universitätsklinikum Göttingen, dem Hospital Nacional de Parapléjicos, Toledo und der University of Ottawa durchgeführt. Das Projekt STIMCODE (Laufzeit 2021-2024) wurde in 3 Phasen unterteilt: Phase 1, Vorbereitung durch Literaturrecherche (nicht Bestandteil dieser Veröffentlichung); Phase 2, Multiperspektivische Vorausschau durch ko-kreative (=gemeinschaftliche) und design-basierte Workshops und Phase 3, Ableitung von Handlungsempfehlungen. Der Projektablauf ist in Bild 2 dargestellt.

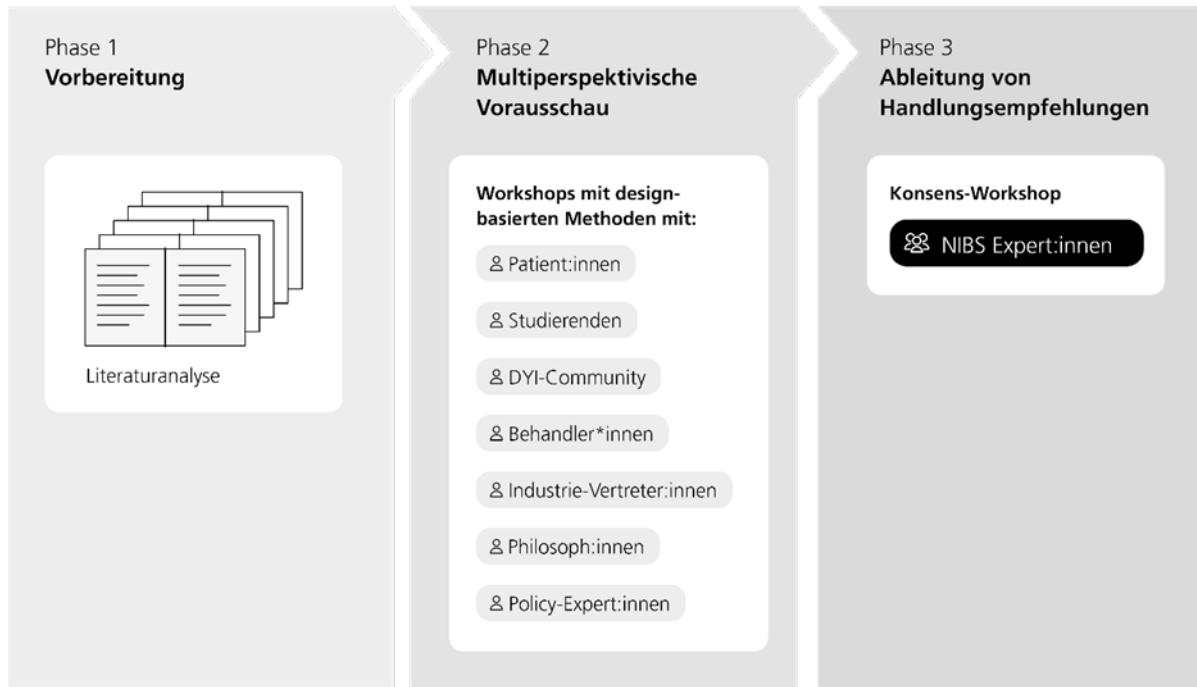


Bild 2: Projektübersicht (eigene Darstellung)

2.2 Ermittlung relevanter Stakeholdergruppen

Die in 1.2.1 beschrieben Chancen und Risiken der Neurotechnologien machen deutlich, welch großes Potential aber auch welch Vielzahl von Risiken es hinsichtlich der Neurotechnologien gibt. Ein Thema, welches so viele medizinische, technische, wirtschaftliche, soziale, regulatorische und philosophische Fragen berührt, erfordert einen besonders diversen Einbezug von Stakeholdergruppen. Zur systematischen Definition der in einem Forschungs- oder Entwicklungsprojekt zu beteiligenden Personen bietet sich eine aufeinander aufbauende Kombination aus unterschiedlichen theoretischen Modellen an – dem Konzept der Systemgrenzen [Mid03], der Quadrupel Helix [CC09] und des Regenbogendiagramms [CB08]. Durch diesen Dreiklang wird sichergestellt, dass das Forschungsfeld zunächst klar umrissen wird, relevante Akteure aus unterschiedlichen Bereichen in Betracht bezogen werden und sich auf die Stakeholder mit größter Betroffenheit/größten Einflussmöglichkeiten konzentriert wird.

2.2.1 Systemgrenzen

Systemgrenzen identifizieren, was in einem Vorausschauprozess inkludiert und exkludiert ist [Mid03]. Die Grenzen können beispielsweise regional (z.B. ein Land vs. eine Stadt), sektorale (z.B. Primärsektor vs. Dienstleistungssektor), institutionell (z.B. Ministerium vs. Stiftung), konzeptuell (natürlich vs. technologisch), technologisch (z.B. magnetische vs. elektrische Stimulation) oder temporal (Gegenwart vs. Zukunft) sein. Sie helfen dabei, das Forschungsfeld so einzuschränken, dass klare und im Vorausschauprozess nutzbare Stakeholdergruppen-Definitionen möglich sind.

2.2.2 Quadrupel Helix

Um bei der Definition der Stakeholdergruppen alle relevanten Bereiche miteinzubeziehen, empfiehlt sich die Nutzung des Quadrupel Helix Modells [CC09]. Dabei handelt es sich um ein Innovationsmodell, welches die Zusammenarbeit und Interaktion zwischen den Hauptakteuren in einem Innovationsprozess beschreibt (vgl. Bild 3): Wissenschaft, Wirtschaft, Regierung und Gesellschaft. Es handelt sich bei dem Modell um eine Weiterentwicklung des Triple-Helix-Modell, das die Beziehung zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Regierung in Innovationsprozessen beschreibt. Durch den Einbezug gesellschaftlicher Akteure in Innovationsprozesse wird deutlich gemacht, dass nachhaltige Innovation nicht nur durch technologischen Fortschritt erreicht werden kann, sondern gesellschaftliche und soziale Faktoren dafür essenziell sind.

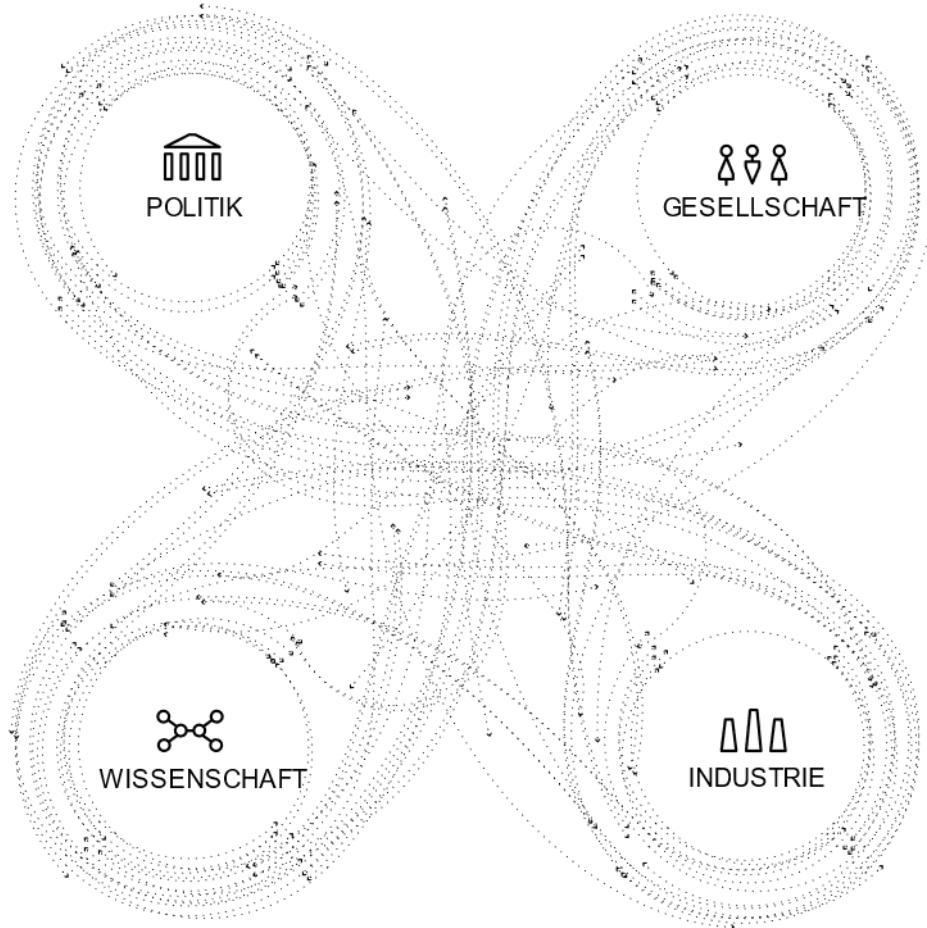


Bild 3: Die Quadrupel Helix adaptiert nach Carayannis und Campbell [CC09]

2.2.3 Regenbogendiagramm

Ein Regenbogendiagramm [CB08] strukturiert die Antworten auf folgende Fragen:

- Welche Stakeholdergruppen sind in welchem Ausmaß von einer Emerging Technology betroffen?
- Welche Stakeholdergruppen nehmen in welchem Ausmaß Einfluss auf eine Emerging Technology?

Im Rahmen einer MPV sollte ein Regenbogendiagramm sowohl für den Status quo befüllt werden als auch Annahmen für zukünftige Verteilungen getroffen werden. Die Stakeholdergruppen, die besonders stark von einer Emerging Technology betroffen sind bzw. besonders stark auf eine Emerging Technology Einfluss nehmen, sollten im Prozess einer multiperspektivischen Vorausschau miteinbezogen werden.

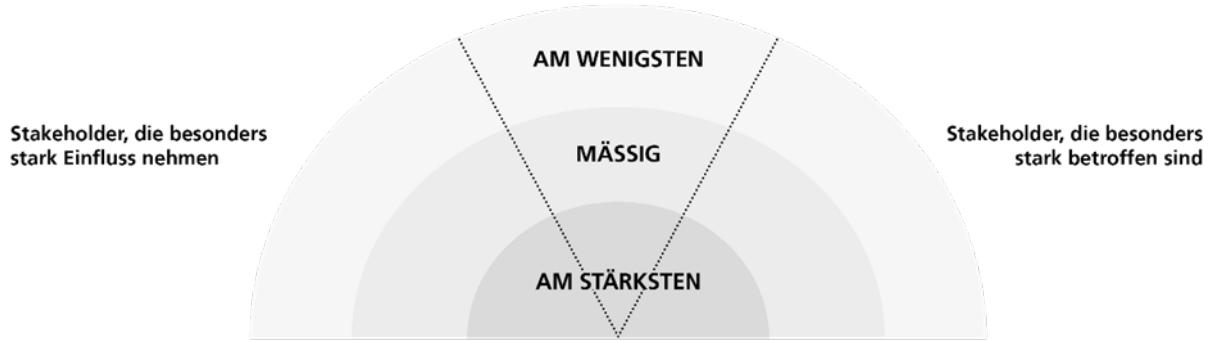


Bild 4: Regenbogendiagramm, adaptiert nach CHEVALIER und BUCKLES [CB08].

2.2.4 Stakeholderzusammensetzung im Projekt STIMCODE

Im Forschungsprojekt STIMCODE wurden sowohl aufgrund technologischer als auch regionaler Grenzen die Stakeholderauswahl eingegrenzt. Es wurde sich auf die Gruppe der NIBS-Techniken fokussiert. Durch die Förderung des Forschungsprojekts im Rahmen einer transnationalen europäischen Forschungsförderung wurde die Europäische Union als regionale Grenze definiert. Trotzdem wurden teilweise international anerkannte Expert*innen aus weiteren Regionen miteinbezogen, sofern diese inhaltlich zur Erarbeitung des Themas in der Europäischen Union einen Beitrag zu leisten hatten.

Bei der weiteren Auswahl der Stakeholdergruppen wurde darauf geachtet, alle Dimensionen der Quadrupel Helix miteinzubeziehen und gleichzeitig die Gruppen miteinzubeziehen, die von NIBS entweder besonders betroffen sind (oder in Zukunft sein werden) oder besonderen Einfluss auf NIBS nehmen.

Im Ergebnis wurden die folgenden Stakeholdergruppen eingeladen am Vorausschauprozess zu NIBS teilzunehmen:

- Patient*innen (Gesellschaftliche Akteure, stark beeinflusst von NIBS)
- Studierende aus Fächern mit starker Prävalenz für kognitive Leistungssteigerung
- (Gesellschaftliche Akteure, zukünftig stark beeinflusst von NIBS)
- Do-it-Yourself Heimnutzer*innen (Gesellschaftliche Akteure, stark beeinflusst von NIBS)
- Anwender*innen (Wirtschaftliche Akteure, stark beeinflusst von NIBS)
- Industrievertreter*innen (Wirtschaftliche Akteure, starker Einfluss auf NIBS)
- Neurophilosoph*innen (Wissenschaftliche Akteure, starker Einfluss auf NIBS)
- Gesetzgeber*innen (Regierungsakteure, starker Einfluss auf NIBS)

2.3 Methoden der multiperspektivischen Vorausschau

Die Zukunftsforschung verwendet eine Vielzahl an multidisziplinären Methoden: „ökometrische Modelle (z.B. Input-Output-Matrizen, W. Leontieffs), spiel- und entscheidungstheoretische Arbeiten (J. von Neumann, O. Morgenstern), statistische Methoden der Zeitreihenanalyse (Nachrichtentechnik) und statistische Regressionsmethoden (Soziologie, Biometrie), Management- und Planungstechniken, Netzplanmethoden und Optimierungsverfahren (Operations Research) und demoskopische Hochrechnungsmethoden“ [Gra15, S. 72].

Hinzu kommen spezifischere Methoden, die direkt aus der Zukunftsforschung entwickelt

oder an die Bedürfnisse der Zukunftsforschung angepasst wurden. Dazu gehören analytische, partizipative, kreative und systemische Methoden [Gra15]: u.a. Causal Layered Analysis [Ina19], [HLK23], die Delphi-Methode [NR19], die Multi-Level Perspektive [Gee11] und Szenariotechnik [KG08].

2.3.1 Methodenauswahl in der MVP

Für den größtmöglichen Erkenntnisgewinn und zur Wahrung forschungsethischer Grundsätze ist es zentral, für die unterschiedlichen Stakeholdergruppen passgenaue Forschungsmethoden auszuwählen. Zentrale Faktoren die dabei beachtetet werden sollten sind Folgende:

- Vorwissen: Die Stakeholdergruppen zeichnen sich oft durch unterschiedliche Expertenvenaus aus. Je nach Gruppe muss daher zielgruppenspezifisch Wissen vermittelt werden. Dabei lassen sich unterschiedliche Gruppen unterscheiden:
- Fachexpert*innen mit sehr tiefem Wissen in einer bestimmten Disziplin (z.B. Neurowissenschaftler*innen, Ingenieur*innen)
- Fachexpert*innen mit Prozesswissen (z.B. Mitarbeitende in Regulierungs- oder Zulassungsbehörden)
- Fachexpert*innen mit fachfremdem Wissen welches auf Forschungsfrage übertragbar gemacht werden soll (z.B. Philosoph*innen bei technischen Fragestellungen)
- Fachexpert*innen mit Anwendungswissen (z.B. berufliche Anwender)
- Alltagsexpert*innen durch eigene Erfahrung (z.B. Nutzer*innen, Patient*innen)
- Alltagsexpert*innen durch beobachtete Erfahrung (z.B. Angehörige)
- Vulnerable Alltagsexpert*innen (z.B. Patient*innen, Kinder)
- Zukünftige Alltagsexpert*innen (Personengruppen bei denen absehbar ist, dass sie in Zukunft eine Technologie nutzen, welche sie aktuell noch nicht nutzen)
- Kognitive Fähigkeiten: Je nach Forschungsfrage können Stakeholdergruppen miteinbezogen werden, welche beispielsweise durch Erkrankungen oder ihr Alter kognitiv eingeschränkt sind. Dies gilt es bei der Konzeption von Forschungserhebungen zu beachten.
- Forschungsethik: Insbesondere bei vulnerablen Stakeholdergruppen muss auf die Angemessenheit der verwendeten Forschungsmethoden geachtet werden. So sollten beispielsweise Patient*innen nicht hinsichtlich ihrer Behandlungsoptionen verunsichert werden oder Kinder und Jugendliche zur Nutzung einer eventuell schädlichen Technologie angestiftet werden.

- Zeit und Budget: Mögliche Forschungsmethoden sind unterschiedlich aufwändig hinsichtlich der notwendigen Vorbereitungs- und Durchführungszeit sowie der verwendeten Materialien. Je nach Zeit- und Kostenrahmen bieten sich manche Forschungsmethoden besser an als andere.

2.3.2 Methodenauswahl im Projekt STIMCODE

Für die unterschiedlichen Stakeholdergruppen wurden unterschiedliche, passgenaue Methoden genutzt, die den Faktoren Vorwissen, kognitive Fähigkeiten, Forschungsethik und Zeit und Budget Rechnung tragen. Aufgrund der internationalen Zusammensetzung der Workshopgruppen, sowie der während der Projektlaufzeit angespannten COVID-19 Pandemiesituation mussten einige Workshops virtuell durchgeführt werden. Alle Workshopmethoden beinhalteten eine inhaltliche Einführung in das Thema der NIBS, um eine gemeinsame Wissensbasis sicherzustellen. Für die unterschiedlichen Stakeholdergruppen wurden folgende Workshopmethoden genutzt:

- Patient*innen (vulnerable Alltagsexpert*innen)
- User Journeys: Diese Methode ist im Service- und User-Experience-Design etabliert und hilft, Interaktionen einer Zielgruppe mit einem Produkt oder einer Dienstleistung zu analysieren [EK16]. Dabei werden emotionale Erlebnisse an verschiedenen Berührungspunkten erfasst, um Herausforderungen und angenehme Momente zu identifizieren und Anforderungen abzuleiten. Im Projekt wurden Patient Journeys durchgeführt, bei denen Patienten ihren Weg zur NIBS-Behandlung und darüber hinaus beschrieben und bewertet haben. Ausgehend von dieser Methode zur Immersion (=“eintauchen“ in bestimmte Situation) wurden mit den Patient*innen Sorgen, Wünsche und Herausforderungen bzgl. zukünftiger Entwicklungen der NIBS erarbeitet.
- Material Thinking: Bei dieser Methode wählen die Teilnehmenden ein Material aus, welches ein spezifisches (zukünftiges) Problem mit NIBS symbolisiert und analysieren das anhand der Materialeigenschaften. Dieser Ansatz fördert neue Gedanken und Assoziationen und hilft, Probleme durch metaphorische Vergleiche besser zu visualisieren und zu beschreiben [SS08]. Ausgehend davon können wünschenswerte Zukunftsszenarien entwickelt werden, die auf die herausgearbeiteten Herausforderungen einzahlen.
- Studierende aus Fächern mit starker Prävalenz für kognitive Leistungssteigerung (potenziell zukünftige Alltagsexpert*innen)
- **Fiktionale Medienbeiträge:** Bei dieser Szenariomethode erstellen die Teilnehmenden fiktive Medienbeiträge, in denen neben dem Szenario selbst insbesondere die Implikationen des Szenarios im Fokus stehen. Zu diesem Zweck werden die Workshop-Teilnehmer zuerst gebeten, ein Szenario in schriftlicher Form zu entwickeln und dann in einem zweiten Schritt ein Vorschaubild (z. B. Titelseite einer Tageszeitung, erste Seite eines wissenschaftlichen Zeitschriftenartikels, Filmplakat) zu verwenden, um eine potenzielle Schlagzeile im Kontext des Szenarios zu erstellen. Durch bewusst provokante Mittel wie populistische Zeitungen oder alarmistische Dokumentationen können Diskussion, Ideation und Antizipation gefördert werden [Vin18].
- Do-it-Yourself Heimnutzer*innen (Alltagsexpert*innen) und Industrievertreter*innen (Fachexpert*innen)

- **Szenarienentwicklung:** Dabei werden die Teilnehmenden aufgefordert mit Hilfe spekulativer Objekte fiktive aber aus ihrer Sicht realistische Szenarien zu entwickeln, um damit Chancen und Risiken herauszuarbeiten und eine Diskussion darüber zu ermöglichen, wie sich wünschenswerte von weniger wünschenswerten Szenarien unterscheiden. Die Heimnutzer*innen hatten hierbei die konkrete Aufgabe sich mit den spekulativen Objekten die ideale Stimulationsumgebung der Zukunft zu erstellen. Industrievertreter*innen hatten die Aufgabe, mit spekulativen Objekten das Hirnstimulationsgerät der Zukunft darzustellen.
- Anwender*innen (Fachexpert*innen mit Anwendungswissen)
- Personaansatz: Dabei handelt es sich um vereinfachte Darstellungen von Interessengruppen, die wesentliche Merkmale und Bedürfnisse betonen [SWJ+22]. Sie helfen im Designprozess, Benutzeranforderungen zu visualisieren und in tägliche Nutzungsszenarien zu übertragen. Basierend auf realen Daten, dienen sie dazu, verschiedene Anforderungen zu adressieren. In unserem Ansatz erstellten Teilnehmenden Personas, die ihnen oder ihren Kollegen ähnelten, um ihre individuelle Position zu reflektieren und daraus Sorgen, Wünsche und Herausforderungen an die weitere Entwicklung von NIBS abzuleiten.
- Neurophilosoph*innen (Fachexpert*innen mit fachfremdem Wissen) und Gesetzgeber*innen (Fachexpert*innen mit Prozesswissen)
- **Kategorisierung:** Mit Hilfe dieser Methode können identifizierte Chancen und Herausforderungen einer technologischen Entwicklung kategorisiert werden. Dies bietet sich insbesondere bei Stakeholdergruppen an, die Fragestellungen auf einer Metaebene beantworten können und breites Wissen aufweisen.

3 Von der multiperspektivischen Vorausschau zu Handlungsempfehlungen

3.1 Nutzbarmachung von Vorausschauergebnissen

Unternehmen und Organisationen verfolgen mit der Durchführung von Vorausschauprozessen meist sehr konkrete Ziele, die sich meist in eine der folgenden Kategorien einordnen lassen [Bec03]:

- Prioritätensetzung: Identifizierung und Anordnung von Forschungs- und Investitionstätigkeiten nach Wichtigkeit
- Richtungsvorgabe: Festlegung der allgemeinen Entwicklungsrichtungen des Unternehmens
- Katalyse von Innovationen: Anregung und Unterstützung des Innovationstransfers
- Antizipation: Erkennen von Marktchancen und -risiken
- Strategieentwicklung: Foresight gestützte Entwicklung einer Unternehmensstrategie

Führen Regierungen Vorausschauprozesse durch, werden meist noch umfassendere Ziele verfolgt [Hab10]:

- Identifikation und Monitoring von wichtigen Trends, Entwicklungen und Herausforderungen
- Erhebung und Untersuchung von Politikherausforderungen

- Erarbeitung einer wünschenswerten Zukunftsvision und daraus abgeleitet möglicherweise nötigen Politikwechseln

Es stellt sich also die Frage, wie die Ergebnisse aus einer MPV in konkrete Ergebnisse überführt werden können. Dabei unterscheiden sich die Prozesse und Herausforderungen von Unternehmen und Regierungen deutlich: Während für Unternehmen im Vordergrund steht, durch die MPV Entscheidungen zu treffen, welche den zukünftigen wirtschaftlichen Erfolg der Organisation sicherstellen, ist die Situation für Regierungen deutlich multidimensionaler. Hier müssen häufig auch widersprüchliche Interessen gegeneinander abgewogen werden, komplexe soziale und ethische Fragen beantwortet werden, wirtschaftliche Umsetzbarkeiten beachtet werden und Mehrheitsverhältnisse miteinbezogen werden. Für die Ableitung von Handlungsempfehlungen bietet es sich hier an, in einem diversen Expert*innengremium die Vorausschauergebnisse zu diskutieren, zu priorisieren und fachlich zu prüfen, um daraufhin Handlungsempfehlungen zu formulieren.

3.2 Praxisbeispiel Handlungsempfehlungsentwicklung im Projekt STIM-CODE

Zur Ableitung von Handlungsempfehlungen im Forschungsprojekt STIMCODE wurde ein internationales Expert*innengremium gebildet, welches sich aus diversen Disziplinen zusammensetzte. Diese Gruppe hat nach intensiver Vorbereitung in einem 2-tägigen Workshop aus den Ergebnissen der MPV Handlungsempfehlungen für verschiedene Adressaten entwickelt.

3.2.1 Teilnehmendenzusammensetzung

Analog zur Ermittlung relevanter Stakeholdergruppen in der MPV wurden Expert*innen identifiziert, die durch unterschiedliche Perspektiven und Expertise im Feld der NIBS für die Formulierung von Handlungsempfehlungen prädestiniert waren. Es wurden insgesamt 15 Expert*innen eingeladen, welche durch Gremienmitgliedschaften oder Vorstandsposten nicht nur ihre Einzelmeinung miteinbrachten, sondern ein weitreichenderes Mandat hatten. Folgende fachliche Hintergründe waren im Expert*innengremium vertreten: Medizin, Patientenvertretung, Biologie, Recht, Innovationsmanagement, Ethik, Philosophie, Wirtschaftswissenschaften und Kommunikationswissenschaften.

3.2.2 Workshopvorbereitung

In Vorbereitung auf den Expert*innenworkshop bekamen alle Teilnehmenden ein Booklet zugesandt, in denen die Knergebnisse aus der MPV überblicksartig dargestellt waren. Zudem wurden die Ergebnisse zu einer Vision als „wünschenswerte Zukunft“ verdichtet, sodass die Bedürfnisse, Wünsche und Befürchtungen der unterschiedlichen Stakeholdergruppen im Expert*innenworkshop zur Ableitung von Handlungsempfehlungen präsent waren.

3.2.3 Workshopdurchführung

In dem zweitägigen Workshop wurden aus den Ergebnissen der Stakeholderworkshops konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet. Nach kurzen Diskussionseinheiten hatten die Teilnehmenden die Möglichkeit, die formulierten Handlungsempfehlungen mit Hilfe von Klebepunkten zu gewichten, zu entfernen oder mit Hilfe von Klebezetteln anzupassen oder zu ergänzen. Mit Hilfe eines strikten Zeitmanagements wurde sichergestellt, dass alle in den Stakeholderworkshops aufgekommenen Themenbereiche ausreichend beachtet wurden. In einem letzten Schritt wurden die formulierten Handlungsempfehlungen daraufhin überprüft, ob sie auf die entwickelte Vision und die Stakeholderworkshopergebnisse einzahlen.

3.2.4 Handlungsempfehlungen

Im Folgenden werden die im Projekt entwickelten Handlungsempfehlungen [MAO+23] übersichtsartig dargestellt. Handlungsempfehlungen an:

- Politische Entscheidungsträger:
 - Einrichtung eines übergeordneten Gremiums auf EU-Ebene für Neurowissenschaften und Neurotechnologie, einschließlich der NIBS
 - Gewährleistung des einheitlichen Zugangs zu sicheren und wirksamen NIBS
 - Stakeholder in die Entscheidungsfindung einbeziehen
 - Datenschutz gewährleisten
- Gesundheitsbehörden:
 - Bereitstellung vertrauenswürdiger Informationen zu NIBS
 - Zusammenarbeit mit übergeordnetem EU-Gremium (s.o.)
 - Überwachung der Qualitätsstandards
- Gesundheitsdienstleister, die NIBS nutzen:
 - Stakeholder in die Therapieplanung einbeziehen
 - Verbesserung der Behandlungsbedingungen
 - Zertifikation anstreben
- Industrie:
 - Entwicklung von NIBS für den Heimgebrauch
 - Entwicklung von NIBS-Kliniken
- Forschende in Industrie und Wissenschaft:
 - Fokussierte Forschung für höhere Wirksamkeit
 - Erforschung von Biomarkern
 - Erforschung von NIBS Geräten für den Heimgebrauch
- Forschungsförderer:
 - Finanzierung von Forschung zur Wirksamkeit, zu Biomarkern und zur Heimanwendung
 - Förderung des Austauschs zwischen Industrie und Wissenschaft
 - Förderung von „open access“ Veröffentlichungen der Ergebnisse
 - Finanzierung von Projekten zur Verbesserung der Ergonomie der NIBS

4 Diskussion

Durch den Einbezug diverser Stakeholdergruppen aus den Bereichen Politik, Gesellschaft, Wissenschaft und Industrie und der Nutzung eines Portfolios an Methoden aus der Zukunftsfor schung lassen sich durch die MPV unterschiedliche Zukünfte identifizieren, so dass sich Unternehmen entsprechend vorbereiten können, bzw. Regierungen entsprechende politische Weichen stellen können. Wir konnten bei der Anwendung der MPV im Projekt STIMCODE zeigen, dass sowohl die Auswahl und Zusammensetzung der teilnehmenden Akteure als auch die auf die einzelnen Stakeholder zugeschnittenen Methoden ein klares Erfolgskriterium bei der Ergebnisentwicklung waren. Die Stakeholder reflektieren alle positiv hinsichtlich der Ergebnis offenheit der Methode und der individuellen Einflussnahme entsprechend ihren Fähigkeiten während des Workshops. Weiterhin konnte durch den Einsatz des Quadruple Helix Modells sichergestellt werden, dass alle betroffenen Stakeholder und ihre Interessen berücksichtigt wurden. Gleichzeitig wurden durch individualisierte Handlungsempfehlungen sichergestellt, dass diese für die Stakeholder relevant, passend und umsetzbar sind.

Gleichzeitig gibt es Herausforderungen bei Anwendung der multiperspektivischen Vorausschau, die bei der Planung beachtet werden sollten. Durch die Vielzahl der einzubindenden Stakeholdergruppen und der teilweise komplexen Workshopmethoden werden im Vergleich zu klassischen Vorausschauprozessen häufig mehr zeitliche und finanzielle Ressourcen benötigt. Durch die Methodenvielfalt, die Selektion der Teilnehmenden durch das MPV-Team und die weitgehend qualitativen Forschungsansätze kann die MPV durch bewusste oder unbewusste Vorannahmen gefärbt sein. Hier ist es notwendig, entweder eine objektive Moderatorenrolle zu bestimmen, die regelmäßig den Prozess und die Ergebnisse reflektiert oder beispielsweise durch Einsatz zusätzlich quantitativer Methoden die Ergebnisse zu überprüfen. Weiterhin kann durch den Einsatz generativer KI-Technologien ein weiterer (objektiver) Stakeholder hinzugezogen werden.

Neben der Nutzung in Unternehmen z.B. für Prioritätensetzung oder Strategieentwicklung ist die MPV insbesondere für die Politikgestaltung ein wirkungsvolles Instrument. In Dokumenten wie den Better Regulation Guidelines der EU [Eur23] wird dem bereits Rechnung getragen, häufig werden allerdings nur aktuell schon betroffene Stakeholder in solche Prozesse involviert und lediglich klassische Konsultations- und Befragungsmethoden genutzt, die nicht die gleiche Inhaltstiefe wie partizipative und kreative Methoden erreichen.

Literatur

- [ALB+22] ANTAL, A.; LUBER, B.; BREM, A.-K.; BIKSON, M.; BRUNONI, A. R.; COHEN KADOSH, R.; DUB-
LJEVIĆ, V.; FECTEAU, S.; FERRERI, F.; FLÖEL, A.; HALLETT, M.; HAMILTON, R. H.; HERRMANN,
C. S.; LAVIDOR, M.; LOO, C.; LUSTENBERGER, C.; MACHADO, S.; MINIUSI, C.; MOLIADZE, V.;
NITSCHE, M. A.; ROSSI, S.; ROSSINI, P. M.; SANTARNECCHI, E.; SEECK, M.; THUT, G.; TURI, Z.;
UGAWA, Y.; VENKATASUBRAMANIAN, G.; WENDEROTH, N.; WEXLER, A.; ZIEMANN, U.; PAULUS,
W.: Non-invasive brain stimulation and neuroenhancement. *Clinical neurophysiology practice*,
(7), 2022, S. 146–165
- [Bec03] BECKER, P.: *Corporate Foresight in Europe: A First Overview*, 2003
- [BGK+21] BÖSCHEN, S.; GRUNWALD, A.; KRINGS, B.-J.; RÖSCH, C.: *Technikfolgenabschätzung – Handbuch für Wissenschaft und Praxis*. Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, Baden-Baden, 2021

- [BL17] BREM, A.-K.; LEHTO, S. M.: Stuck between Bench and Bedside: Why Non-invasive Brain Stimulation Is Not Accessible to Depressed Patients in Europe. *Frontiers in human neuroscience*, (11), 2017, S. 39
- [Bou16] BOURZAC, K.: Neurostimulation: Bright sparks. *Nature*, (531)7592, 2016, S6-8
- [Bun22-ol] BUNDES PSYCHOTHERAPEUTEN KAMMER: Psychisch Kranke warten 142 Tage auf eine Psychotherapie – BPtK zur Befragung des GKV-Spitzenverbandes. Unter: www.bptk.de/pressemitteilungen/psychisch-kranke-warten-142-tage-auf-eine-psychotherapeutische-behandlung/, 31. Juli 2024
- [CB08] CHEVALIER, J. M.; BUCKLES, D. J.: SAS² – A guide to collaborative inquiry and social engagement. Sage, Los Angeles, Calif., 2008
- [CC09] CARAYANNIS, E. G.; CAMPBELL, D. F. J.: "Mode 3" and "Quadruple Helix" – Toward a 21st century fractal innovation ecosystem. *International journal of technology management*, 2009
- [CLM+19] COATES MCCALL, I.; LAU, C.; MINIELLY, N.; ILLES, J.: Owning Ethical Innovation: Claims about Commercial Wearable Brain Technologies. *Neuron*, (102)4, 2019, S. 728–731
- [EK16] ENDMANN, A.; KEßNER, D.: User Journey Mapping – A Method in User Experience Design. *i-com*, (15)1, 2016, S. 105–110
- [EKP+20] ELSNER, B.; KUGLER, J.; POHL, M.; MEHRHOLZ, J.: Transcranial direct current stimulation (tDCS) for improving activities of daily living, and physical and cognitive functioning, in people after stroke. *The Cochrane database of systematic reviews*, (11)11, 2020, CD009645
- [Eur15] EUROPEAN COMMISSION, DIRECTORATE-GENERAL FOR RESEARCH AND INNOVATION: Concurrent design foresight – Report to the European Commission of the Expert Group on foresight modelling, 2015
- [Eur24-ol] EUROPEAN COMMISSION: Mental health. Unter: https://health.ec.europa.eu/non-communicable-diseases/mental-health_en, 31. Juli 2024
- [FEP+21] FREGNI, F.; EL-HAGRASSY, M. M.; PACHECO-BARRIOS, K.; CARVALHO, S.; LEITE, J.; SIMIS, M.; BRUNELIN, J.; NAKAMURA-PALACIOS, E. M.; MARANGOLO, P.; VENKATASUBRAMANIAN, G.; SAN-JUAN, D.; CAUMO, W.; BIKSON, M.; BRUNONI, A. R.: Evidence-Based Guidelines and Secondary Meta-Analysis for the Use of Transcranial Direct Current Stimulation in Neurological and Psychiatric Disorders. *The international journal of neuropsychopharmacology*, (24)4, 2021, S. 256–313
- [Gee11] GEELS, F. W.: The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, (1)1, 2011, S. 24–40
- [GKR24] GRABAAK, J.; KOOMEN, M.; REDDEL, M.: Five Emerging Technologies to Act On Now. ICFG, 2024
- [GKS+21] GOERING, S.; KLEIN, E.; SPECKER SULLIVAN, L.; WEXLER, A.; AGÜERA Y ARCAS, B.; BI, G.; CARMENA, J. M.; FINS, J. J.; FRIESEN, P.; GALLANT, J.; HUGGINS, J. E.; KELLMAYER, P.; MARBLESTONE, A.; MITCHELL, C.; PARENS, E.; PHAM, M.; RUBEL, A.; SADATO, N.; TEICHER, M.; WASERMAN, D.; WHITTAKER, M.; WOLPAW, J.; YUSTE, R.: Recommendations for Responsible Development and Application of Neurotechnologies. *Neuroethics*, (14)3, 2021, S. 365–386
- [Gra15] GRANSCHE, B.: Vorausschauendes Denken – Philosophie und Zukunftsforschung jenseits von Statistik und Kalkül. Edition panta rei, transcript Verlag, Bielefeld, 2015
- [Hab10] HABEGGER, B.: Strategic foresight in public policy: Reviewing the experiences of the UK, Singapore, and the Netherlands. *Futures*, (42)1, 2010, S. 49–58
- [HLK23] HEIDINGSFELDER, M. L.; LOOS, S.; KLUG, K.: Partizipatives Vision-Building – Das Potenzial partizipativer Methoden in der Visionsentwicklung für den Bereich digital-ökologische Transformation, 2023
- [Ina19] INAYATULLAH, S.: Causal Layered Analysis A Four-Level Approach to Alternative Futures – RELEVANCE AND USE IN FORESIGHT. *Futuribles*, 2019

- [Jwa18] JWA, A.: DIY tDCS: a need for an empirical look. *Journal of Responsible Innovation*, (5)1, 2018, S. 103–108
- [KG08] KOSOW, H.; GÄBNER, R.: Methoden der Zukunfts- und Szenarioanalyse – Überblick, Bewertung und Auswahlkriterien. *WerkstattBericht / IZT*, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung Band 103, IZT, Berlin, 2008
- [KV19] KHATIWADA, S.; VELOSO, M. K. M.: New Technology and Emerging Occupations: Evidence from Asia. *Economics Working Papers*, 576, 2019
- [LAA+17] LEFAUCHEUR, J.-P.; ANTAL, A.; AYACHE, S. S.; BENNINGER, D. H.; BRUNELIN, J.; COGIAMANIAN, F.; COTELLI, M.; RIDDER, D. DE; FERRUCCI, R.; LANGGUTH, B.; MARANGOLO, P.; MYLIUS, V.; NITSCHE, M. A.; PADBERG, F.; PALM, U.; POULET, E.; PRIORI, A.; ROSSI, S.; SCHECKLMANN, M.; VANNESTE, S.; ZIEMANN, U.; GARCIA-LARREA, L.; PAULUS, W.: Evidence-based guidelines on the therapeutic use of transcranial direct current stimulation (tDCS). *Clinical neurophysiology official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, (128)1, 2017, S. 56–92
- [MAO+23] MAIER, M. J.; ANTAL, A.; OLIVIERO, A.; BREUER, J.; RAMASAWMY, P.; BAEKEN, C.; HÖLZLE, K.; PAULUS, W.; ROZYNSKA, J.; RYAN, D.; SALARDI, S.; TANKISI, H.; VIDALIS, T.; ZILIO, F.; NORTHOFF, G.: STIMCODE. Fraunhofer-Gesellschaft, 2023
- [Mid03] MIDGLEY, G.: *Science as Systemic Intervention – Some implications of Systems thinking and complexity for the Philosophy of Science*. Pontificia Universidad Javeriana. Departamento de Administración, Colombia, 2003
- [MR17] MÜLLER, O.; ROTTNER, S.: Neurotechnology: Current Developments and Ethical Issues. *Frontiers in systems neuroscience*, (11), 2017, S. 93
- [NJP+22] NING, S.; JORFI, M.; PATEL, S. R.; KIM, D. Y.; TANZI, R. E.: Neurotechnological Approaches to the Diagnosis and Treatment of Alzheimer's Disease. *Frontiers in neuroscience*, (16), 2022, S. 854992
- [NR19] NIEDERBERGER, M.; RENN, O. (HRSG.): *Delphi-Verfahren in den Sozial- und Gesundheitswissenschaften – Konzept, Varianten und Anwendungsbeispiele*. Springer VS, Wiesbaden, 2019
- [OE18] OECD; EUROPEAN UNION: *Health at a Glance: Europe 2018 – State of Health in the EU Cycle*. OECD Publishing, Paris/European Union, Brussels, 2018
- [Pre22-ol] PRECEDENCE RESEARCH: *Neurotechnology Market Size To Hit USD 38.17 Bn By 2032*. Unter: <https://www.precedenceresearch.com/neurotechnology-market>, 25. Juni 2024
- [RE20] RAINY, S.; ERDEN, Y. J.: Correcting the Brain? The Convergence of Neuroscience, Neurotechnology, Psychiatry, and Artificial Intelligence. *Science and engineering ethics*, (26)5, 2020, S. 2439–2454
- [RHR+09] ROSSI, S.; HALLETT, M.; ROSSINI, P. M.; PASCUAL-LEONE, A.: Safety, ethical considerations, and application guidelines for the use of transcranial magnetic stimulation in clinical practice and research. *Clinical neurophysiology official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, (120)12, 2009, S. 2008–2039
- [Rie18] RIEL MILLER: *Introduction Futures Literacy: transforming the future*. In: Miller, R. (Ed.): *Transforming the future – Anticipation in the 21st century*. Routledge Taylor & Francis Group, London, 2018, pp. 1–12
- [RKD+22] ROWALD, A.; KOMI, S.; DEMESMAEKER, R.; BAAKLINE, E.; HERNANDEZ-CHARPAK, S. D.; PAOLES, E.; MONTANARO, H.; CASSARA, A.; BECCE, F.; LLOYD, B.; NEWTON, T.; RAVIER, J.; KINANY, N.; D'ERCOLE, M.; PALEY, A.; HANKOV, N.; VARESCON, C.; MCCRACKEN, L.; VAT, M.; CABAN, M.; WATRIN, A.; JACQUET, C.; BOLE-FEYSOT, L.; HARTE, C.; LORACH, H.; GALVEZ, A.; TSCHOPP, M.; HERRMANN, N.; WACKER, M.; GEERNAERT, L.; FODOR, I.; RADEVICH, V.; VAN DEN KEYBUS, K.; EBERLE, G.; PRALONG, E.; ROULET, M.; LEDOUX, J.-B.; FORNARI, E.; MANDIJA, S.; MATTERA, L.; MARTUZZI, R.; NAZARIAN, B.; BENKLER, S.; CALLEGARI, S.; GREINER, N.; FUHRER, B.; FROELING, M.; BUSE, N.; DENISON, T.; BUSCHMAN, R.; WENDE, C.; GANTY, D.; BAKKER, J.; DELATTRE, V.; LAMBERT, H.; MINASSIAN, K.; VAN DEN BERG, C. A. T.; KA-VOUNOUDIAS, A.; MICERA, S.; VAN DE VILLE, D.; BARRAUD, Q.; KURT, E.; KUSTER, N.; NEUFELD, E.; CAPOGROSSO, M.; ASBOTH, L.; WAGNER, F. B.; BLOCH, J.; COURTINE, G.: *Activity-*

- dependent spinal cord neuromodulation rapidly restores trunk and leg motor functions after complete paralysis. *Nature medicine*, (28)2, 2022, S. 260–271
- [RKF+19] RAPINESI, C.; KOTZALIDIS, G. D.; FERRACUTI, S.; SANI, G.; GIRARDI, P.; DEL CASALE, A.: Brain Stimulation in Obsessive-Compulsive Disorder (OCD): A Systematic Review. *Current neuropharmacology*, (17)8, 2019, S. 787–807
- [SAS22] SHAERI, M.; AFZAL, A.; SHOARAN, M.: Challenges and Opportunities of Edge AI for Next-Generation Implantable BMIs, 2022
- [SEG+20] SINGH, A.; ERWIN-GRABNER, T.; GOYA-MALDONADO, R.; ANTAL, A.: Transcranial Magnetic and Direct Current Stimulation in the Treatment of Depression: Basic Mechanisms and Challenges of Two Commonly Used Brain Stimulation Methods in Interventional Psychiatry. *Neuropsychobiology*, (79)6, 2020, S. 397–407
- [SS08] SANDERS, E. B.-N.; STAPPERS, P. J.: Co-creation and the new landscapes of design. *CoDesign*, (4)1, 2008, S. 5–18
- [Ste97] STEINMÜLLER, K.: Grundlagen und Methoden der Zukunftsforschung, 1997
- [SWJ+22] SALMINEN, J.; WENYUN GUAN, K.; JUNG, S.-G.; JANSEN, B.: Use Cases for Design Personas: A Systematic Review and New Frontiers. In: Barbosa, S. (Ed.): *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '22: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 29 04 2022 05 05 2022, New Orleans LA USA, ACM Digital Library, Association for Computing Machinery, New York, NY, United States, 2022*, pp. 1–21
- [Uta24-ol] UTAH VALLEY UNIVERSITY: Emerging Technologies. Unter: <https://uen.pressbooks.pub/tech1010/chapter/emerging-technologies/>
- [Vin18] VINES, J.: Playing with Provocations. *Funology 2: From Usability to Enjoyment*, 2018, S. 111–128
- [Vor03] VOROS, J.: A generic foresight process framework. *Foresight*, (5)3, 2003, S. 10–21
- [Wal19] WALTZ, E.: The brain hackers. *Nature biotechnology*, (37)9, 2019, S. 983–987
- [Was98] WASSERMANN, E. M.: Risk and safety of repetitive transcranial magnetic stimulation: report and suggested guidelines from the International Workshop on the Safety of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, June 5–7, 1996. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, (108)1, 1998, S. 1–16
- [WR19] WEXLER, A.; REINER, P. B.: Oversight of direct-to-consumer neurotechnologies. *Science* (New York, N.Y.), (363)6424, 2019, S. 234–235

Autoren

Dr. Moritz Julian Maier ist als Senior Researcher am Center for Responsible Research and Innovation tätig. Dort beschäftigt er sich mit partizipativen und strategischen Vorausschauprozessen im Bereich der Emerging Technologies sowie damit verbundenen Transformationsprozessen. Während seiner Promotion an der International Max-Planck-Research-School mit Forschungsaufenthalt an der University of Toronto erforschte er unter anderem die unterschiedlichen Dimensionen prosozialen Verhaltens. Moritz Maier arbeitet seit 2020 bei Fraunhofer und war davor international tätigen Unternehmensberatung im Bereich der Digitalisierungs- und Transformationsbegleitung beschäftigt.

Simone Kaiser ist Leiterin des Center for Responsible Research and Innovation (CeRRI) des Fraunhofer IAO und führt das Team „Gesellschaftliche Trends und Technologie“. Gemeinsam

mit ihrem Team identifiziert sie gesellschaftliche Wünsche und Ansprüche an neuen Technologien und in Transformationsprozessen. Für Akteure aus Wirtschaft, Forschung und Politik entwickelt sie neue Prozesse und Methoden, um Innovationen verantwortlich zu gestalten und sie für die Bewältigung gesellschaftlicher Herausforderungen nutzbar zu machen. Simone Kaiser ist seit 2010 bei Fraunhofer, davor arbeitete sie vier Jahre im Beratungsbereich Innovation, Technologie und Bildung der Prognos AG in Berlin. Sie war von 2020 bis 2022 Co-Leiterin der AG Ethik der Initiative D21 und ist Mitglied im Scientific Advisory Board des World Fund. Simone Kaiser studierte Politik, Soziologie und VWL an den Universitäten Tübingen und Magdeburg.

Kareen Klug ist wissenschaftliche Hilfskraft am Center for Responsible Research and Innovation im Bereich „Co-Design und Transferstrategien“. Neben ihrer langjährigen Erfahrung als Kommunikationsdesignerin im Bereich nachhaltige Unternehmenskommunikation und strategisches Design studiert sie aktuell im interdisziplinären Masterstudiengang „Zukunftsfor- schung“ an der Freien Universität Berlin. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen digitale soziale Innovationen, umweltgerechte Digitalisierung, Transformationsdesign, co-kreative Methoden und Prozesse für eine nachhaltige Entwicklung sowie im digitalen Humanismus.

Prof. Dr. Katharina Hölzle ist seit April 2022 Professorin und Leiterin des Instituts für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart sowie Institutsleiterin des Fraunhofer Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. Zuvor war sie Professorin am Hasso-Plattner-Institut der Universität Potsdam. Seit April 2023 ist sie Technologiebeauftragte der Wirtschaftsministerin Baden-Württembergs. Frau Prof. Hölzle war von 2018 bis 2022 stellvertretende Vorsitzende der Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) sowie Mitglied des Hightech-Forums der Bundesregierung. Sie ist Mitglied bei acatech, der deutschen Akademie der Technikwissenschaften. Ihre Forschungsgebiete sind Technologie- und Innovationsmanagement, Arbeitswissenschaft und die digitale Transformation. Ein Schwerpunkt ist dabei immer die Interaktion Mensch – Technologie– Organisation und die Bedeutung des Menschen in der Technologieentwicklung und -anwendung.

Leitfaden für die Konzipierung und Umsetzung von digitalen grünen Zwillingen

**Malte Trienens¹, Luca Schröder¹, Wissam Halawi¹,
Aschot Hovemann¹, Roman Dumitrescu^{1,2}**

¹ *Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM, malte.trienens@iem.fraunhofer.de, luca.schroeder@iem.fraunhofer.de, wissam.halawi@iem.fraunhofer.de, aschot.hovemann@iem.fraunhofer.de*

² *Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Advanced Systems Engineering, roman.dumitrescu@hni.upb.de*

Zusammenfassung

In Zeiten wachsender ökologischer Herausforderungen und zunehmender gesellschaftlicher Verantwortung rückt Nachhaltigkeit in den Fokus unternehmerischer Strategien. Digitale Zwillinge, d.h. virtuelle Abbilder physischer Systeme, haben sich als Schlüsseltechnologie zur Optimierung von Prozessen und Ressourcen erwiesen. Dieser Leitfaden bietet einen Ansatz zur Erstellung digitaler grüner Zwillinge, die speziell auf Nachhaltigkeitsziele ausgerichtet sind. Der Leitfaden besteht aus drei Hauptschritten. Zunächst wird die Bedeutung von Nachhaltigkeit für das Unternehmen beleuchtet. In diesem Abschnitt geht es darum, relevante Nachhaltigkeitstreiber und -potenziale zu identifizieren und nachhaltigkeitsrelevante Anwendungsfälle zu entwickeln. Der zweite Schritt widmet sich dem Management eines digitalen grünen Zwillings. Hier werden die unternehmensspezifischen Ziele eines digitalen grünen Zwillings definiert und insbesondere der Nutzen des digitalen grünen Zwillings betrachtet. Zur erfolgreichen Zielerreichung benötigt der digitale grüne Zwillings nachhaltigkeitsrelevante Daten, die im zweiten Schritt definiert werden. Der dritte Abschnitt beschreibt detailliert das Design und die Implementierung eines digitalen grünen Zwillings. Dieser Teil des Leitfadens befasst sich mit der prototypischen Umsetzung eines Digitalen Zwillings, einschließlich der Auswahl geeigneter Technologien und Werkzeuge sowie der Identifikation relevanter Schnittstellen. Ein Fallbeispiel und Best Practices veranschaulichen die praktische Anwendung und den Nutzen eines digitalen grünen Zwillings. Der Leitfaden richtet sich an Unternehmen, die Nachhaltigkeitspotenziale insbesondere in der Nutzungsphase eines Systems durch den Einsatz fortschrittlicher Technologien optimieren wollen. Der digitale grüne Zwillings erweitert durch ökologischen Ziele den angestrebten ökologischen Erfolg eines Unternehmens.

Schlüsselworte

Nachhaltigkeit, Kreislaufwirtschaft, Digitaler Zwillings, Digitaler Grüner Zwillings

Guideline for the design and implementation of digital green twins

Abstract

In times of growing environmental challenges and increasing social responsibility, sustainability is at the heart of corporate strategies. Digital twins, virtual images of physical systems, have emerged as a key technology for optimizing processes and resources. This guide provides an approach to creating digital green twins that are specifically aligned with sustainability goals. The guide consists of three main steps. First, the importance of sustainability to the organization is highlighted. In this section, relevant sustainability drivers and potentials are identified, and sustainable use cases are developed. The second step is dedicated to the management of a digital green twin. Here, the company-specific goals of a digital green twin are defined and, in particular, the benefits of the digital green twin are considered. To successfully achieve its goals, the digital green twin requires sustainability data, which is defined in the second step. The third section describes the design and implementation of a digital green twin in detail. This part of the guide deals with the prototypical implementation of a digital twin, including the selection of appropriate technologies and tools and the identification of relevant interfaces. A case study and best practices illustrate the practical application and benefits of a digital green twin. The guide is aimed at companies that want to use advanced technologies to optimize the sustainability potential of a system, particularly in the use phase. The digital green twin not only contributes to the achievement of environmental goals, but also considers economic success.

Keywords

Sustainability, circular economy, digital twin, digital green twin

1 Einleitung

Nachhaltigkeit ist für Unternehmen ein zentrales Handlungsfeld für einen umweltgerechten und verantwortungsvollen Umgang mit den vorhandenen Ressourcen. Nachhaltigkeit bedeutet dabei mehr, als sich für Umweltschutz und gegen Ressourcenverschwendungen einzusetzen. Nachhaltigkeit bedeutet nicht zwangsläufig Verzicht [SGH+21], [OMF23]. Die Digitalisierung bietet immer wieder Potenziale, um durch technologische Innovationen ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit zu erreichen. So können Unternehmen mit Hilfe digitaler Technologien den Zielkonflikt zwischen Nachhaltigkeitsanforderungen, notwendiger Wirtschaftlichkeit und Attraktivität am Markt lösen. Eine Verknüpfung der beiden Megatrends Digitalisierung und Nachhaltigkeit ist zwingend erforderlich [DAR+21], [TRK+24]. Besondere Potenziale für die Gestaltung nachhaltiger Produkte und Dienstleistungen bietet in diesem Zusammenhang der digitale Zwilling. Der digitale Zwilling ist ein digitales Abbild eines Produktes, das ausgewählte Informationen über den gesamten Lebenszyklus für verschiedene Anwendungen erfasst, aufbereitet und vernetzt [Ind23].

Bei produzierenden Unternehmen kann die gesamte Wertschöpfung unter den Aspekten der Digitalisierung und Nachhaltigkeit gestaltet werden. Hierbei ist der gesamte Lebenszyklus (von der ersten Idee bis zur Entsorgung) von Produkten als Erzeugnisse der unternehmerischen Wertschöpfung zu berücksichtigen (vgl. Bild 1). Im Sinne der Kreislaufwirtschaft (Circular Economy) berücksichtigen Vorreiterunternehmen bereits bei der Produktplanung, dass Produkte während ihrer Nutzung kontinuierlich weiterentwickelt und optimiert werden oder nach ihrer Nutzung z. B. als Sekundärrohstoffe oder wiederaufbereitete Module erneut in den Produktionskreislauf zurückgeführt werden können [ABD+10].

Nachhaltigkeit und der **Digitale Zwilling** berücksichtigen alle Phasen des Lebenszyklus eines Produkts



Bild 1: Berücksichtigte Phasen im Produktlebenszyklus

Kernstück der Publikation ist ein Leitfaden zur Erstellung von digitalen grünen Zwillingen für produzierende Unternehmen. Dieser soll Unternehmen dabei unterstützen, eine nachhaltige Transformation von komplexen Systemen mit digitalen Zwillingen zu ermöglichen. Die einzelnen Schritte des Leitfadens stellen einen Handlungsrahmen für Unternehmen dar, der sowohl technologische als auch organisatorische Fragestellungen berücksichtigt. Der entwickelte Leitfaden wurde anhand des Anwendungsbeispiels einer industriellen Waschstraße evaluiert und iterativ weiterentwickelt.

2 Methodisches Vorgehen

In diesem Abschnitt wird der methodische Ansatz zur Erstellung eines Leitfadens für die Entwicklung digitaler grüner Zwillinge beschrieben. Die zugrunde liegende Methode basiert auf

der Design Science Research Methodology (DSRM) nach PEFFERS ET AL. [PTR+07]. Die DSRM eignet sich insbesondere für die systematische Entwicklung und Evaluation von Artefakten, die zur Lösung komplexer Probleme in der Informationssystemforschung beitragen und wird in Bild 2 vorgestellt.

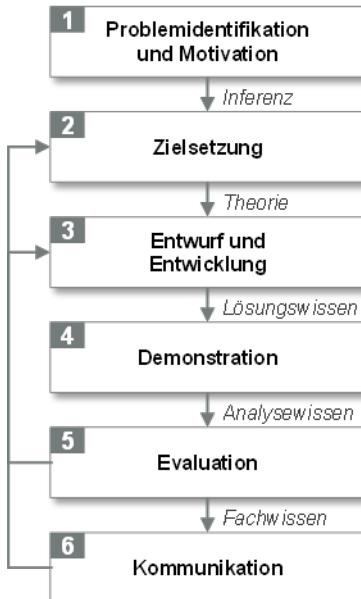


Bild 2: *Prozessmodell der DSRM nach PEFFERS ET AL. [PTR+07]*

Die DSRM umfasst sechs wesentliche Schritte, die iterativ durchlaufen werden können. Jeder dieser Schritte wird im Folgenden näher erläutert und auf die spezifische Anwendung der Erstellung von digitalen grünen Zwillingen übertragen. Der **erste Schritt** „Problem-identifikation und Motivation“ befasst sich mit der Identifikation des spezifischen Forschungsproblems und der Notwendigkeit einer Lösung. Zentrale Herausforderungen, wie die Reduktion von Emissionen während der Produktions- und Betriebsphase oder die Steigerung der Ressourceneffizienz, erfordern neue Technologien und Lösungen zur Unterstützung der produzierenden Industrie. Für ein detailliertes Verständnis wurde zunächst eine systematische Literaturrecherche (SLR) durchgeführt, die das Potenzial der digitalen Zwillingstechnologie aufzeigt. Die Publikationen zeigen einen Handlungsbedarf bei der Konzeption und Implementierung von digitalen Zwillingen im Nachhaltigkeitskontext auf. [TRK+24] Im **zweiten Schritt** „Definition des Gestaltungsziels“ werden die Ziele und Anforderungen an die Lösung festgelegt. Ein Auszug der Anforderungen ist in Tabelle 1 aufgelistet. Der Leitfaden zur Erstellung von digitalen grünen Zwillingen muss sowohl funktionale Anforderungen wie die technologische Umsetzung und die Integration in die unternehmensspezifische IT-Infrastruktur, als auch nicht-funktionale Anforderungen, wie die Identifikation von Nachhaltigkeitstreibern und nachhaltigen Geschäftsmodellen, beinhalten.

Tabelle 1: Anforderungen an den Leitfaden für die Erstellung digitaler grüner Zwillinge

| Funktionale Anforderungen | Nicht-Funktionale Anforderungen |
|--|---|
| IT-Infrastruktur analysieren | Definition eines digitalen grünen Zwillinge |
| Funktionen des digitalen Zwillinge ermitteln | Nachhaltigkeitstreiber & -potenziale erkennen |
| Architektur/Datenmodell erarbeiten | Nachhaltige Anwendungsfälle identifizieren |
| Dashboards implementieren | Zielbild definieren |
| Trends aktueller digitaler Zwillingstechnologien analysieren | Nachhaltige Geschäftsmodelle ermöglichen |
| [...] | [...] |

Im **dritten Schritt** der Methodik wird das Lösungsartefakt entwickelt. Das zu betrachtende Lösungsartefakt ist der Leitfaden zur Erstellung von digitalen grünen Zwillingen. In einem iterativen Prozess werden die einzelnen Schritte des Leitfadens entwickelt, die für die Erstellung von digitalen grünen Zwillingen relevant sind. Eine detaillierte Beschreibung des Leitfadens findet sich in Kapitel 4. Für den **vierten Schritt** „Demonstration“ werden die erarbeiteten Schritte des Leitfadens mit einem Anlagen- und Maschinenbauer anhand eines ersten Prototyps umgesetzt. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen direkt in den Leitfaden ein, um notwendige Anpassungen vorzunehmen. Die Evaluation des Leitfadens im **fünften Schritt** der DSRM-Methode erfolgt in zwei Phasen. Zum einen dienen die in Schritt zwei definierten Anforderungen als Bewertungsgrundlage für den Erfolg des entwickelten Leitfadens. Zum anderen werden die definierten Leistungsindikatoren für die prototypische Umsetzung analysiert, um die Effektivität des digitalen Zwillinge zu bewerten. Der **sechste Schritt** der Methode befasst sich mit der Kommunikation des Leitfadens. Hierzu wird neben der Dokumentation des Leitfadens ein Informationscockpit in Form einer Website erstellt. Darüber hinaus werden Quick Checks mit interessierten Unternehmen in Form von Workshops durchgeführt.

3 Stand der Technik

Der aktuelle Zusammenhang zwischen Nachhaltigkeit und Digitalisierung spiegelt sich in den aktuellen Strategien der Europäischen Union wider. Dort wird auf die „twin transition“ oder „twin challenge“ verwiesen, die die Herausforderung bezeichnet, die grüne und die digitale Transformation parallel zu bewältigen und voranzutreiben. Die Digitalisierung wird als zentraler Enabler für nachhaltige Strategien und Instrumente gesehen, gleichzeitig benötigt sie große Mengen an Energie und kritischen Rohstoffen und erzeugt einen sehr problematischen und schnell wachsenden Abfallstrom. Besonders kritisch für die Umsetzung der Circular Economy ist die Digitalisierung. Denn Strategien und Geschäftsmodelle der Kreislaufwirtschaft, wie vorausschauende Wartung, Wiederaufbereitung und Recycling, benötigen sehr viele Informationen, um effizient zu funktionieren. Kreislaufwirtschaftliche Ansätze benötigen Informationen über den Standort, die Verfügbarkeit, die Zusammensetzung und den Zustand von Produkten, Komponenten und Materialien. Eine effektive Kaskadierung oder Verlängerung des Lebenszyklus ist die Folge. Der Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft erfordert eine verbesserte Koordination der Material- und Informationsflüsse über die gesamte Lieferkette hinweg. Daher

wird erwartet, dass Daten und Analytik die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft auf ein bisher nicht erreichtes Niveau heben werden. [BLK+20]

3.1 Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit ist zu einem zentralen Thema für Unternehmen, Regierungen und die Gesellschaft geworden. Nachhaltigkeit bezieht sich auf eine moralische Handlungsweise und im Idealfall auf ein Verhalten, bei dem der Einzelne oder eine Gruppe versucht, negative Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft zu vermeiden. [BGH+11]. Wie in Bild 3 dargestellt, wird Nachhaltigkeit in die drei Dimensionen ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeit unterteilt. Diese drei Dimensionen werden auch als Triple Bottom Line (Profit, Planet, People) oder als die drei E's der Nachhaltigkeit (Economy, Ecology, Equity) bezeichnet. Ökonomische Nachhaltigkeit ist die Grundlage jedes Geschäftsmodells. Keine Organisation (Unternehmen, Staat oder Gesellschaft) sollte wirtschaftlich über ihre Verhältnisse leben, da dies unweigerlich zu Lasten zukünftiger Generationen geht. Ökologische Nachhaltigkeit bedeutet, ressourcen- und umweltschonend zu wirtschaften. Soziale Nachhaltigkeit ist der verantwortungsvolle Umgang mit allen an einem Prozess beteiligten Menschen mit dem Ziel, soziale Spannungen und Konflikte friedlich und zivil zu lösen. [SPB+18]



Bild 3: Die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit nach [SPB+18]

3.2 Digitaler Zwilling

Ein digitaler Zwilling ist eine virtuelle Instanz eines physischen Systems, die während des gesamten Lebenszyklus des physischen Systems kontinuierlich mit dessen Nutzungs-, Instandhaltungs- und Zustandsdaten aktualisiert wird [MML19]. Die Konzeptualisierung des digitalen Zwillings geht auf GRIEVES an der University of Michigan im Jahr 2002 zurück [Gri02]. In der wissenschaftlichen Literatur findet sich eine Vielzahl von Definitionen des Begriffs. So hat die NASA (National Aeronautical Space Administration) im Jahr 2010 eine Definition veröffentlicht. Hier wird der digitale Zwilling als eine integrierte probabilistische Multiphysik-Simulation eines Fahrzeugs oder Systems im Ist-Zustand beschrieben, die die besten verfügbaren physikalischen Modelle, Sensor-Updates, Flottenhistorie usw. nutzt, um die Lebensdauer des entsprechenden fliegenden Zwillings zu reproduzieren [SCD+10]. Obwohl seit der initialen Definition im Jahr 2012 eine Vielzahl an weiteren Definitionen publiziert wurde, besteht nach wie vor der Konsens darüber, dass es keine grundlegende oder bedeutsame Modifikation gibt. In

diesem Zusammenhang sind auch die Begriffe „digitales Modell“ und „digitaler Schatten“ relevant. Ein digitales Modell stellt eine digitale Version eines bestehenden oder geplanten physischen Objekts dar, wobei kein automatischer Datenaustausch zwischen dem physischen und dem digitalen Modell vorgesehen ist. Ein digitaler Schatten ist dadurch gekennzeichnet, dass ein einseitiger Fluss zwischen dem physischen und dem digitalen Objekt stattfindet. Wenn die Daten zwischen dem physischen und dem digitalen Objekt integriert sind und in beide Richtungen fließen, spricht man von einem digitalen Zwilling. [FFD+20]

3.3 Abgrenzung Digitaler Zwilling – Digitaler Grüner Zwilling

Wie in Abschnitt 3.2 erläutert, ist ein digitaler Zwilling eine virtuelle Instanz eines physischen Systems, die während des gesamten Lebenszyklus des physischen Systems kontinuierlich mit dessen Nutzungs-, Instandhaltungs- und Zustandsdaten aktualisiert wird [MML19]. Der digitale grüne Zwilling (DGZ) erweitert den digitalen Zwilling um den Nachhaltigkeitsaspekt. Er enthält und verknüpft virtuelle Modelle und Daten, die alle wichtigen Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekte aus den verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus abdecken. Ziel des DGZ ist es, Nachhaltigkeitspotenziale transparent darzustellen, Verwertungsprozesse zu optimieren und Optimierungspotenziale zu identifizieren [MGP+21].

Wie in Bild 4 dargestellt, ermöglicht der digitale grüne Zwilling eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten. Die Rückkopplung von Betriebsdaten in die Produktentwicklung gestattet eine kontinuierliche Optimierung des Produkts. Zudem kann der digitale grüne Zwilling bei der Erfassung und Optimierung des Carbon Footprint unterstützen und auf Basis der Materialinformationen geeignete Recyclingmethoden für das Produkt zur Verfügung stellen. Dies verdeutlicht die Relevanz des digitalen grünen Zwillings als Werkzeug und Treiber für eine nachhaltigere Produktentstehung.

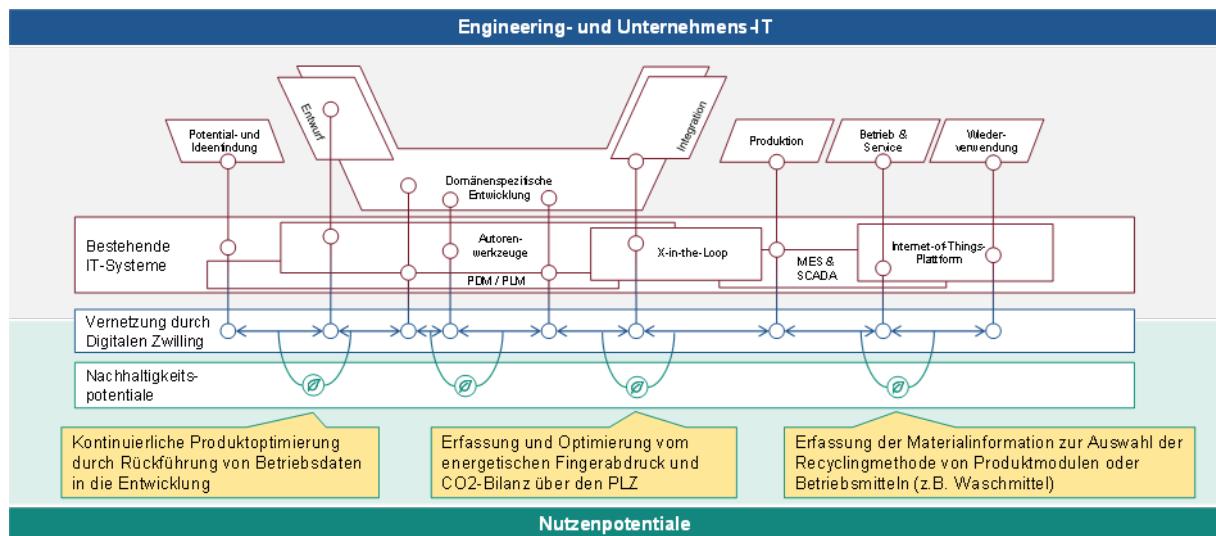


Bild 4: Nutzenpotenziale von digitalen grünen Zwillingen

3.4 Bestehende Ansätze für die Erstellung digitaler Zwillinge

In der Literatur lassen sich erste Ansätze zur Einführung und Umsetzung digitaler Zwillinge ausfindig machen. FOLLATH ET AL. beschreiben ein Prozessmodell für die Erstellung von digitalen Zwillingen für Produktion und Logistik. Im ersten Schritt erfolgt die Ermittlung der Ist-Situation in Form eines Use Cases, welcher im Anschluss nach Hierarchieebenen und Lebenszyklusphasen kategorisiert wird. In weiteren Schritten erfolgt die Beschreibung der anwendungsfallspezifischen Daten und anderer digitaler Modelle, deren Bewertung hinsichtlich ihrer Qualität sowie die Identifikation der notwendigen Schnittstellen und Werkzeuge zwischen dem physischem und digitalen Zwilling. Nach der Modellierung des digitalen Zwillinges erfolgt dessen Evaluierung und Anwendung im Rahmen der Erstanwendung [FBG22]. Ein weiteres Vorgehen wird in Form eines Leitfadens präsentiert, welcher die daten- und simulationsgestützte Gestaltung und Einführung von digitalen Zwillingen in der Produktentwicklung thematisiert. Zu Beginn des Prozesses erfolgt eine Situationsanalyse, welche anhand von Anwendungsfällen die Erwartungen und Herausforderungen identifiziert und widerspiegelt. Im Anschluss werden die Anwendungsfälle hinsichtlich der Chancen und Risiken bewertet und der Nutzen abgeschätzt. Basierend auf den Ergebnissen werden die Anforderungen an einen digitalen Zwilling abgeleitet. In einem letzten Schritt wird der digitale Zwilling implementiert und getestet [TMM+23]. Ein Ansatz für die Nutzung digitaler Zwillinge für die Steigerung von Nachhaltigkeit ist in der Literatur nicht zu finden.

4 Leitfaden für die Erstellung Digitaler Grüner Zwillinge

Der entwickelte Leitfaden gibt einen anwendungsorientierten Handlungsrahmen für die Gestaltung von digitalen grünen Zwillingen vor. Der Handlungsrahmen adressiert technische und organisatorische Fragestellungen und zeigt auf, welchen Stakeholder-spezifischen Nutzen ein digitaler Zwilling für die Erreichung von Nachhaltigkeitszielen bietet. Der Leitfaden besteht aus drei übergeordneten Schritten, die im Folgenden detailliert beschrieben werden und in Bild 5 dargestellt sind

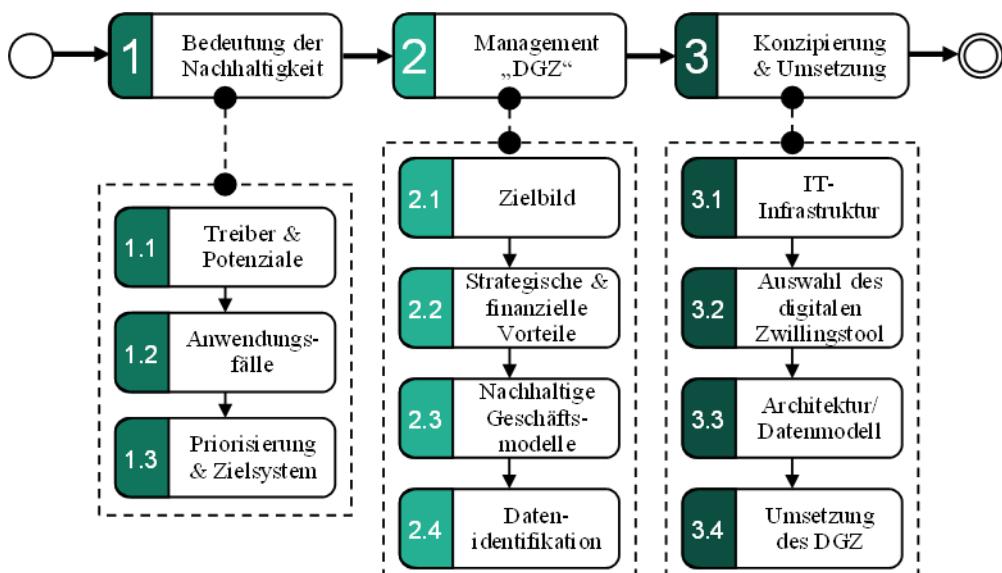


Bild 5: Prozessmodell des Leitfadens für die Erstellung digitaler Zwillinge

Schritt 1: Erarbeitung der Bedeutung der Nachhaltigkeit

Im ersten Teilschritt des Vorgehens wird die Bedeutung von Nachhaltigkeit für das Unternehmen ermittelt. In Schritt 1.1 erfolgt eine Analyse der wesentlichen Nachhaltigkeitstreiber und -potenziale. Dabei wird zwischen ökologischen, ökonomischen und politisch/gesetzlichen Nachhaltigkeitstreibern unterschieden. Ökologische Treiber sind Faktoren, die Unternehmen beeinflussen, ihre Geschäftsmodelle und Prozesse so zu gestalten, dass die Umwelt geschont und natürliche Ressourcen nachhaltig genutzt werden. Diese Treiber umfassen die Notwendigkeit, Treibhausgasemissionen zu reduzieren, Abfall und Umweltverschmutzung zu minimieren, Biodiversität zu fördern und Wasser und andere natürliche Ressourcen nachhaltig zu nutzen. Ökonomische Treiber veranlassen Unternehmen, wirtschaftliche Nachhaltigkeit anzustreben, indem sie langfristige finanzielle Stabilität und Rentabilität sicherstellen. Dazu gehören die Optimierung der Ressourcennutzung, die Verbesserung der Energieeffizienz, die Senkung der Betriebskosten durch nachhaltige Praktiken und die Schaffung von Wettbewerbsvorteilen durch Innovation und nachhaltige Produkte. Diese Treiber zielen darauf ab, die wirtschaftliche Leistung zu maximieren, ohne die Fähigkeit zukünftiger Generationen zu gefährden, ihre Bedürfnisse zu befriedigen. Politische oder gesetzliche Treiber sind Bedingungen und Regelungen, die von Regierungen oder internationalen Organisationen festgelegt werden, um eine nachhaltige Entwicklung zu fördern. Dazu gehören Umweltgesetze, Emissionsvorschriften, Steueranreize für nachhaltige Praktiken, Subventionen für grüne Technologien und internationale Abkommen wie das Pariser Klimaabkommen. Politische Maßnahmen können Unternehmen dazu zwingen oder dazu anregen, nachhaltigere Geschäftsmodelle einzuführen und so zur Erreichung globaler Nachhaltigkeitsziele beitragen. Dabei wird der gesamte Wertschöpfungsprozess von der Idee über die Entwicklung und Produktion bis hin zum End-of-Life betrachtet (siehe Bild 6). Auf Basis der identifizierten Treiber werden Potenziale sowohl für die Produkte als auch für die Unternehmen entwickelt. Die identifizierten Potenziale berücksichtigen sowohl individuelle Nachhaltigkeitsziele als auch Strategien, die zukünftig bewusst als Innovations- und Qualitäts- treiber dienen. Zur Darstellung der ökologischen, ökonomischen und politisch-gesetzlichen Treiber sowie der daraus resultierenden Potenziale kann eine Potenziallandkarte (vgl. Bild 11) verwendet werden. Basierend auf den untersuchten Nachhaltigkeitstreibern und -potenzialen werden in Schritt 1.2 generische Anwendungsfälle für den Einsatz eines DGZ abgeleitet und deren unternehmens- und kundenspezifischer Nutzen untersucht. Die gefundenen Anwendungsfälle werden anschließend entsprechend der drei Nachhaltigkeitstreiber sowie der Produktlebenszyklusphasen des physischen Zwillings eingeteilt. So kann der digitale grüne Zwillling beispielsweise dazu dienen, den Ressourceneinsatz in der Betriebsphase zu optimieren und gleichzeitig die Betriebskosten zu senken. Ein weiterer Anwendungsfall kann die Unterstützung von Unternehmen bei der Erfüllung von Berichtspflichten zur Erfüllung gesetzlicher Treiber sein. Schritt 1.3 bezieht sich auf die Definition eines Pilotprojekts und die Priorisierung von Anwendungsfällen dafür. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Produkte unterschiedliche Nachhaltigkeitsauswirkungen haben und die Datenlage und -qualität heterogen ist.

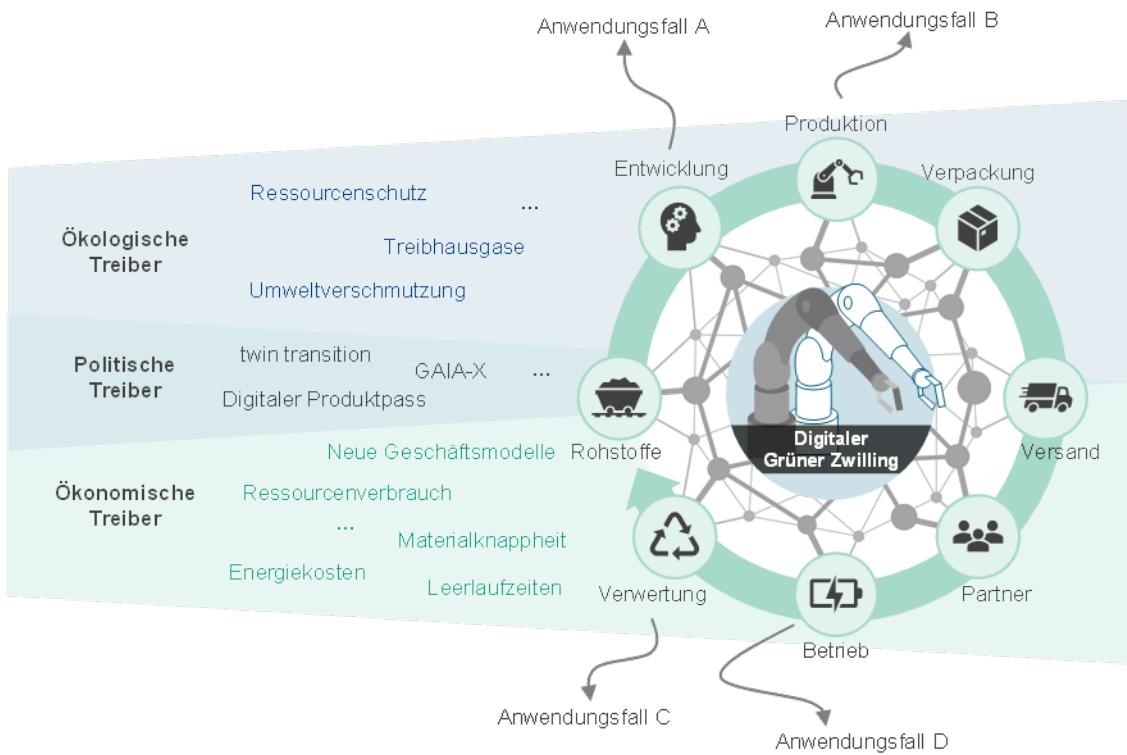


Bild 6: Nachhaltigkeitstreiber & -potenziale führen zu einer Vielzahl möglicher Anwendungsfälle für digitale grüne Zwillinge

Schritt 2: Management des digitalen grünen Zwillings

Der zweite Teil des Leitfadens konzentriert sich auf das Management eines DGZ: (1) Erstellung eines Zielbildes eines digitalen grünen Zwillings, (2) Ableitung strategischer und finanzieller Vorteile, (3) Entwicklung nachhaltiger Geschäftsmodelle und (4) Analyse notwendiger Nachhaltigkeitsdaten.

1) Erstellung eines Zielbildes eines digitalen grünen Zwillings

Die Erstellung des Zielbildes erfolgt in fünf Schritten, die in Bild 7 dargestellt sind. Im ersten Schritt wird die Ausgangssituation betrachtet. Hierbei werden die bereits vorhandenen Umweltaspekte und Treiber herangezogen, um daraus das Ziel des DGZs zu entwickeln. Anschließend erfolgt die Identifikation des Zielsystems. Nach der Definition des Zielsystems können relevante nachhaltige Anwendungsfälle identifiziert und analysiert werden. Auf Basis der Anwendungsfälle werden sinnvolle Teilziele für die Erstellung eines DGZ abgeleitet. Anschließend werden relevante Stakeholder und Interessensgruppen identifiziert. Dabei wird zwischen externen und internen Stakeholdern unterschieden. Ziel ist es, deren Interessen, Erwartungen und Ziele zu definieren. Im nächsten Schritt werden klare, messbare Leistungsindikatoren (KPIs) für den DGZ definiert. Dabei wird zwischen nachhaltigen KPIs, wie z.B. der Reduktion von CO2-Emissionen, und ökonomischen KPIs, wie z.B. die Betriebskosten einer Maschine oder Anlage, unterschieden. Im letzten Schritt der Zielbilderstellung werden die notwendigen Maßnahmen zur Umsetzung des digitalen grünen Zwillings definiert. Hierzu sind jeweils eine Planung und ein Design des DGZ sowie dessen Implementierung erforderlich. Im Rahmen der Planung und Konzeption ist zunächst zu klären, welche Technologie am besten geeignet ist,

wie die IT-Architektur aufgebaut werden soll, welche Daten und Informationen benötigt werden und welche Schnittstellen relevant sind. Im Rahmen der Implementierung des digitalen Zwillings ist eine Modellierung des physischen Systems erforderlich. Darüber hinaus müssen die notwendigen Analysen und Simulationen implementiert und eine benutzerfreundliche Oberfläche erstellt werden. Die erarbeitete Roadmap wird anhand der folgenden Schritte des Leitfadens detailliert betrachtet.



Bild 7: Teilschritte zur Zielbilderstellung eines digitalen grünen Zwillings

2) Ableitung strategischer und finanzieller Vorteile

Im zweiten Schritt erfolgt die Ableitung des strategischen und finanziellen Nutzens durch einen DGZ. Es wird analysiert, welche Stakeholder von der Umsetzung profitieren können. Darüber hinaus wird untersucht, ob eine Verbesserung bestehender Prozesse möglich ist. Die Mendelow-Stakeholder-Matrix [Men81] bietet ein Werkzeug zur Analyse der Stakeholder, die von einem DGZ profitieren und ist in Bild 8 dargestellt. Sobald die Stakeholder und die Prozesse identifiziert sind, können die strategischen und finanziellen Vorteile mit Hilfe von Interviews abgeleitet werden.

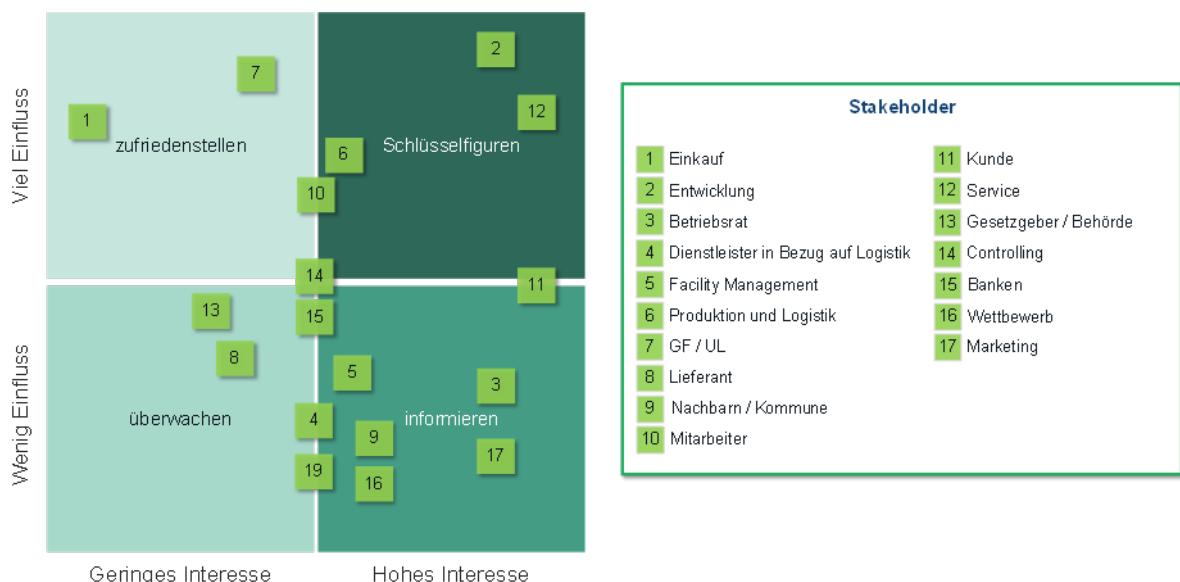


Bild 8: Identifikation und Einordnung relevanter Stakeholder nach [Men81]

3) Entwicklung nachhaltiger Geschäftsmodelle

Im dritten Schritt werden auf Basis des DGZ nachhaltige Geschäftsmodelle entwickelt. Dies geschieht mit Hilfe einer modifizierten Business Model Canvas (vgl. Bild 9), welche eine detaillierte Betrachtung verschiedener Komponenten eines Geschäftsmodells ermöglicht. Die Komponenten sind wie folgt strukturiert: **1. Zielobjekt:** Das Zielobjekt beschreibt das physische System, das durch den digitalen grünen Zwilling repräsentiert wird. **2. Eigenschaften:** Die wesentlichen Aktivitäten werden erfasst, die für die Erstellung und Pflege des DGZ notwendig sind. **3. Datenquellen:** In diesem Schritt werden die wesentlichen Datenquellen erfasst, die für die Erstellung und Pflege des DGZ erforderlich sind. **4. Wertversprechen:** In diesem Modul wird der Wertbeitrag des DGZ für die verschiedenen Stakeholder ermittelt. **5. Strategische Vorteile** und betroffene Stakeholder: In diesem Modul wird dargestellt, welche strategischen Vorteile erzielt werden können und welche Stakeholder davon profitieren. **6. Finanzielle Vorteile** und betroffene Stakeholder: Im Rahmen dieses Punktes werden die finanziellen Vorteile und die jeweils betroffenen Stakeholder dargestellt. **7. Kostenstruktur:** Im Rahmen der Kostenstruktur wird dargestellt, welche Kosten mit der Entwicklung, Implementierung und Wartung des DGZ verbunden sind. **8. Einnahmequellen:** Abschließend wird untersucht, welche Möglichkeiten bestehen, durch den DGZ-Einnahmen zu generieren.

| | | | | |
|---|--|--|--|---|
| Zielobjekte  | Eigenschaften  | Wertangebot  | Strategische Vorteile  | Finanzielle Vorteile  |
| <ul style="list-style-type: none"> Beschreibt die physischen Objekte oder Systeme, die durch den digitalen grünen Zwilling dargestellt werden. Partner oder Stakeholder, die an der Entwicklung und Wartung des digitalen grünen Zwillinges beteiligt sind. | <ul style="list-style-type: none"> Schlüsselaktivitäten, die erforderlich sind, um den digitalen grünen Zwilling zu erstellen und zu pflegen. | <ul style="list-style-type: none"> Der Wert, den der digitale grüne Zwilling für verschiedene Stakeholder bietet. | <ul style="list-style-type: none"> Strategische Vorteile, den der digitale grüne Zwilling bietet. | <ul style="list-style-type: none"> Finanzielle Vorteile, den der digitale grüne Zwilling bietet. |
| Datenquellen  | | | Betroffene Stakeholder <ul style="list-style-type: none"> Auflistung der Stakeholder, die die Strategischen Vorteile betreffen. | Betroffene Stakeholder <ul style="list-style-type: none"> Auflistung der Stakeholder, die die Finanziellen Vorteile betreffen. |
| Kostenstruktur  | <ul style="list-style-type: none"> Kosten, die mit der Entwicklung, Implementierung und Wartung des digitalen grünen Zwillinges verbunden sind. | <ul style="list-style-type: none"> Möglichkeiten, durch den digitalen grünen Zwilling Einnahmen zu generieren. | | Einnahmequellen  |

Bild 9: Modifizierte Business Model Canvas zur Erstellung nachhaltiger Geschäftsmodelle

4) Analyse notwendiger Nachhaltigkeitsdaten

Im vierten und letzten Schritt des Managements eines DGZ werden die relevanten Nachhaltigkeitsdaten identifiziert. Um die relevanten Daten zu identifizieren, empfiehlt es sich, den gesamten Lebenszyklus des physischen Produkts systematisch zu analysieren. In der jeweiligen Phase des Produktlebenszyklus müssen spezifische Datenpunkte erhoben werden, die Auskunft über Energieverbrauch, Emissionen, Wasserverbrauch, Abfallaufkommen und andere Umweltfaktoren geben. Zusätzlich zu dieser detaillierten Lebenszyklusanalyse ist es hilfreich, die Daten nach ihrem Beschaffungsaufwand zu klassifizieren. Dabei können die Datenquellen in Kategorien wie "geringer Aufwand", "normaler Aufwand" und "hoher Aufwand" eingeteilt werden.

Schritt 3: Technologische Konzipierung & Umsetzung eines digitalen grünen Zwilling

Der dritte und letzte Schritt zur Erstellung eines Leitfadens für einen DGZ umfasst die Konzipierung und Umsetzung eines DGZ. Die Vorgehensweise lässt sich in vier Teilschritte untergliedern: 1. Analyse der bestehenden IT-Infrastruktur des Unternehmens. 2. Bestimmung eines geeigneten digitalen Zwillingswerkzeugs, 3. Aufbau der Architektur eines digitalen grünen Zwilling, 4. Umsetzung des digitalen grünen Zwilling.

Die Vielfalt der in den Unternehmen eingesetzten IT-Infrastrukturen macht eine Analyse der bestehenden Strukturen unumgänglich. Dabei ist zu ermitteln, welche IT-Systeme derzeit im Unternehmen eingesetzt werden und woher die zuvor identifizierten Daten stammen. Die Vielfalt an digitaler Zwillingssoftware macht eine Abstimmung der bestehenden Infrastruktur zu einer vorteilhaften Strategie. Im zweiten Schritt wird eine Technologiestudie durchgeführt, um diese Abstimmung vorzunehmen. Anhand von zuvor definierten Kriterien werden bestehende Lösungen mit Hilfe eines Steckbriefs (vgl. Bild 10) bewertet.

| Kurzbeschreibung der Software | | Bewertung der Software | | | | |
|--|--|---------------------------------------|---------------|--|-------|---|
| Visualisierung des Digital Twin | | Einfache Visualisierung Dashboards | | Augmented Reality (AR) 3D Rendering | | Virtual Reality (VR) Datenvisualisierung |
| Monitoring | | Echtzeit-Monitoring | | System-Monitoring und Alarmierung | | Online-Monitoring und - Diagnosen |
| Datenspeicherung und - management | | Intern | | Extern | | |
| API-Schnittstellen | | Ja | | Nein | | |
| Interoperabilität | | Ja | | Nein | | |
| Skalierbarkeit | | Ja | | Nein | | |
| Benutzerfreundlichkeit | | 1 Ungenügend | 2 Ausreichend | 3 Durchschnittlich | 4 Gut | 5 Sehr gut |
| Integrierte Co2-Datenbank | | Ja | | Nein | | |
| Energieverbrauchsanalyse- möglichkeiten | | Ja | | Nein | | |
| Integrationsoptionen von Umweltdaten | | Ja | | Nein | | |

Bild 10: Technologiesteckbrief für die Bewertung bestehender Lösungen

Der dritte Schritt befasst sich mit der Architektur und dem Datenmodell eines DGZ. Zunächst muss die Grundstruktur der Architektur festgelegt werden. Dies beinhaltet die Definition der verschiedenen Komponenten sowie deren Interaktion innerhalb des Systems. Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die Entwicklung des Datenmodells. Die Datenquellen und deren Formate werden identifiziert sowie die Methode der Datenerhebung, -speicherung und -verarbeitung definiert. Das Datenmodell muss so gestaltet sein, dass es die komplexen Zusammenhänge und Abhängigkeiten innerhalb des Systems adäquat abbilden kann. Darüber hinaus ist die Identifikation der relevanten Schnittstellen von entscheidender Bedeutung. Diese Schnittstellen dienen der Kommunikation zwischen den verschiedenen Komponenten des DGZ und stellen sicher, dass Daten effizient und zuverlässig ausgetauscht werden. Die Auswahl und Implementierung geeigneter Schnittstellen ist daher ein zentraler Punkt, um eine reibungslose Integration aller Systemkomponenten zu gewährleisten. Schließlich müssen geeignete Dashboards ausgewählt und implementiert werden. Diese Dashboards dienen dazu, die gesammelten und verarbeiteten Daten visuell aufzubereiten und dem Nutzer in übersichtlicher und verständlicher Form zu präsentieren. Der letzte Schritt des Leitfadens unterteilt die Nutzung des digitalen Zwillings in drei Reifegradstufen: der Überwachung, der Analyse und Optimierung und der Vorhersage mittels DGZ.

5 Evaluierung des Leitfadens anhand einer industriellen Waschstraße

Der entwickelte Leitfaden wurde im Rahmen des Innovationsprojektes „EcoTwin“ in Zusammenarbeit mit einem Anlagen- und Maschinenbauunternehmen anhand einer industriellen Waschstraße evaluiert. Zu Beginn der Untersuchungen wurde ein allgemeines Verständnis für das Thema Nachhaltigkeit und die Technologie des digitalen Zwillings geschaffen. Im weiteren Verlauf wurden die jeweiligen Schritte des Leitfadens durchgeführt und iterativ Anpassungen vorgenommen.

Im ersten Schritt „**Erarbeitung der Bedeutung von Nachhaltigkeit**“ wurden in Form von Workshops Nachhaltigkeitstreiber für den Anlagen- und Maschinenbau identifiziert. Mit Hilfe der Brainstorming-Methode mit relevanten Stakeholdern wurden die wesentlichen Treiber identifiziert. Aufbauend auf den Treibern wurden mögliche Nachhaltigkeitspotenziale für den Anlagen- und Maschinenbauer erarbeitet. Die identifizierten Treiber und Potenziale wurden in einer Landkarte kategorisiert, die in Bild 11 dargestellt ist.

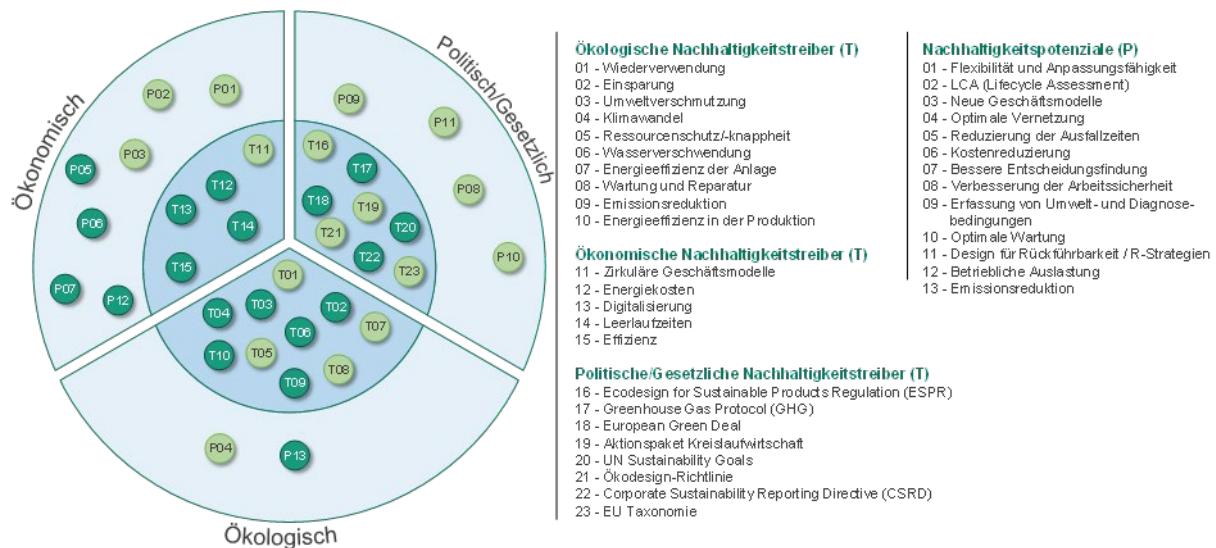


Bild 11: Treiber- und Potenziallandkarte für den Anlagen- und Maschinenbau

Auf Basis der Nachhaltigkeitstreiber und -potenziale wurden anschließend nachhaltige Anwendungsfälle für den DGZ identifiziert. Die identifizierten Anwendungsfälle wurden nach ökologischen, ökonomischen und politischen Treibern kategorisiert und in den Lebenszyklus eines Produktes eingeordnet (vgl. Bild 12). Für eine detaillierte Betrachtung der nachhaltigen Anwendungsfälle wurden diese mit Hilfe eines zuvor definierten Steckbriefs detailliert. Der priorisierte Anwendungsfall für die Evaluation des Leitfadens ist das Monitoring von Betriebsdaten und die anschließende Analyse hinsichtlich Optimierungspotenzialen. Relevante Nachhaltigkeitstreiber und -potenziale sind in Bild 11 hervorgehoben, ebenso der priorisierte Anwendungsfall in Bild 12.



Bild 12: Identifizierte Anwendungsfälle für den digitalen grünen Zwilling

Für den priorisierten Anwendungsfall wurde im zweiten Schritt des Leitfadens „**Management des digitalen grünen Zwillinges**“ das Zielbild erarbeitet. Neben gesetzlichen Treibern wie dem Greenhouse Gas Protocol oder der Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) müssen Unternehmen ihre Produkte nachhaltig entwickeln und nutzen, um Umweltbelastungen und Emissionen der Produkte zu reduzieren. Gleichzeitig können wirtschaftliche Aspekte, wie die Senkung der Kosten für Energie oder andere Betriebsmittel, eine Rolle spielen. Der digitale grüne Zwilling soll daher Daten bereitstellen, um auf Basis von Analysen und Simulationen den Ressourceneinsatz zu optimieren. Hierfür ist eine genaue Erfassung der Betriebsdaten in Echtzeit unerlässlich. Darüber hinaus kann er bei der Erreichung von Nachhaltigkeitszielen und der Erfüllung von Berichtspflichten unterstützen.

Anschließend werden Teilziele definiert, wie z.B. eine detaillierte Betrachtung der Prozesse des Zielsystems, um Hotspots des Ressourcenverbrauchs zu identifizieren. Die Analyse der Umweltauswirkungen und Optimierungspotenziale wird durchgeführt. Die Dampferzeugung während des Waschprozesses oder das Wassermanagement sind Prozesse mit hohem Ressourcenverbrauch. Die für den Anwendungsfall relevanten Stakeholder werden, wie in Kapitel 4 beschrieben, identifiziert und klassifiziert. In Interviews werden strategische und finanzielle Vorteile für das Unternehmen und den Kunden erarbeitet. Basierend auf den gesammelten Daten kann die Entwicklung zukünftige Generationen nachhaltiger gestalten und Prozesse verbessern. Die Daten helfen dem Service bei der bedarfsgerechten Wartung von Anlagen und der Erstellung von Nachhaltigkeitsberichten. Der Kunde wird bei der Prozessüberwachung und Berichterstattung unterstützt. Geringere Ausfallzeiten und Fehlerquoten, eine höhere Lebensdauer oder eine verbesserte Kommunikation sind Folgen des Einsatzes des DGZ. Im nächsten Schritt werden messbare Leistungsindikatoren (KPIs) definiert. Für den priorisierten Anwendungsfall werden unter anderem nachhaltige Kennzahlen (Energieverbrauch, Wasserverbrauch, Chemikalieneinsatz) sowie ökonomische Kennzahlen (Kosteneinsparung pro Emissionsreduktion, Kundenzufriedenheit, Einhaltung gesetzlicher Rahmenbedingungen) verwendet. Nachhaltige Geschäftsmodelle können für diesen Anwendungsfall in Form eines nachhaltigkeitsorientierten Performance Monitorings oder der Implementierung eines Energiemanagementsystems auf Basis digitaler Zwillinge realisiert werden. Im letzten Schritt des zweiten Teils des Leitfadens

werden die für den Anwendungsfall notwendigen Nachhaltigkeitsdaten identifiziert, die in Bild 13 dargestellt sind. Neben den Betriebsmitteln sind weitere Informationen wie Fehlermeldungen, Verschleißdaten oder Positionsinformationen von Bedeutung.

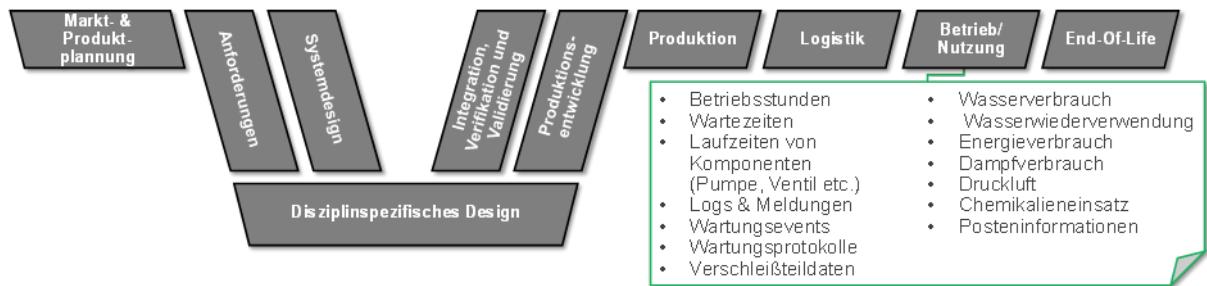


Bild 13: Identifizierung relevanter Nachhaltigkeitsdaten für den digitalen grünen Zwilling

Der dritte Schritt des Leitfadens befasst sich mit dem „technologischen Design und der Implementierung des digitalen grünen Zwillings“. Basierend auf den identifizierten Nachhaltigkeitsdaten muss der Ursprung der Daten identifiziert werden. Aufgrund des Anwendungsfalls liegt der Ursprung der Daten in der Betriebsphase der industriellen Waschstraße. Die Software für den digitalen Zwilling, die für die Implementierung des digitalen grünen Zwillings verwendet wird, muss die bestehende IT-Infrastruktur berücksichtigen. Im Zuge der Analyse wurde festgestellt, dass eine standardisierte Schnittstelle zum physischen Produkt geschaffen werden muss, um eine Datenübertragung in Echtzeit zu ermöglichen. Im nächsten Schritt wurden anhand der in Kapitel 4 vorgestellten Steckbriefe verschiedene Softwaretools analysiert und die Anwendung „Azure Digital Twins“ für den priorisierten Anwendungsfall ausgewählt. Anschließend wurde der Anwendungsfall prototypisch implementiert. Der Prototyp des digitalen grünen Zwillings ist in Bild 14 abgebildet. Aufgrund der zu diesem Zeitpunkt noch nicht implementierten Schnittstelle wurden die Daten, die der digitale grüne Zwilling nutzt, simuliert.

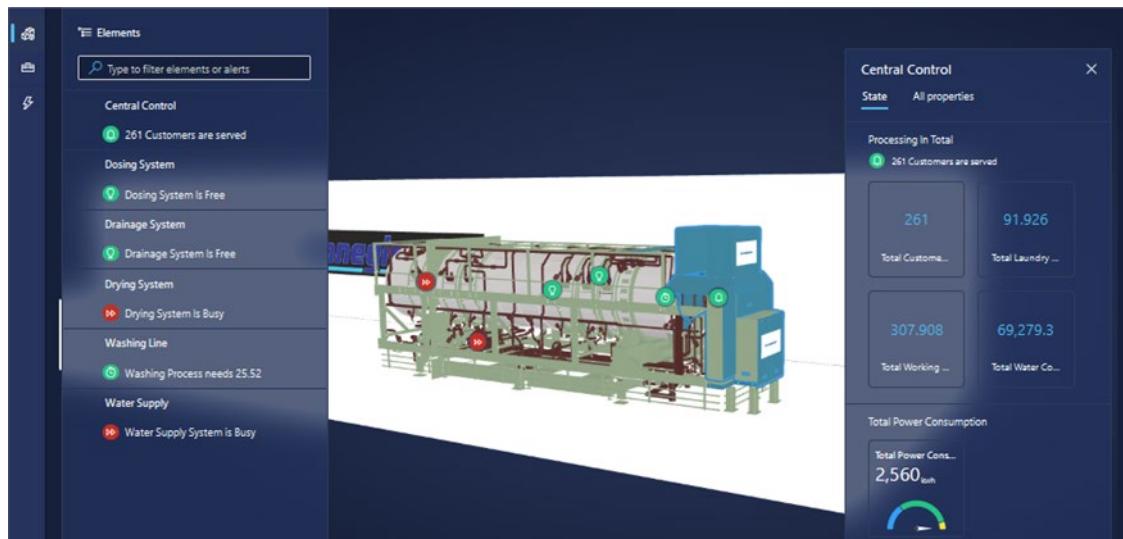


Bild 14: Prototypische Umsetzung eines digitalen grünen Zwillings in Azure

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die zunehmende Bedeutung von Nachhaltigkeit für Unternehmen erfordert innovative Ansätze, um Nachhaltigkeitsziele zu erreichen, Kundenanforderungen zu erfüllen und gesetzliche Vorgaben einzuhalten. Eine Möglichkeit bietet die Technologie des digitalen Zwillings. Sie ermöglicht die Bereitstellung, Vernetzung und Analyse von Nachhaltigkeitsdaten für nachhaltige Anwendungsfälle. Die Publikation beschreibt einen Leitfaden, der Unternehmen dabei unterstützt, digitale grüne Zwillinge für die nachhaltige Transformation zu entwickeln und einzusetzen. Der Leitfaden wurde durch die prototypische Umsetzung eines digitalen grünen Zwillings zur Überwachung von Betriebsdaten einer industriellen Waschstraße validiert. Im Zuge der Umsetzung wird im nächsten Schritt eine skalierbare API-Schnittstelle finalisiert und eine Integration der Echtzeitdaten durchgeführt. Abschließend erfolgt eine Wirkungsanalyse der prototypischen Umsetzung anhand der zuvor definierten KPIs. Eine Aufwand-Nutzen-Analyse hilft bei der Bewertung, ob ein Digitaler Zwilling die Nachhaltigkeit in der produzierenden Industrie unterstützen und damit zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele des Unternehmens beitragen kann.

Literatur

- [ABD+10] AZEVEDO, K.; BRAS, B.; DOSHI, S.; GULDBERG, T.: Modeling Sustainability of Complex Systems: A Multi-Scale Framework Using SysML, 2010, S. 1437–1448
- [BGH+11] BAÑON GOMIS, A. J.; GUILLÉN PARRA, M.; HOFFMAN, W. M.; MCNULTY, R. E.: Rethinking the Concept of Sustainability. Band 116, 2011
- [BLK+20] BERG, H.; LE BLÉVENNEC, K.; KRISTOFFERSEN, E.; STRÉE, B.; WITOMSKI, A.; STEIN, N.; BASTEIN, T.; RAMESOHL, S.; VRANCKEN, K.: Digital circular economy as a cornerstone of a sustainable European industry transformation, 2020
- [DAR+21] DUMITRESCU, R.; ALBERS, A.; RIEDEL, O.; STARK, R.; GAUSEMEIER J.: Advanced Systems Engineering – Value Creation in Transition. Paderborn, 2021
- [FBG22] FOLLATH, A.; BROSS, F.; GALKA, S.: Vorgehensmodell zur Erstellung Digitaler Zwillinge für Produktion und Logistik. Band 117, 2022
- [FFD+20] FULLER, A.; FAN, Z.; DAY, C.; BARLOW, C.: Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. Band 8, 2020
- [Gri02] GRIEVES, M.: Product Lifecycle Management, 2002
- [Ind23] INDUSTRIAL DIGITAL TWIN ASSOCIATION E.V.: Digitaler Zwilling. Unter: <https://industrialdigitaltwin.org/glossar/digitaler-zwilling>, 29. Oktober 2023
- [Men81] MENDELOW, A. L.: Environmental Scanning--The Impact of the Stakeholder Concept. Proceedings of the International Conference on Information Systems (ICIS), 1981
- [MGP+21] MICHAEL, J.; GROTE, E.-M.; PFEIFER, S. A.; RASOR, R.; HENKE, C.; TRÄCHTLER, A.; KAISER, L.: Towards the Concept of a Digital Green Twin for a Sustainable Product Lifecycle, 2021
- [MML19] MADNI, A. M.; MADNI, C. C.; LUCERO, S. D.: Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering. Band 7, 2019
- [OMF23] OLIVEIRA, U. R. DE; MENEZES, R. P.; FERNANDES, V. A.: A systematic literature review on corporate sustainability: contributions, barriers, innovations and future possibilities, 2023
- [PTR+07] PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S.: A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. Journal of Management Information Systems, (24)3, 2007, S. 45–77

- [SCD+10] SHAFTO, M.; CONROY, M.; DOYLE, R.; GLAESSGN, E.; KEMP, C.; LEMOIGNE, J.; WANG, L.: Draft Modeling, Simulation, Information Technology & Processing Roadmap – Technology area 11, 2010
- [SGH+21] SMET, A. DE; GAO, W.; HENDERSON, K.; HUNDERTMARK, T.: Organizing for sustainability success: Where, and how, leaders can start. Unter: <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/organizing-for-sustainability-success-where-and-how-leaders-can-start>, 26. Juli 2024
- [SPB+18] SCHOLZ, U.; PASTOORS, S.; BECKER, J. H.; HOFMANN, D.; VAN DUN, R.: Praxishandbuch nachhaltige Produktentwicklung – Ein Leitfaden mit Tipps zur Entwicklung und Vermarktung nachhaltiger Produkte. Springer Gabler, Berlin, 2018
- [TMM+23] TRAUER, J.; MAC, D. P.; MÖRTL, M.; ZIMMERMANN, M.: A DIGITAL TWIN BUSINESS MODELLING APPROACH. Band 3, 2023
- [TRK+24] TRIENENS, M.; RASOR, R.; KHARATYAN, A.; DUMITRESCU, R.; ANACKER, H.: Digital twins to increase sustainability throughout the system life cycle: a systematic literature review. Proceedings of the Design Society, (4), 2024, S. 2277–2286

Autoren

M.Sc. Malte Trienens ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung „Digital Engineering“ am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM in Paderborn. Dort ist er in Forschungs- und Industrieprojekten in den Themen Model-Based Systems Engineering, digitaler Zwillinge und Product Lifecycle Management (PLM) tätig. Er studierte Wirtschaftsingenieurwesen mit dem Schwerpunkt Maschinenbau an der Universität Paderborn.

Luca Schröder ist studentische Hilfskraft in der Abteilung „Digital Engineering“ am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM in Paderborn. Dort unterstützt er Forschungs- und Industrieprojekte zu den Themen digitale Zwillinge und Nachhaltigkeit. Er studiert Wirtschaftsingenieurwesen mit dem Schwerpunkt Supply Chain Management an der Hochschule Hamm-Lippstadt.

M.Sc. Wissam Halawi ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung „Digital Engineering“ am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM in Paderborn. Dort ist er in Forschungs- und Industrieprojekten in den Themen des Model-Based Systems Engineering (MBSE) und digitaler Zwillinge tätig. Er studierte Informatik mit dem Schwerpunkt Software Engineering an der Universität Paderborn.

Aschot Hovemann leitet die Abteilung „Digital Engineering“ am Fraunhofer IEM in Paderborn. Mit seinem Team beschäftigt er sich mit der zentralen Frage, wie komplexe Systeme datengetrieben und effizient entwickelt werden können. Neben der Leistungssteigerung im Engineering durch die formale Anwendung des Model-Based Systems Engineering forscht er an der Vernetzung und dem Management von Produktdaten mittels Konzepte wie dem digitalen Zwilling. Insbesondere im Bereich der Künstlichen Intelligenz erforscht er neue Methoden und Ansätze.

Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu ist Direktor am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM und Leiter der Fachgruppe Advanced Systems Engineering am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Produktentstehung intelligenter technischer Systeme. In Personalunion ist Prof. Dumitrescu Geschäftsführer des Technologienetzwerks Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe (it's OWL).

acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN

acatech berät Politik und Gesellschaft, unterstützt die innovationspolitische Willensbildung und vertritt die Technikwissenschaften international. Ihren von Bund und Ländern erteilten Beratungsauftrag erfüllt die Akademie unabhängig, wissenschaftsbasiert und gemeinwohlorientiert. acatech verdeutlicht Chancen und Risiken technologischer Entwicklungen und setzt sich dafür ein, dass aus Ideen Innovationen und aus Innovationen Wohlstand, Wohlfahrt und Lebensqualität erwachsen. acatech bringt Wissenschaft und Wirtschaft zusammen. Die Mitglieder der Akademie sind herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Ingenieur- und den Naturwissenschaften, der Medizin sowie aus den Geistes- und Sozialwissenschaften. Die Senatorinnen und Senatoren sind Persönlichkeiten aus technologieorientierten Unternehmen und Vereinigungen sowie den großen Wissenschaftsorganisationen. Neben dem acatech FORUM in München als Hauptsitz unterhält acatech Büros in Berlin und Brüssel.

acatech advises policymakers and the general public, supports innovation policy decision-making, and represents the interests of the technological sciences internationally. In accordance with its mandate from Germany's federal government and states, the Academy provides independent, science-based advice that is in the public interest. acatech explains the opportunities and risks of technological developments and helps to ensure that ideas become innovations – innovations that lead to greater prosperity, welfare, and quality of life. acatech brings science and industry together. The Academy's Members are distinguished scientists from the fields of engineering, the natural sciences and medicine, as well as the humanities and social sciences. The Senate is made up of leading figures from major science organisations and from technology companies and associations. In addition to its headquarters at the acatech FORUM in Munich, the Academy also has offices in Berlin and Brussels.

Fraunhofer-Verbund Innovationsforschung

Wandel verstehen, Zukunft gestalten

Das Wissen um die komplexen Wirkzusammenhänge innerhalb von Innovationssystemen ist erfolgskritisch für Wirtschaft, Politik, Wissenschaft und Gesellschaft. Die Veränderung von Branchen, Märkten und Technologien muss daher frühzeitig erkannt und verstanden werden, um die langfristigen Auswirkungen in ökonomischer, technologischer, sozialer, politischer sowie kultureller Hinsicht aktiv gestalten zu können. Als kompetenter Partner mit einer einzigartigen Verknüpfung von sozioökonomischer sowie soziotechnischer Forschung gibt der Fraunhofer-Verbund Innovationsforschung Orientierung, erleichtert die Positionsbestimmung und unterstützt bei der Zukunftsgestaltung im Innovationssystem.

Fraunhofer Group for Innovation Research

Understanding change, shaping the future

Understanding the complex interdependencies within systems of innovation is critical for business, government, science, and society to succeed. For this reason, it is important to recognize change as soon as it emerges in any sector, market or technology. Only by comprehending such change, can we actively influence its long-term economical, technological, societal, governmental, and cultural impact. As an expert partner that uniquely combines socioeconomic and sociotechnical research, the Fraunhofer Group for Innovation Research provides stakeholders with orientation, facilitates them in positioning themselves, and assists in shaping the future in the innovation system.

Das Heinz Nixdorf Institut – Interdisziplinäres Forschungszentrum für Informatik und Technik

Das Heinz Nixdorf Institut ist ein Forschungszentrum der Universität Paderborn. Es entstand 1987 aus der Initiative und mit Förderung von Heinz Nixdorf. Damit wollte er Ingenieurwissenschaften und Informatik zusammenführen, um wesentliche Impulse für neue Produkte und Dienstleistungen zu erzeugen. Dies schließt auch die Wechselwirkungen mit dem gesellschaftlichen Umfeld ein.

Die Forschungsarbeit orientiert sich an dem Programm „Dynamik, Mobilität, Vernetzung: Eine neue Schule des Entwurfs der technischen Systeme von morgen“. In der Lehre engagiert sich das Heinz Nixdorf Institut in Studiengängen der Informatik, der Ingenieurwissenschaften und der Wirtschaftswissenschaften.

Heute wirken am Heinz Nixdorf Institut neun Professoren mit insgesamt 150 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Pro Jahr promovieren hier etwa 20 Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler.

Heinz Nixdorf Institute – Interdisciplinary Research Centre for Computer Science and Technology

The Heinz Nixdorf Institute is a research centre within the University of Paderborn. It was founded in 1987 initiated and supported by Heinz Nixdorf. By doing so he wanted to create a symbiosis of computer science and engineering in order to provide critical impetus for new products and services. This includes interactions with the social environment.

Our research is aligned with the program “Dynamics, Mobility, Integration: Enroute to the technical systems of tomorrow.” In training and education the Heinz Nixdorf Institute is involved in many programs of study at the University of Paderborn. The superior goal in education and training is to communicate competencies that are critical in tomorrow's economy.

Today nine Professors and 150 researchers work at the Heinz Nixdorf Institute. Per year approximately 20 young researchers receive a doctorate

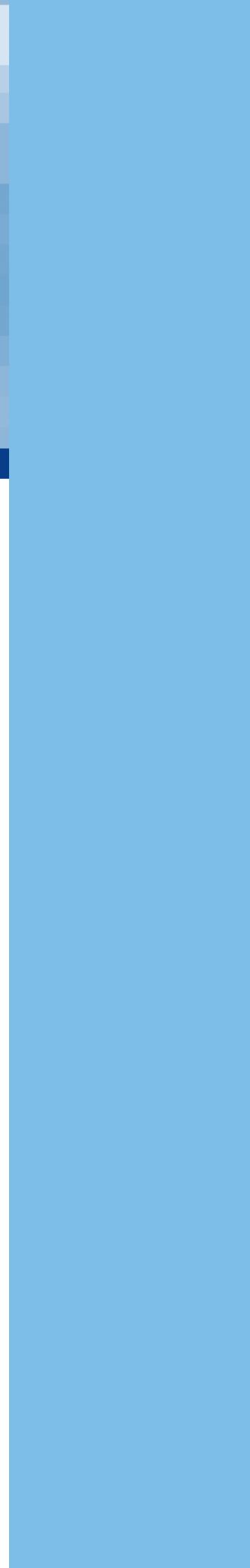
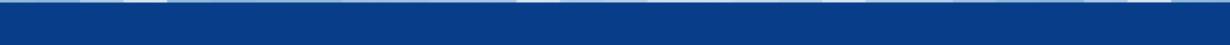
Zuletzt erschienene Bände der Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts

- Bd. 400 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 16. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 2. und 3. Dezember 2021, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 400, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-19-4
- Bd. 401 BRETZ, L.: Rahmenwerk zur Planung und Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 401, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-20-0
- Bd. 402 Wu, L.: Ultrabreitbandige Sampler in SiGe-BiCMOS-Technologie für Analog-Digital-Wandler mit zeitversetzter Abtastung. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 402, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-21-7
- Bd. 403 HILLEBRAND, M.: Entwicklungssystematik zur Integration von Eigenschaften der Selbstheilung in Intelligente Technische Systeme. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 403, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-22-4
- Bd. 404 OLMA, S.: Systemtheorie von Hardware-in-the-Loop-Simulationen mit Anwendung auf einem Fahrzeugachsprüfstand mit parallelkinematischem Lastsimulator. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 404, Paderborn, 2022 – ISBN 978-3-947647-23-1
- Bd. 405 FECHTELPETER, C.: Rahmenwerk zur Gestaltung des Technologietransfers in mittelständisch geprägten Innovationsclustern. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 405, Paderborn, 2022 – ISBN 978-3-947647-24-8
- Bd. 406 OLEFF, C.: Proaktives Management von Anforderungsänderungen in der Entwicklung komplexer technischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 406, Paderborn, 2022 – ISBN 978-3-947647-25-5
- Bd. 407 JAVED, A. R.: Mixed-Signal Baseband Circuit Design for High Data Rate Wireless Communication in Bulk CMOS and SiGe BiCMOS Technologies. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 407, Paderborn, 2022 – ISBN 978-3-947647-26-2
- Bd. 408 DUMITRESCU, R, KOLDEWEY, C.: Daten-gestützte Projektplanung. Fachbuch. Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 408, Paderborn, 2022 – ISBN 978-3-947647-27-9
- Bd. 409 PÖHLER, A.: Automatisierte dezentrale Produktionssteuerung für cyber-physische Produktionssysteme mit digitaler Repräsentation der Beschäftigten. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 409, Paderborn, 2022 – ISBN 978-3-947647-28-6
- Bd. 410 RÜDDENKLAU, N.: Hardware-in-the-Loop-Simulation von HD-Scheinwerfer-Steuergeräten zur Entwicklung von Lichtfunktionen in virtuellen Nachtfahrten. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 410, Paderborn, 2023 – ISBN 978-3-947647-29-3
- Bd. 411 BIEMELT, P.: Entwurf und Analyse modell-prädiktiver Regelungsansätze zur Steigerung des Immersionsempfindens in interaktiven Fahrsimulationen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 411, Paderborn, 2023 – ISBN 978-3-947647-30-9

Zuletzt erschienene Bände der Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts

- Bd. 412 HAAKE, C.-J., MEYER AUF DER HEIDE, F., PLATZNER, M., WACHSMUTH, H., WEHRHEIM, H. (Eds.): On-The-Fly Computing - Individualized IT-Services in dynamic markets, Collaborative Research Centre 901 (2011 - 2023), Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 412, Paderborn, 2023 – ISBN 978-3-947647-31-6
- Bd. 413 DUMITRESCU, R.; HÖLZLE, K. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 17. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 14./15. September 2023, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 413, Paderborn, 2023 – ISBN 978-3-947647-32-3
- Bd. 414 ABUGHANNAM, S.: Low-power Direct-detection Wake-up Receiver at 2.44 GHz for Wireless Sensor Networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 414, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-33-0
- Bd. 415 REINHOLD, J.: Systematik zur musterbasierten Transformation von Wertschöpfungssystemen für Smart Services. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 415, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-34-7
- Bd. 416 YANG, X.: Eine Methode zur Unterstützung von Entscheidungen bei der Entwicklung modularer Leichtbauprodukte. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 416, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-35-4
- Bd. 417 GRÄLER, M.: Entwicklung adaptiver Einrichtassistenzsysteme für Produktionsprozesse. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 417, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-36-1
- Bd. 418 RÖSMANN, D.: Menschenzentrierte Montageplanung und -steuerung durch fähigkeitsorientierte Aufgabenzuordnung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 418, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-37-8
- Bd. 419 BAHMANIAN, M.: Optoelectronic Phase-Locked Loop, Theory and Implementation. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 419, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-38-5
- Bd. 420 HEIHOFF-SCHWEDE, J.: Spezifikationstechnik zur Analyse, Gestaltung und Bewertung von Engineering-IT-Architekturen. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 420, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-39-2
- Bd. 421 MEYER, M.: Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 421, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-40-8
- Bd. 422 MALENA, K.: Konzipierung, Analyse und Realumsetzung eines mehrstufigen modellprädiktiven Lichtsignalanlagenregelungssystems. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 422, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-41-5
- Bd. 423 GÖTTE, R.-S.: Online-Schätzung von Modellgenauigkeiten zur automatischen Modelladaption unter Beibehaltung einer physikalisch-technischen Interpretierbarkeit. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 423, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-42-2
- Bd. 424 PIERENKEMPER, C.: Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 424, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-43-9

Bezugsadresse:
Heinz Nixdorf Institut
Universität Paderborn
Fürstenallee 11
33102 Paderborn



Für Unternehmen kommt es heute mehr denn je auf eine aktive Vorausschau und das frühzeitige Erkennen von Veränderungen, Trends und der Erfolgspotentiale von morgen an. Grundvoraussetzung für ein erfolgreiches strategisches Agieren ist die geplante, systematische und phantasielose Antizipation der Entwicklungen von Märkten, Technologien und Geschäftsumfeldern (Branche, Zulieferer, Politik, Gesellschaft etc.). Diese Erkenntnisse in eine kohärente und umfassende Strategie zu übersetzen und umzusetzen, ist zentrale Kompetenz und Erfolgsfaktor.

Eine systematische Vorausschau verdeutlicht die Chancen, die im Schnittpunkt der zukünftigen Kunden- und Marktanforderungen (Market Pull) sowie der technologischen Möglichkeiten von morgen (Technology Push) liegen, aber auch die Bedrohungen für das etablierte Geschäft von heute. Damit ist die Basis für F&E-Aufträge und entsprechende Investitionsentscheidungen gelegt.

Mit dem Symposium für Vorausschau und Technologieplanung pflegen wir den gut etablierten Dialog mit der Fachwelt. Die Veranstaltung richtet sich an Entscheidungsträger und Entscheidungsträgerinnen aus Unternehmen, die sich mit der Gestaltung des Geschäfts von morgen befassen, sowie an maßgebende Persönlichkeiten aus einschlägigen Institutionen. Sie bietet ein anspruchsvolles Forum, in dem Fachleute aus Industrie und Wissenschaft ihre Arbeiten präsentieren und zur Diskussion stellen.