HEINZ NIXDORF INSTITUT
INSTITUTE

Jahresbericht

Annual Report 2024

Mitglieder des Vorstands
Members of board of directors

Gruppe der Professoren:
Professor group:

Jun. Prof. Dr. Suzana Alpsancar*
Prof. Dr. Eric Bodden (Vorsitzender/chairman)*
Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu
Prof. Dr. René Fahr*
Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler
Prof. Dr. Reinhold Häb-Umbach
Prof. Dr. math. Friedhelm Meyer auf der Heide
Prof. Dr. Axel-Cyrille Ngonga Ngomo
Prof. Dr.-Ing. Christoph Scheytt
Prof. Dr.-Ing. habil. Ansgar Trächtler*

* Mitglieder im geschäftsführenden Vorstand
* Members of Executive Board

Juniorprofessur:
Junior professorship:

Jun.-Prof. Dr. Mohamed Aboubakr Mohamed Soliman

BMBF Nachwuchsgruppe:
BMBF Junior Research Group:

Dr.-Ing. Julia Timmermann

Ehrenmitgliedschaften:
Honorary membership:

Prof. Dr.-Ing. habil. Wilhelm Dangelmaier
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier
Prof. Dr.-Ing. Reinhard Keil
Prof. Dr. rer. nat. Burkhard Monien
Prof. Dr. rer. nat. Franz Josef Rammig

Gruppe der wissenschaftlichen Mitarbeiter:
Academic staff:

Niklas Fittkau, M.Sc.
Dr. Christian Koldewey

Gruppe der weiteren Mitarbeiter:
Non-academic staff:

Michaela Wiemers

Gruppe der Studierenden:
Student group:

Tim Storm

Mitglieder des Kuratoriums
Members of curatorship

Michael Dreier, Bürgermeister der Stadt Paderborn
Prof. Dr. Michael Felderer
Prof. Dr.-Ing. Georg Fischer, FAU Erlangen-Nürnberg
Prof. Dr.-Ing. Norbert Gronau, Universität Potsdam
Prof. Dr. Andreas Kaminski
Dr. Horst Nasko, stv. Vorsitzender der Stiftung Westfalen
Prof. Dr. Birgitt Riegraf, Präsidentin der Universität Paderborn
Dr. Eduard Sailer
Prof. Dr.-Ing. Ina Schaefer

Inhalt

Allgemeine Darstellung

Seite 5 **Das Institut in Zahlen**

Seite 6 **Unser Leitbild**

Seite 10 **Unser Forschungsprogramm**

Weitere Aktivitäten

Seite 16 **Publikationen**

Promotionen

Messen, Tagungen, Seminare

Patente, Preise, Auszeichnungen

Weitere Funktionen

Spin-Offs

Aktuelle Forschungsprojekte

Aktuelle Industriekooperationen

Wissenschaftliche Kooperationen

Impressum

Content

General description

Statistics of the institute Page 5
Our guiding principles Page 7
Our research programme Page 11

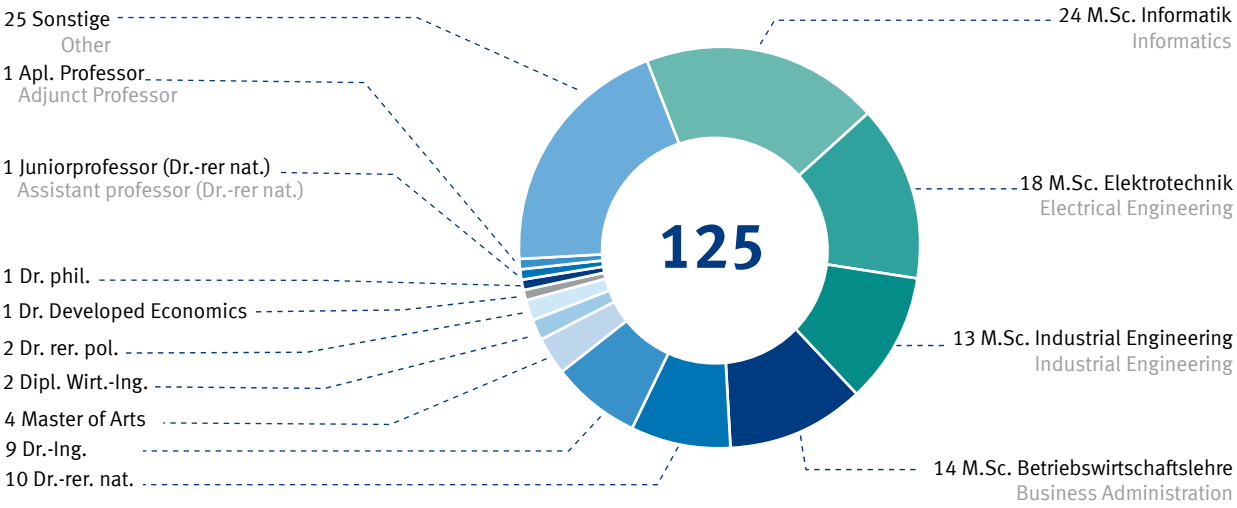
Additional activities

Publications Page 16
PhD Theses
Fairs, conferences, seminars
Patents, prizes, awards
Additional functions
Spin-offs
Current research projects
Current industry cooperations
Scientific cooperations

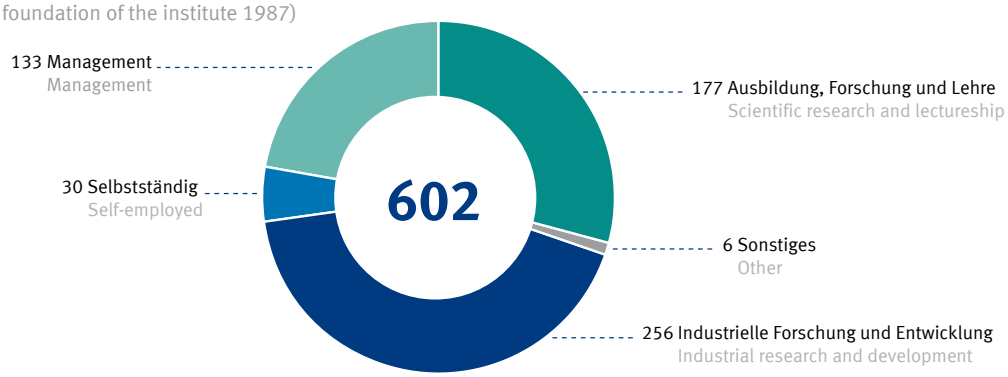
Imprint

Das Institut in Zahlen
Instituts statistics

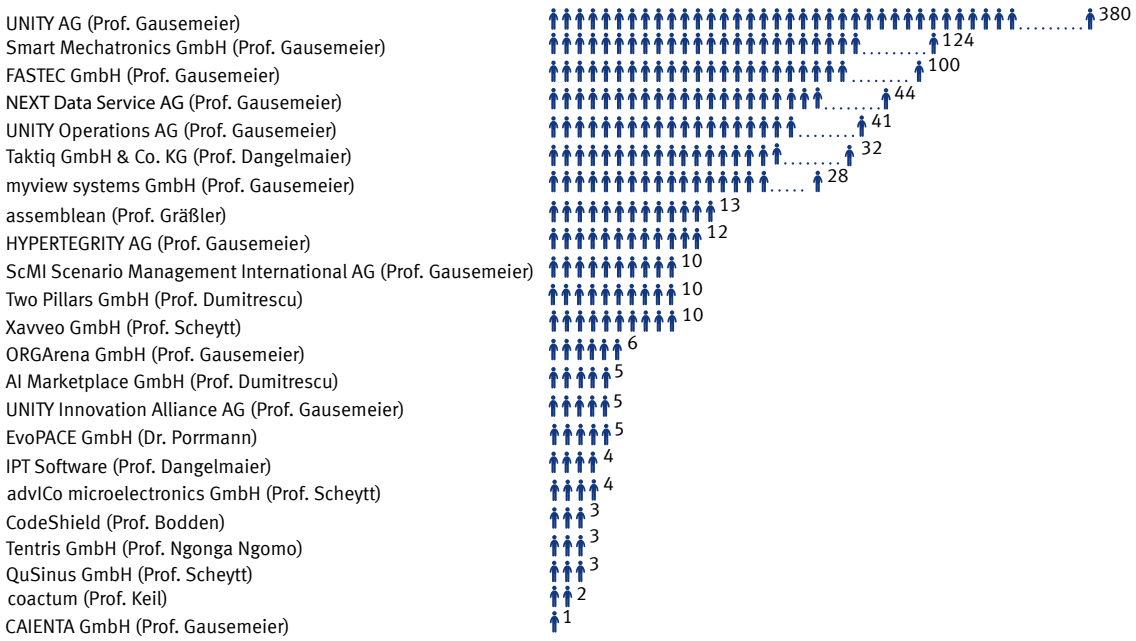
Akademisches Profil des interdisziplinären Instituts
Academic profile of the interdisciplinary institute



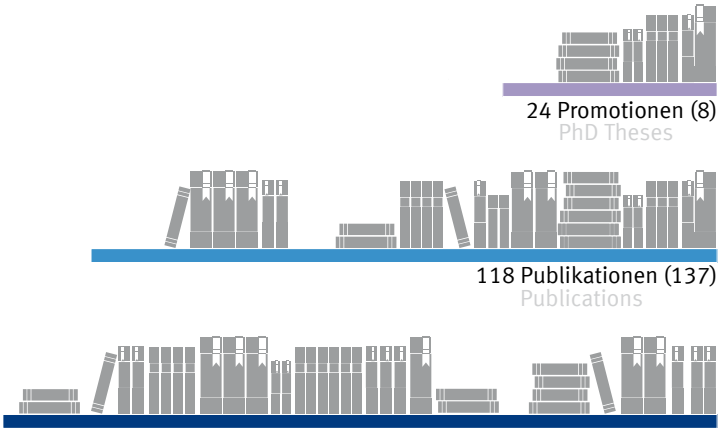
Tätigkeitsbereiche promovierter Absolventinnen und Absolventen
Activities of employees with PhD
(seit Gründung des Instituts 1987)
(since foundation of the institute 1987)



Spin-Offs aus dem Heinz Nixdorf Institut
Jobs at spin-offs of the Heinz Nixdorf Institute
(seit Gründung des Instituts 1987)
(since foundation of the institute 1987)



Wissenschaftliche Arbeiten und Publikationen
Scientific results and publications
(Vorjahr 2023)
(Previous year 2023)

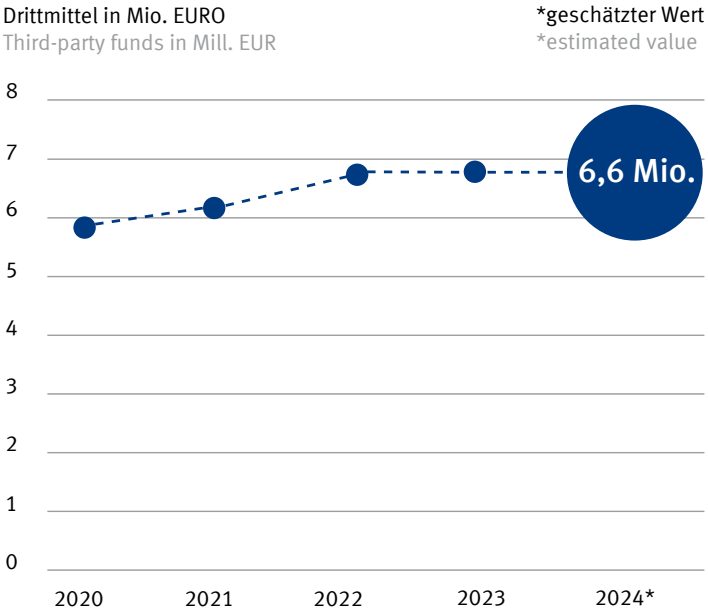


24 Promotionen (8)
PhD Theses

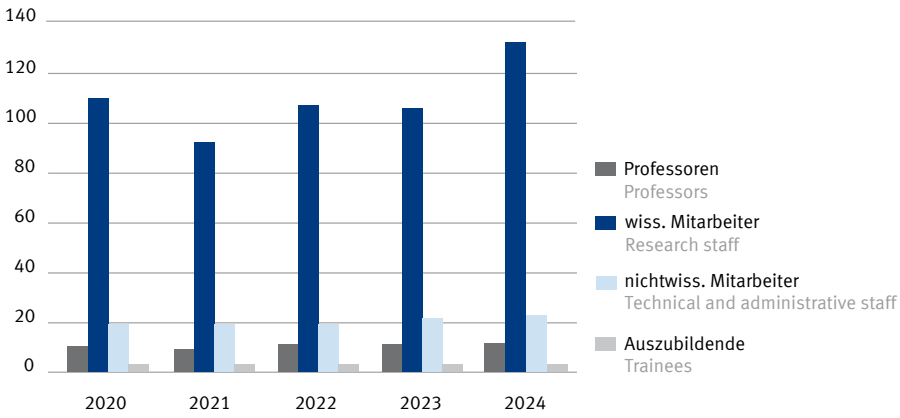
118 Publikationen (137)
Publications

186 Bachelor-, Master- u. Studienarbeiten (241)
Bachelor-, Master Theses

Drittmittel
External funds



Anzahl der Beschäftigten
Number of employees



Wir sind ...

...ein interdisziplinäres Forschungsinstitut; unser Forschungsschwerpunkt sind intelligente technische Systeme.

Auf dem Weg zu diesen Systemen wachsen Informatik und Ingenieurwissenschaften zusammen. Dies bestimmt unser Denken und Handeln: Wir entwerfen Konzeptionen für intelligente technische Systeme, die anpassungsfähig, robust und benutzungsfreundlich sind und vorausschauend handeln. Das erfordert neue Herangehensweisen, Methoden und Techniken, die wir liefern. Im Wettbewerb wollen wir uns als führendes interdisziplinäres Forschungsinstitut für Methoden und Technologien für intelligente Systeme positionieren.

Innovation braucht Spitzenkräfte. Wir vermitteln unserem Nachwuchs die Fach-, Methoden- und Sozialkompetenzen, auf die es künftig ankommt, und bereiten ihn auf die Übernahme von Verantwortung in Wirtschaft und Wissenschaft vor. Pro Jahr promovieren bei uns etwa 20 Nachwuchswissenschaftler*innen.

We are ...

...an interdisciplinary research institute. Our research focuses on intelligent technical systems.

Computing and engineering are growing together on the path to developing these systems. This determines how we think and act: we develop concepts for intelligent technical systems that are adaptable, robust, user-friendly and able to anticipate. This requires new approaches, methods and technologies, which we supply. We are aiming to position ourselves against the competition as a leading interdisciplinary research institute for intelligent system methodologies and technologies.

Innovation requires top-class minds. We teach our talented young people the expertise, methodology and social skills that the future demands and prepare them for taking up responsible positions in business and science. Every year, around 20 young researchers complete their doctorate at our institute.

Unser Leitbild

Wir erleben den Wandel von den nationalen Industriegesellschaften zur globalen Informationsgesellschaft. Informations- und Kommunikationstechnik durchdringen alle Lebensbereiche; die Grenzen von gestern verlieren ihre Bedeutung. Die zentralen Herausforderungen unserer Zeit verlangen Innovationen, die allerdings das Vertraute ersetzen werden. In der Folge finden immer weniger Menschen in den klassischen Bereichen der Industrie Beschäftigung, weshalb viele den Wandel als Bedrohung empfinden und das Erreichte erhalten möchten. Diese Entwicklung eröffnet aber große Chancen und Gestaltungsmöglichkeiten. Es zeichnen sich neue Leistungsbereiche und Arbeitsplätze ab. Wir haben die Kompetenzen und die Kraft, die Zukunft zu gestalten. Wir wollen diese einsetzen, um Perspektiven zu erarbeiten und Zuversicht zu erzeugen.

Wohlstand braucht Beschäftigung, Beschäftigung braucht Innovation, Innovation braucht Bildung. An diesem Leitgedanken orientiert sich unser Handeln.

Intelligente technische Systeme für die Märkte von morgen

Im Zentrum unserer Forschung steht die Symbiose von Informatik und Ingenieurwissenschaften. Daraus ergeben sich Impulse für intelligente technische Systeme und entsprechende Dienstleistungen für die globalen Märkte von morgen. Was wir tun, soll dazu beitragen, neue Arbeitsplätze zu schaffen, den Wohlstand zu erhalten und die nachhaltige Entwicklung zu fördern.

Balance von Grundlagenforschung und angewandter Forschung

Wir wollen ein führendes Forschungsinstitut sein. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, müssen wir der Praxis entscheidende Impulse geben können, aber

» Technologischer Wandel erfolgt nicht durch Revolution,
sondern durch Evolution,
durch unendlich viele kleine Schritte,
die man stetig tun muss. «

» Technological progress is not achieved by revolution,
but by evolution, an endless series of tiny steps,
which must be taken constantly. «

Heinz Nixdorf, † 1986

auch die Probleme von morgen frühzeitig erkennen und an deren Lösung arbeiten. Grundlagenforschung, die neue Erkenntnisse bringt und neue Möglichkeiten eröffnet, und angewandte Forschung, die einen aktuellen Praxisbezug aufweist, haben für uns den gleichen Stellenwert. Wir arbeiten strategisch mit dem Fraunhofer Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM zusammen, das von Professoren aus dem Heinz Nixdorf Institut geführt wird.

Engagement in der Nachwuchsförderung

Wir engagieren uns intensiv in der Lehre und der Ausbildung unserer Studierenden, Doktorand*innen und mit dem Ziel, ihnen die erforderlichen Kompetenzen für die Gestaltung der Zukunft zu vermitteln.

Messbare Ziele

Der Erfolg strategischen Agierens muss sich messen lassen; wir setzen uns drei Hauptziele:

1) Die Forschungsleistung soll herausragend sein. Wir messen sie an unserem Drittmittelaufkommen, an der Anzahl der Promotionen und Habilitationen sowie an der Anzahl von Publikationen in angesehenen Organen.
2) Unsere Arbeit soll in der Wirtschaft zu innovativen Produkten, Dienstleistungen und Leistungserstellungsprozessen führen. Indikatoren sind die Anzahl von Kooperationen mit der Wirtschaft und die Anzahl der Ausgründungen.
3) Unsere Absolvent*innen sollen einen adäquaten Arbeitsplatz in der Wirtschaft bzw. im wissenschaftlichen Umfeld erhalten.

Damit folgen wir der Intention von Heinz Nixdorf, dem Initiator unseres Instituts.

Our guiding principles

We are currently experiencing a shift away from a multitude of national industrial societies towards a single global information society. Information and communication technology pervade all areas of life; yesterday's borders are no longer relevant today. The crucial challenges of the modern age demand innovations that will eventually replace what we have come to know and trust. As a result, the number of people working outside the classic areas of industrial employment continues to fall; many of them regard the change as a threat and strive to preserve the status quo. This shift, however, also opens up a huge range of opportunities and creative possibilities. Completely new jobs and service areas are emerging. We have the skills, knowledge and energy to shape tomorrow's world. We want to apply them to the creation of attractive prospects and confidence in the future.

Prosperity requires engagement, engagement requires innovation, innovation requires education. This is the guiding principle behind what we do.

Intelligent technical systems for the markets of tomorrow

The symbiosis of computer science and engineering forms the core of our research. The resulting impulses are a catalyst for the intelligent technical systems and corresponding services for the global markets of tomorrow. We want our work to contribute to the creation of new employment opportunities, the preservation of the current level of prosperity and the promotion of sustainable development.

Balance between fundamental research and applied research

We want to be a leading research institute. To achieve this goal, we need to send the right impulses for industry to put into practice. We also need to anticipate the problems of tomorrow early on and work on finding solutions. We attach the same importance to fundamental research – which reveals new insights and opens up new opportunities – as we do to applied research, with its vital practical relevance. We cooperate strategically with the Fraunhofer Institute for Mechatronic Systems Design IEM, run by professors from the Heinz Nixdorf Institute.

Commitment to supporting young talent

We are deeply committed to providing our students and postgraduate doctoral candidates with all training and education required to equip them with the skills and knowledge they will need to shape the future.

Measurable goals

Any action strategy must be measurable in terms of success. We set ourselves three main benchmark objectives:

1) Excellent research performance. Our measurement criteria are the amount of third-party funding, the number of doctoral and postdoctoral degrees awarded and the number of publications in reputable journals.
2) Creating real benefits for the economy that result in innovative products, services and operational processes. Our measuring indicators here are the number of cooperation agreements with industry and the number of new spin-off companies.
3) The placement of our graduates in suitable employment in industry or in scientific circles.

The pursuit of these principles follows the intention of Heinz Nixdorf, the initiator of our institute.

Unser Forschungsprogramm

Wir haben technische Systeme im Blick, die auf dem Zusammenwirken von Ingenieur-, Naturwissenschaften und Informatik beruhen. Typisch für derartige Systeme sind die Erzeugnisse der Informations- und Kommunikationstechnik, des Maschinenbaus, der Verkehrstechnik, der Elektroindustrie und der Medizintechnik. Der Markterfolg der Erzeugnisse dieser Industrien wird stark bestimmt durch Ressourceneffizienz, Usability und Verlässlichkeit.

Die technischen Systeme von morgen müssen sich durch Ressourceneffizienz, Usability und Verlässlichkeit auszeichnen.

- Ressourceneffizienz: Damit orientieren wir uns am Leitbild der nachhaltigen Entwicklung; Handlungsbereiche sind beispielsweise energieeffiziente Maschinen und Kraftfahrzeuge, „green IT“ usw.
- Usability: Technische Systeme sollen zunehmend intelligente und aktive Schnittstellen haben, die eine natürliche und intuitive Bedienung erlauben. Dazu werden sie moderne Interaktionen wie aktive Displays, Berührung, Gesten oder Sprache nutzen, die Informationen situationssensitiv verarbeiten, Bedienungsunterstützung (teil-)selbstständig anbieten und sich dabei an den Nutzer anpassen. Die hier adressierten Systeme müssen dem Benutzer nachvollziehbar erklären können, warum sie welche Aktion durchführen.
- Verlässlichkeit: Diese in der Informatik definierte Eigenschaft schließt die Verfügbarkeit, die Zuverlässigkeit und die Sicherheit von technischen Systemen ein und gewährleistet die Vertraulichkeit.

Durch die digitale Transfomation erfährt der Umgang mit Daten eine erheblich größere Bedeutung; es entstehen neue Geschäftsmodelle, welche etablierte Wertschöpfungsketten völlig umgestalten.

Dies erfordert neue Ansätze zur Gestaltung der technischen Systeme von morgen: Die Informationstechnik und auch nichttechnische Disziplinen, wie die Kognitionswissenschaft und die Neurobiologie, bringen eine Vielfalt an Methoden, Techniken und Verfahren hervor, mit denen sensorische, aktorische und kognitive Funktionen in technische Systeme integriert werden, die man bislang nur von biologischen Systemen kannte. Derartige Systeme bezeichnen wir als Intelligente Technische Systeme. Der Entwurf, die Kontrolle und die Realisierung solcher Systeme erfordern neuartige Herangehensweisen und stellen die interdisziplinäre Forschung vor neue Aufgaben.

Dazu befassen wir uns mit Vorgehensmodellen, Spezifikations- und Modellierungstechniken, Entwurfs- und Testmethoden, IT-Werkzeugen zur Synthese und Analyse und technologischen Konzepten, die wir sowohl disziplinspezifisch weiterentwickeln wie auch in gemeinsamen Forschungsprojekten zusammenführen. Vor diesem Hintergrund ergibt sich für uns eine ausgezeichnete Möglichkeit zur Profilierung: Wir wollen uns als das

Our research programme

We focus on technical systems that are based on the interplay between engineering, science, and informatics. Typically, such systems yield products in the field of information technology, communication technology, mechanical engineering, automotive and transport engineering, and the electrical industry. The market success of products deriving from these industries will be largely determined by resource efficiency, usability, and reliability.

The technical systems of tomorrow must display resource efficiency, usability, and reliability.

- Resource efficiency: We are guided by the principles of sustainable development, with areas of action including energy-efficient machinery and vehicles, “green IT”etc.
- Usability: Technical systems are required to possess more and more intelligent and active interfaces allowing users natural and intuitive handling. These systems will encourage modern interaction using displays, touch, gesture, or speech for flexible information processing according to the situation, as well as offering partly or wholly independent operator assistance adapted to the needs of the individual user. The systems addressed here must be able to give the user a clear explanation of why certain actions are carried out.
- Reliability: The clearly-defined IT term comprises the availability, dependability, and security of technical systems and is an expression of their ensured confidentiality.

Digital transformation means that data handling is becoming significantly more important; new business models are being created that completely reconfigure established value chains.

This requires new approaches to designing the technical systems of the future: information technology and also non-technical disciplines such as cognitive science and neurobiology provide a wide range of methods, technologies and processes that enable sensor, actuator and cognitive functions previously only found in biological systems to be integrated into technical systems. Such systems are termed intelligent technical systems; their design, control, and realisation require new approaches and presents interdisciplinary research with new challenges.

We work with procedure models, specification and modelling techniques, design and testing methodology, IT tools for synthesis and analysis, and technological concepts, which we develop further specific to each discipline and also together in joint research projects. This contexts provides us with an outstanding profiling opportunity: we want to position ourselves as a leading institute in the interdisciplinary design of intelligent technical systems.

Structuring our research programme

We structure our research programme in the two dimensions research competencies and application areas. The dimension research competencies elucidates the emphases of our

führende Institut auf dem Gebiet interdisziplinärer Entwurf für Intelligente Technische Systeme positionieren.

Strukturierung unseres Forschungsprogramms

Wir gliedern unser Forschungsprogramm entlang der Dimensionen Forschungskompetenzen und Anwendungsbereiche. Forschungskompetenzen verdeutlichen die Schwerpunkte unserer Forschungsarbeiten; Anwendungsbereiche zeigen, wofür wir diese Kompetenzen einsetzen, um gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Nutzen zu erzeugen.

Forschungskompetenzen

Als interdisziplinäres Forschungsinstitut bündeln wir die Kompetenzen unserer Fachgruppen im Hinblick auf die gemeinsam erarbeitete Zielsetzung des Entwurfs intelligenter technischer Systeme. Unser Fokus liegt heute auf folgenden fünf Bereichen:

1) Lernfähigkeit, Adaptivität und Regelung: Wir können heute das Phänomen beobachten, dass technische Systeme selbst in hochkomplexen, sich dynamisch verändernden Umgebungen funktionieren, vielfach ohne zentrale Koordination. Ermöglicht wird dies durch die Kombination klassischer Regelungs- und Steuerungstechnik mit modernen Methoden der künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens, die solchen Systemen ein hohes Maß an Autonomie verleihen und mit der Fähigkeit der datengetriebenen Anpassung ihres Verhaltens ausstatten.
2) Mechatronik, Sensorik und Kommunikation in verteilten Systemen: In verteilten Systemen agiert eine mechatronische Komponente in einem Verbund vernetzter Teilsysteme, die kommunizieren und kooperieren. Es sind Softwarelösungen gefragt, die eine nachweisbare Übertragungsqualität garantieren. Wichtig, um dieses Ziel zu erreichen, sind mehrschichtige Softwarearchitekturen.
3) Safety und Security: Die Betrachtung von Safety-Eigenschaften ist eine Kernfragestellung im Entwurf Intelligenter Technischer Systeme und Bestandteil heutiger Entwicklungsmethodiken. Ziel ist es, diese Methodiken so zu erweitern, dass die entworfenen Systeme „Secure by Design" sind, also aufgrund ihres Entwurfs auch aktiven Angriffen möglichst gut standhalten können. Im Gegensatz zur Safety-Problematik bedarf dies insbesondere einer Minimierung der Angriffsfläche und somit der notwendigen Funktionalität.
4) Entwurfsmethodik: Im Sinne der Nutzerzentrierung steht „Voice of the Customer" im Mittelpunkt der Entwurfsmethodik. Nur so können Zusatzfunktionen und -dienste identifiziert werden, die den Endkunden überraschen und begeistern. Ziel ist eine durchgängige modellbasierte Entwurfsumgebung, die bei den Anforderungen beginnt und sämtliche Phasen des Entwurfs bis zur Inbetriebnahme umfasst.
5) Strategische Planung und Akzeptanz: Die konsequente Ausrichtung am Kundennutzen führt zu Systemen, die den Kunden begeistern. Hierfür muss Kenntnis über die Verwendung ähnlicher Produkte gewonnen werden. Auf dieser Datenbasis werden Anwendungsszenarien generiert.

Anwendungsbereiche

Angestrebt ist die Realisierung konkreter technischer Systeme, die Nutzen stiften bzw. Bedürfnisse erfüllen. Dies soll in enger Zusammenarbeit mit der Wirtschaft erfolgen. So fördern wir den Austausch mit der Praxis und validieren die von uns erarbeiteten Verfahren. Folgende Anwendungsbereiche sind für uns relevant:

1) Intelligente Technische Systeme, Cyber-Physical Systems
2) Verteilte IT-Systeme, Plattformen
3) Soziotechnische Systeme, Märkte

research work. The dimension application area shows the purpose for which we use our competencies in order to induce societal and economic value.

Research expertise

As an interdisciplinary research institute, we combine the research expertise of our different workgroups to achieve the jointly defined objective of designing intelligent technical systems. Our current common focus is on the following five areas:

1) Learning capacity, adaptivity and regulation: Today, we observe the phenomenon that technical systems are working even in highly complex and dynamically changing environments, and often without central coordination. This becomes possible through the combination of traditional control engineering with modern methods from artificial intelligence and machine learning, which allow such systems to act autonomously and to adapt their behavior in a data-driven manner.
2) Mechatronics, sensing, and communication in distributed systems: In distributed systems mechatronic components operate in a network and represent individual subsystems which communicate and cooperate with each other. Software solutions are needed which guarantee quality of service. Furthermore multi-layered software architectures are needed to achieve this goal representing an important research goal.
3) Safety and Security: Safety properties have long been of interest in the engineering of intelligent technical systems, which is why their assurance is an essential part of current engineering methodologies. Right now the institute's goal is to extend those methodologies such that the engineered systems will be "secure by design", i.e., by design can withstand malicious attacks. In contrast to safety engineering, this requires a minimization of the system's attack surface, and hence also it's required functionality.
4) Design methodology: The "Voice of the Customer" is at the center of a customer-oriented design methodology. Only in this way functions and services which generate added value for the customer can be identified surprising and exciting the end customer. An important target is a comprehensive model-based design environment which starts at the requirement definitions and comprises all phases of the design.
5) Strategic planning and acceptance: The consequent orientation on customer value leads to systems which excite the customer. To this end the knowledge about the way similar products are used by the customer has to be gained. On the basis of such data application scenarios are generated.

Fields of application

Here, our emphasis lies on the implementation of real technical systems offering real benefits or fulfilling real requirements. This process should be carried out in close collaboration with the business sector, thus promoting the exchange of experiences and practices and validating the tried and tested procedures we have created. The following fields of application are currently the most important from our point of view:

1) Intelligent Technical Systems, Cyber-Physical Systems
2) Distributed IT-Systems, Platforms
3) Sociotechnical Systems, Markets

Unsere Fachgruppen

Prof. Dr.-Ing. Christoph Scheytt, Prof. Dr. Reinhold Häb-Umbach, Prof. Dr. Eric Bodden, Prof. Dr. math. Friedhelm Meyer auf der Heide,
Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler, Prof. Dr.-Ing. habil. Ansgar Trächtler, Jun. Prof. Dr. Suzana Alpsancar, Prof. Dr. René Fahr, Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu (v. l./LTR)

Fachgruppen des Instituts

Secure Software Engineering
Prof. Dr. Eric Bodden

Advanced Systems Engineering
Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu

Behavioral Economic Engineering and Responsible Management
Prof. Dr. René Fahr

Produktentstehung
Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler

Nachrichtentechnik
Prof. Dr. Reinhold Häb-Umbach

Data Science
Prof. Dr. Axel-Cyrille Ngonga Ngomo

Schaltungstechnik
Prof. Dr.-Ing. Christoph Scheytt

Regelungstechnik und Mechatronik
Prof. Dr.-Ing. habil. Ansgar Trächtler

Assoziierte Fachgruppe

Angewandte Ethik, Technikethik
Reflexion der technisch-wissenschaftlichen Kultur
Jun. Prof. Dr. Suzana Alpsancar

Workgroups

Workgroups of the institute

Secure Software Engineering
Prof. Dr. Eric Bodden

Advanced Systems Engineering
Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu

Behavioral Economic Engineering and Responsible Management
Prof. Dr. René Fahr

Product Creation
Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler

Communications Engineering
Prof. Dr. Reinhold Häb-Umbach

Data Science
Prof. Dr. Axel-Cyrille Ngonga Ngomo

System and Circuit Technology
Prof. Dr.-Ing. Christoph Scheytt

Control Engineering and Mechatronics
Prof. Dr.-Ing. habil. Ansgar Trächtler

Associated Workgroup

Applied Ethics, Ethics of Technology
Jun. Prof. Dr. Suzana Alpsancar

Secure Software Engineering

Prof. Dr. Eric Bodden

Secure Software Engineering

Prof. Dr. Eric Bodden

Publikationen
Publications

You can find all publications of the workgroup at **ris.upb.de/record?cql=department=76**

Promotionen
PhD Theses

Andreas Dann
Secure Use of Open-Source Software – A Systematic Study and Techniques for Java
Der Code moderner Software besteht häufig bis zu 75% aus Open-Source Software. Während die Integration von Open-Source Software es erlaubt, schnell neue Systeme zu programmieren, birgt sie auch das Risiko, bekannte Sicherheitslücken in eigene Systeme zu integrieren. Welche Konsequenzen Sicherheitslücken in eingebundener Open-Source Software haben, hat die Sicherheitslücke Log4Shell im Jahr 2021 gezeigt, durch die Systeme von Unternehmen wie Microsoft, Apple und Google, angreifbar waren.
In der Arbeit werden auf Basis einer industriellen Fallstudie Herausforderungen bei der sicheren Integration von Open-Source aufgezeigt. Darauf aufbauend werden der Benchmark Achilles und das Werkzeug UpCy entwickelt, um unsichere Open-Source Software zuverlässig zu identifizieren und automatisch zu aktualisieren ohne neue Fehler einzuführen. Abschließend werden mittels der entwickelten statischen Codeanalyse ModGuard Java Module bzgl. ihrer Fähigkeit analysiert, Open-Source Software so zu integrieren, dass das Risiko auftretender Sicherheitslücken minimiert wird.

Thorsten Koch
Specification and Verification of Security Protocols and their Utilization in Scenario-based Requirements Engineering
Security Protokolle spielen eine zentrale Rolle, um die Kommunikation von software-intensiven Systemen vor Cyberangriffen zu schützen. Die korrekte Spezifikation und Anwendung dieser Protokolle ist jedoch langwierig und fehleranfällig. Mit Hilfe des symbolischen Model-Checkings wird überprüft, ob die Spezifikation korrekt ist und das Protokoll die gewünschten Eigenschaften aufweist. Allerdings reicht ein einzelner Model-Checker nicht aus, um das Protokoll vollständig zu verifizieren. Stattdessen müssen mehrere Model-Checkers verwendet werden. Dies führt zu einer zeitaufwändigen und fehleranfälligen Modellierung desselben Protokolls in verschiedenen Eingabesprachen. Darüber hinaus adressieren die heutigen Ansätze zum Requirements Engineering entweder funktionale oder sicherheits-bezogene Anforderungen. Es ist daher schwer zu beurteilen, ob die spezifizierten Maßnahmen ausreichen, um das System abzusichern, und ob die Maßnahmen zu Konflikten mit anderen funktionalen Anforderungen führen.
Ziel dieser Arbeit ist ein modellbasierter Ansatz zur Spezifikation und Verifikation von Security Protokollen sowie deren Verwendung im szenario-basierten Requirements Engineering. Auf Basis einer UML-konformen Modellierungssprache können Protokolle spezifiziert und automatisch in die Eingabesprache verschiedener Model-Checker überführt werden. Zudem können die spezifizierten Protokolle mit Hilfe eines template-basierten Ansatzes systematisch in eine Anforderungsspezifikation integriert werden.

Philipp Schubert
Scaling Static Whole-Program Analysis to Modern C and C++ Software Development
Statische Analysen mit dem Ziel Bugs und Sicherheitslücken zu finden, müssen präzise und inter-prozedural, d.h. das gesamte Programm umfassend, sein, um Ergebnisse berechnen zu können, die Entwickler:innen tatsächlich helfen. Analysen, die das gesamte Programm überspannen, führen jedoch leider oftmals zu unzureichender Performanz.
Traditionelle inter-prozedurale Analysen passen leider auch nicht mit den modernen Arbeitsabläufen in der Softwareentwicklung zusammen, welche insbesondere durch die häufige Verwendung von Bibliotheken und den Einsatz von continuous integration/continuous deployment Ansätzen gekennzeichnet sind. Hierdurch wird die Performanz soweit reduziert, dass solche Whole-Program-Analysen praktisch undurchführbar werden.
Um das herausfordernde Problem der Skalierbarkeit von präziser, statischer Whole-Program-Analyse zu adressieren, machen wir uns den Umstand zu nutze, dass nahezu jedes ernsthafte Softwareprojekt mit Hilfe eines Systems zur Versionsverwaltung wie etwa Git, Mercurial oder Apache Subversion organisiert wird. Ausgehend von einem “rohen” Repository, welches nur den zu analysierenden Source Code enthält, reichern wir dieses mit zusätzlichen persistierten statischen Analyseinformation an, um Whole-Program-Analysen in der Praxis doch zu ermöglichen.
Das erste Problem, welches bei der Analyse von C und C++ Software gelöst werden muss, ist, dass jedes nicht-triviale Programm auf Grund des Präprozessors in einer gemischten Sprache geschrieben ist und dadurch eine Software-Produktlinie darstellt. Aus diesem Grund präsentieren wir VarAlyzer, einen varabilitäts-bewussten statischen Analyseansatz, der Software-Produktlinien stattdessen als Ganzes analysiert.
Um die unnötige wiederholte Analyse von Bibliothekskomponenten, die sich von einem Analyselauf zum nächsten nicht ändern, zu vermeiden, führen wir den kompositionalen Analyseansatz ModAlyzer ein, der Bibliothekskomponenten analysiert und zusammenfasst. Die Analysezusammenfassungen können dann eingesetzt werden, wenn die eigentliche Anwendung analysiert wird, um die Analysezeiten siginifikant zu reduzieren.
Um weitere unnötige, wiederholte Analysen für Programmteile zu vermeiden, die häufigen Änderungen unterliegen stellen wir IncAlyzer vor. IncAlyzer nutzt die Informationen zu den Commits eines Projekts aus, die durch die Versions-Kontrollsysteme der Zielprojekte bereit gestellt werden. Mit diesen Informationen werden Analysen lediglich für die Programmteile erneut berechnet, die sich tatsächlich geändert haben. Dies reduziert die Laufzeiten auch für tiefe, semantische Programmanalysen auf ein Minimum.
Wir haben unsere Analyseansätze in PhASAR implementiert. PhASAR ist unser neues statisches Analyserahmenwerk, welches auf die Analyse von real-welt C und C++ Programmen abzielt und dies ermöglicht, indem es präzise Gesammtprogrammanalysen auf moderne Softwareentwicklung abstimmt. Wir zeigen, dass PhASAR – der Host von VarAlyzer, ModAlyzer und IncAlyzer – nicht nur auf dem Papier gut assieht, sondern einen tatsächlichen Nutzen aufweist und echte Probleme lösen kann.
Dazu stellen wir zwei interessante Projekte aus dem akademischen Umfeld und einem großen Industrieprojekt mit einem führenden Telekommunikationskonzern vor in denen PhASAR erfolgreich eingesetzt werden konnte.

Messen, Tagungen, Seminare
Fairs, conferences, seminars

SE24 Software Engineering 2024
26.02. – 01.03.2024, Linz

Secure Software Supply Chain Summit im SICP
7.03.2024, Paderborn

46th International Conference on Software Engineering (ICSE 2024)
14. – 20.04.2024, Lissabon, Portugal

SootUp Hackathon 2024
5.06.2024, Paderborn, Germany

LuK-Direktorium
24.05.2024, Stuttgart

45th ACM Sigplan Conference on Programming Language Design Implementation - PLDI 2024
23. – 28.06.2024, Kopenhagen, Dänemark

Tag der IT-Sicherheit
2. – 4.09.2024, Paderborn

Heise devSec
25. – 26.09.2024, Köln

2024 IEEE Secure Development Conference (SecDev)
7. – 10.10.2024, Pittsburgh, USA

Acatech, Themennetzwerk Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT)
15.10.2024, Berlin

Patente, Preise, Auszeichnungen
Patents, prizes, awards

- März 2024: Distinguished Reviewer Award at International Conference on Software Engineering (ICSE)
- April 2024: ERC Advanced Grant, on Self-Optimizing Static Analysis
- Elected member of the Review Board Software Engineering of the German Research Foundation (DFG)
- Elected member of acatech - National academy of science and engineering

Weitere Funktionen
Additional functions

Editorships:
- Associate Editor of the ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM), since 2020
- Guest Editor for the Open Continuous Special Section on Security and SE at the ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM), since 2020

Co-Organizer:
- Chair of selection committee for the Ernst Denert Software Engineering Prize
- IEEE Secure Development Conference (SecDev) 2024, PC Chair

Program Committee memberships:
- International Conference on Software Engineering (ICSE) 2024

Advisory Board Memberships:
- Expert Reviewer, Software Security Knowledge Area, Cyber Security Body of Knowledge project (http://www.cybok.org/).
- Compositional Risk Assessment and Security Testing of Networked Systems(RASEN), EU FP7

Sponsorship chair:
- International Symposium on Software Testing and Analysis (ISSTA) 2024

Reviews of Grant Proposals for Funding Agencies:
- Reviewer for variety of journals

Spin-Offs
Spin-offs

- CodeShield

Aktuelle Forschungsprojekte
Current research projects

DFG-Projekt CROSSING 3 – Kryptographiebasierte Sicherheitslösungen als Grundlage für Vertrauen in heutigen und zukünftigen IT-Systemen
Im Rahmen des DFG Sonderforschungsbereichs 1119, CROSSING, leiten wir das Projekt Secure Integration of Cryptographic Software. Zusammen mit Mira Mezinis Software Technology Group erforschen wir Mittel, um Entwicklern bei der sicheren Integration von kryptographischen Bibliotheken zu unterstützen.
Förderung: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Laufzeit: 1.07.2022 – 30.06.2026

Automatisierte Risikoanalyse unter Berücksichtigung von Open-Source-Abhängigkeiten (Hektor)
Dieses Transferprojekt baut auf der Forschung des Sonderforschungsbereichs 901 "On-The-Fly Computing" auf. Es erforscht, wie Techniken aus der Qualitätssicherung von Dienstleistungen in On-The-Fly-Dienstleistungsmärkten auf das drängende Problem des sicheren Managements von Open-Source-Abhängigkeiten in großen Software-Entwicklungsökosystemen angewendet werden können.
Das Projekt zielt insbesondere darauf ab, neue Techniken zu erforschen, zu entwickeln und zu bewerten, um die Einbeziehung bekanntermaßen anfälliger Abhängigkeiten von Drittanbietern in Softwarekompositionen effizient und präzise zu erkennen und zu entschärfen. Das Projekt zielt darauf ab, eine Open-Source-Toolchain namens HEKTOR zu entwickeln, die die sichere Entwicklung von Anwendungen und Diensten unterstützt. Zu diesem Zweck baut das Projekt direkt auf den jüngsten Entwicklungen des CRC-Teilprojekts B4 auf, das vom PI Prof. Bodden mit geleitet wird. Diese Entwicklungen sollten im Prinzip eine präzise und effiziente Analyse von Software-Artefakten in großem Maßstab ermöglichen. Das Projekt zielt darauf ab, die entwickelten Techniken zu erweitern und ihre Wirksamkeit in einer realen Umgebung bei dem Partnerunternehmen SAP SE zu validieren.
Das Werkzeug HEKTOR wird es Entwicklern ermöglichen, das mit der Verwendung von Abhängigkeiten von Drittanbietern verbundene Risiko zu bewerten. Durch neu entdeckte Techniken für ein effektives Fingerprinting wird HEKTOR in der Lage sein, Schwachstellen auch

dann zuverlässig zu identifizieren, wenn der betreffende Code neu gepackt oder aus dem Quellcode neu kompiliert wurde - eine in der Praxis häufig anzutreffende Herausforderung. Darüber hinaus ermöglicht HEKTOR Entwicklern durch Gegenmaßnahmen wie die automatische Minimierung von Bibliotheken, die Angriffsfläche ihrer Anwendungen zu minimieren und deren Ausführung auch gegen bestimmte, noch unbekannte Schwachstellen wirksam abzusichern.
In Zusammenarbeit mit SAP, einem weltweit führenden Unternehmen in der Entwicklung und Bereitstellung von Cloud-Diensten für den Business-to-Business-Bereich, wollen wir HEKTOR so implementieren und evaluieren, dass es in großem Maßstab und für eine Vielzahl von realen Softwareentwicklungsprojekten eingesetzt werden kann.
Förderung: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Laufzeit: 1.09.2021 – 31.08.2024

SFB 901 – Zuverlässige und automatisierte codebasierte Analyse von Open-Source-Abhängigkeiten (Reaktor T05)
Dieses Transferprojekt baut auf Forschungen des Sonderforschungsbereichs 901 "On-The-Fly Computing" auf. In diesem Transferprojekt erforschen wir, wie Techniken aus der Qualitätssicherung von Diensten in On-The-Fly-Dienstleitungsmärkten auf das drängende Problem der sicheren Verwaltung von Open-Source-Abhängigkeiten in großen Softwareentwicklungsumgebungen zuverlässig und automatisiert angewendet werden können.
Insbesondere zielt das Projekt darauf ab, neuartige Techniken zu erforschen, zu entwickeln und zu bewerten, um die Erkennung und Minderung bekannter verwundbarer Drittanbieterabhängigkeiten innerhalb von Softwarekompositionen zu ermöglichen. Diese Techniken sollen zuverlässig auf groß angelegte Anwendungen in vollautomatisierter Weise angewendet werden können. Zu diesem Zweck soll das Projekt auf den Ergebnissen des Transferprojekts T3 des Sonderforschungsbereichs aufbauen, das von Prof. Bodden geleitet wird. Es wird das im Transferprojekt T3 entwickelte Tool HEKTOR erweitern und zusätzliche Funktionen hinzufügen, um die Analyse von groß angelegten Software-Systemen zu ermöglichen, die aktuelle Ansätze nicht bewältigen können. Das Projekt beabsichtigt, die entwickelten Techniken zu erweitern und ihre Wirksamkeit in einer realen Umgebung beim Partnerunternehmen SAP SE zu validieren.
Das Tool REAKTOR wird Mitel bereitstellen, um die Entwicklung von Sicherheitslösungen zuverlässig zu verfolgen und sie in ihre Bytecode-Repräsentation umzuwandeln, um sie mit in den Anwendungen in Entwicklung enthaltenen Open-Source-Abhängigkeiten zuverlässig abgleichen zu können. Darüber hinaus wird durch gezielte Mikroausführung relevanter Codeabschnite auf bisher unerforschte dynamische Programmierungsmerkmale eingegangen, wodurch Lücken in der Erreichbarkeitsanalyse von HEKTOR geschlossen werden. Dies wird mit Hilfe eines Benchmark-Generators bewertet, der anspruchsvolle Testfälle mit einer vollständigen Basiswahrheit erzeugt. In Kombination mit dem Tool HEKTOR wird REAKTOR in der Lage sein, Schwachstellen zuverlässig und vollautomatisiert zu identifizieren, ihr potenzielles Ausmaß zu bewerten und die Angriffsfläche in groß angelegten Anwendungen zu minimieren, selbst wenn diese modifiziert sind.
In Zusammenarbeit mit SAP, einem weltweit führenden Unternehmen für die Entwicklung und Bereitstellung von Cloud-Services für Business-to-Business, streben wir an, REAKTOR so zu implementieren und zu evaluieren, dass es für den Einsatz in großem Maßstab und für eine große und vielfältige Auswahl an Softwareentwicklungsprojekten bereit ist.
Förderung: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Laufzeit: 1.10.2024 – 30.09.2026

SAIL – SustAInable Life-cycle of Intelligent Socio-Technical Systems
SAIL adressiert die nächste Stufe der KI-Entwicklung, indem der gesamte Lebenszyklus von KI-Systemen und deren technologischen und gesellschaftlichen Auswirkungen in den Blick genommen werden. SAIL ist dementsprechend interdisziplinär angelegt und bindet Wissenschaftler*innen aus den Kern-KI-Fächern, aus den Ingenieurwissenschaften sowie aus den Sozial- und Geisteswissenschaften ein.
Das Forschungsprogramm umfasst inhaltlich Grundlagenforschung im Kernbereich der KI („research pillars“) sowie zwei Anwendungsgebiete („application domains“). In der Grundlagenforschung werden zum einen das Zusammenspiel von KI und menschlichen Partnern bei der Bewertung und Abstimmung von Fehlern und Zielen betrachtet. Außerdem werden ausgereifte KI-Systeme analysiert, um deren möglicherweise unerwünschten langfristigen Auswirkungen auf funktionaler, kognitiver und gesellschaftlicher Ebene zu modellieren, abzufedern und zu verhindern. Zuletzt wird der gesamte KI-Lebenszyklus im Hinblick auf Effizienz betrachtet, damit der praktische Einsatz von KI-Systemen mit möglichst wenig Energie-, Zeit- und Speicherbedarf und geringer kognitiver Anstrengung beim menschlichen Partner ermöglicht wird.
Die Anwendungsgebiete von SAIL sind intelligente industrielle Arbeitsumgebungen und adaptive Assistenzsysteme für die Gesundheitsfürsorge.
Förderung: Ministerium für Kultur und Wissenschaft des Landes NRW
Laufzeit: 1.08.2022 – 31.07.2026

ERC-Grant: Self-Optimizing Static Program Analysis
Softwaresysteme durchdringen unser privates und berufliches Leben, doch ihre Unsicherheit bedroht unsere Gesellschaft. Um zu gewährleisten, dass Softwaresysteme zuverlässig und sicher sind, muss man sich Gedanken über ihren Code machen. Die statische Programmanalyse ermöglicht solche Überlegungen. Sie kann auf einzelne Softwarekomponenten angewendet werden und nicht nur das Vorhandensein, sondern auch das Nichtvorhandensein von Fehlern und Schwachstellen nachweisen. Um für Softwareentwickler nützlich zu sein, müssen statische Analysen jedoch an den Kontext angepasst werden, in dem sie eingesetzt werden. Studien zeigen, dass schlecht angepasste Analysen die Entwicklung eher verlangsamen als unterstützen. Sie melden große Mengen falscher Warnungen, die die Entwickler von den tatsächlichen Fehlern ablenken, die die Analysen oft übersehen. Sie laufen oft so lange, dass Ergebnisse gemeldet werden, wenn sie bereits veraltet sind.
Die wichtigste Forschungshypothese von SOSA ist, dass man präzise und effiziente statische Analysen von Softwaresystemen erstellen kann, indem man die statische Analyse selbstbewusst und selbstoptimierend macht. Mit SOSA führt eine statische Analyse Analysen und Optimierungen nicht nur von Programmen, sondern von sich selbst durch. Dies ist ein bahnbrechender Paradigmenwechsel: Keine bisherige Forschung hat komplexe Programmanalysen selbst als primäres Objekt der automatisierten Analyse und Optimierung betrachtet.
SOSA wird zum ersten Mal statische Analysen einführen, deren Ausführung nicht von ihren Schöpfern vordefiniert werden, sondern von vornherein selbstadaptiv sind. Im Ergebnis passen sich die Analysen automatisch an,

um einen optimalen Kompromiss zwischen Leistung und Genauigkeit zu erzielen, je nachdem, wie die Analyse eingesetzt wird und welches Programm sie analysiert. Mit SOSA werden statische Analysen echte und relevante Warnungen bei minimaler Analysezeit melden, ohne dass manuelle Optimierungen durch den Endbenutzer erforderlich sind.
SOSA wird die Forschung auf dem Gebiet der Programmanalyse vorantreiben, indem es die Landschaft der Optimierungen statischer Analysen abbildet und zeigt, wie und wo sie am besten eingesetzt werden. Indem es Softwareentwicklern ermöglicht, statische Analysen optimal und einfach einzusetzen, wird SOSA zur Sicherheit von Millionen von Softwaresystemen beitragen.
Förderung: Europäischen Forschungsrat (ERC, European Research Council)
Laufzeit: 1.11.2024 – 30.09.2029

Spezifizierbare Erkennung von API-Falschverwendungen in CI Pipelines
Die korrekte Verwendung von APIs ist entscheidend für die Vermeidung von fehlerhaftem und unsicherem Code. Für Datensicherheit sind besonders kryptographische APIs wichtig, aber auch allgemeine (alle anderen) APIs müssen richtig verwendet werden, um sichere Software mit hoher Qualität zu entwickeln. Um die sichere und richtige Verwendung von APIs zu überprüfen, werden in der Praxis statische Analysewergzeuge eingesetzt.
Von Anfang an ist die Fachgruppe "Secure Software Engineering" Teil des Sonderforschungsbereichs SFB 1119 CROSSING, in dem an kryptographischen Lösungen für die Zukunft geforscht wird. Eine erfolreiche Entwicklung aus dieser Forschung ist das statische Analysewerkzeug CogniCrypt. CogniCrypt erkennt die Falschverwendung von kryptographischen APIs. Dazu verwendet CogniCrypt den sogenannten Erlaubnislistenansatz, bei dem die gewünschte, sichere Nutzung von kryptographischen APIs in Form von Regeln spezifiziert wird. CogniCrypt konfiguriert seine Analyse entsprechend des gewählten Regelsatzes und meldet bei jeder Nichteinhaltung eine Warnung. Auf diese Weise werden Entwickler*innen, die CogniCrypt einsetzen, auf sicherheitsrelevante Fehler aufmerksam gemacht und können diese korrigieren.
Dieser erfolgreich erprobte Ansatz wird nun weiter untersucht und führte im März 2023, im Rahmen des vom BMBF geförderten Software Campus, zum Start eines neuen Projekts. Ziel eines Software Campus Projekts ist es, in Zusammenarbeit mit der Industrie, praxisnahe Forschung zu betreiben. Das Projekt wird von einem Doktoranden geleitet, so dass praktische Projekterfahrungen gesammelt werden, die durch intensive Weiterbildung unterstützt und ergänzt werden.
Die Projektidee, den Ansatz von CogniCrypt zu verallgemeinern, stammt aus der Forschung sowohl zum besseren Verständnis von API-Falschverwendungen, deren Entstehung und der Klassifizierung, als auch dem dazugehörigen Klassifizierungsrahmen "FUM". Diese Forschung hat gezeigt, dass CogniCrypt sehr gut für APIs aus der Kryptographie geeignet ist, aber auch, dass andere Sprachmerkmale von API-Nutzungen in Programmiersprachen noch nicht abgedeckt sind.
Damit in Zukunft neben kryptographischen APIs auch Regeln für die korrekte Verwendung vieler anderer APIs spezifiziert werden können und daraus eine Analyse konfiguriert werden kann, wird in diesem Software Campus Projekt ein neues statisches Analysewerkzeug entwickelt, das die für allgemeine APIs erforderlichen Konfigurations-und Analysefunktionen bietet.
Die Verallgemeinerung des Erlaubnislistenansatzes bietet viele neue Möglichkeiten. Die Spezifikation von Regelsätzen für allgemeine APIs durch den Anwender ermöglicht einen flexibleren Einsatz des neuen statischen Analysewerkzeugs. Regelsätze können sowohl projektspezifisch zusammengestellt und angepasst werden, als auch für unternehmensinterne und externe APIs spezifiziert werden. Darüber hinaus können die bereits in CogniCrypt vorhandenen Regelsätze für Kryptographie, welche von Experten erstellt wurden, angewendet werden. Das bedeutet, dass das neue, allgemeine statische Analysewerkzeug die bereits aus CogniCrypt bekannte Sicherheitsanalyse für kryptografische APIs gemeinsam mit den benutzerkonfigurierten Analysen für allgemeine APIs bereitstellen kann, um auf Qualitätsmängel der entstehenden Softwareartefakte hinzuweisen.
Förderung: BMBF
Laufzeit: 1.02.2023 – 31.08.2024

Aktuelle Industriekooperationen
Current industry cooperations

- SAP, Deutschland
- Google, USA
- CodeShield GmbH, Deutschland
- Amazon Web Service, Deutschland
- SonarSource, Schweiz

Wissenschaftliche Kooperationen
Scientific cooperations

- Monash University, Australia
- University of Texas, Dallas
- University of British Columbia, Canada
- University of Waterloo, Kanada

Advanced Systems Engineering

Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu

Advanced Systems Engineering

Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu

Publikationen
Publications

You can find all publications of the workgroup at **ris.upb.de/record?cql=department=563**

Promotionen
PhD Theses

Carsten Wiecher
Systematik zur integrativen Anforderungsanalyse und Testspezifikation für die Entwicklung von Systemen im Automobilbereich
Systeme im Automobilbereich realisieren komplexe Funktionalitäten durch das Zusammenspiel in dynamisch vernetzten Systemverbünden. Die einzelnen Systeme stellen hierbei Teilfunktionen bereit, die in weitreichenden Entwicklungsnetzwerken entwickelt und zu einer durch den Anwender erlebbaren Funktionalität integriert werden. Für die erfolgreiche Entwicklung und Validierung der Systeme haben Anforderungs- und Testspezifikationen eine herausragende Bedeutung, da diese Spezifikationen die Basis für die disziplin- und organisationsübergreifende Entwicklungsarbeit sind. Es besteht jedoch die Herausforderung, Anforderungen und Tests so zu spezifizieren, dass diese niederschwellig editiert und kommuniziert werden können, gleichzeitig aber präzise die erwarteten Systemeigenschaften definieren. Diese Arbeit beschreibt einen umfassenden modellbasierten Ansatz. Ausgehend von einem zentralen Systemmodell wird die frühe und automatisierte Analyse von Anforderungen unterstützt, um schließlich vollständige und konsistente Anforderungs- und Testspezifikationen aus dem Systemmodell auszuleiten. Die geeignete Kombination von Techniken des Model-based Systems Engineering (MBSE), des Natural Language Processing (NLP) und der szenariobasierten Modellierung forciert die formale aber dennoch intuitive und somit anwendungsorientierte Spezifikation von Anforderungen und Tests.

Maurice Meyer
Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung
Die strategische Produktplanung entscheidet maßgeblich über den Erfolg neuer Produktgenerationen. Eine wertvolle Informationsquelle ist dabei die Betriebsphase der Vorgängergenerationen, die z. B. Schwächen des Produkts oder das Nutzerverhalten offenlegt. Bisher kommen verlässliche Daten- und Informationsrückkopplungen jedoch kaum zustande. Ein neuer Lösungsansatz für diese Problemstellung ist die Auswertung von Betriebsdaten cyber-physischer Systeme mit Data-Analytics-Lösungen. Die Planung und Verwertung derartiger Betriebsdaten-Analysen sind jedoch anspruchsvolle Aufgaben. Ziel der Arbeit ist eine Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. Sie umfasst vier Bestandteile. Der Erste ist ein Referenzmodell für die strategische Planung neuer Produktgenerationen. Dieses überführt die klassische strategische Produktplanung in den Produktgenerations-Kontext. Der Zweite ist ein Referenzprozess für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung. Dieser beschreibt die prozessuale Integration von Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung. Eine Methode zur Planung und eine Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen sind der dritte bzw. vierte Bestandteil. Adressaten der Systematik sind vor allem Produktmanager produzierender Unternehmen, die die strategische Weiterentwicklung eines Produkts verantworten. Die Systematik wurde mit vier Unternehmen angewendet und evaluiert.

Christoph Pierenkemper
Systematik zur Entwicklung Leistungsstufen-basierter Industrie 4.0-Strategien
Die Digitalisierung ist allgegenwärtig und führt zu einem fundamentalen Wandel in Gesellschaft und Industrie. Im industriellen Umfeld werden die damit verbundenen Veränderungen unter dem Schlagwort Industrie 4.0 (kurz: I4.0) zusammengefasst. Sie spiegeln sich sowohl in technischen als auch organisatorischen und sozialen Veränderungen wider. Unternehmen sind gezwungen, sich diesem Wandel zu stellen, ihn zu gestalten und vorteilhaft für das zukünftige Geschäft zu nutzen. Besonders für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) wird die „digitale Transformation“ aufgrund begrenzter Ressourcen zur Mammutaufgabe. Sie stehen vor der Frage, wie sie diese Aufgabe im Sinne eines evolutionären Wandels effizient planen und vollziehen sollen. Besonders die Formulierung eines Zielbildes sowie die Erarbeitung zeitlich abgestufter zielgerichteter Maßnahmen zur Erreichung der Zielposition bilden große Herausforderungen.
Ziel der Arbeit ist daher eine Systematik zur Leistungsstufen-basierten Entwicklung von I4.0-Strategien. Hierzu wird zunächst eine I4.0-Vision formuliert. Mit Hilfe eines Reifegradmodells wird daraufhin die heutige Leistungsfähigkeit des Unternehmens im Kontext von I4.0 ermittelt. Mit Methoden der Vorausschau werden anschließend denkbare zukünftige Entwicklungen der Digitalisierung antizipiert. Daraus werden mittel- und langfristige Zielpositionen abgeleitet. Zur Erreichung der Zielpositionen wird eine I4.0-Strategie formuliert, die eine stufenweise Umsetzung ermöglicht.

Sergej Japs
Framework for Developing a Cybersecurity Concept According to ISO/SAE 21434 Using Model-Based Systems Engineering
Das Weltforum für die Harmonisierung der Regelungen für Kraftfahrzeuge (UNECE WP.29) hat die UN-Regelung Nr. 155 erlassen. Sie definiert einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Fahrzeugen im Hinblick auf die Cybersicherheit und das Cybersecurity Management System (CSMS). Ein CSMS besteht aus Prozessen zur Identifizierung, Bewertung und Behandlung von Cybersicherheitsrisiken als Teil der Fahrzeugentwicklung. Ohne ein gültiges CSMS dürfen neu produzierte Fahrzeuge ab Juli 2024 in der EU nicht mehr zugelassen werden.
Die ISO/SAE 21434 beschreibt detaillierte Anforderungen an ein CSMS. Darin wird die Erstellung eines Cybersicherheitskonzepts gefordert, das aus 15 zu erstellenden Arbeitsprodukten besteht. Die Erstellung des Cybersicherheitskonzepts erfordert die Zusammenarbeit von Experten aus verschiedenen Disziplinen. Model-Based Systems Engineering (MBSE) unterstützt die Zusammenarbeit in der Konzeptphase und hilft, ein gemeinsames Systemverständnis zwischen Fachexperten aufzubauen.
In dieser Arbeit stelle ich ein Rahmenwerk vor, das die Erstellung der 15 Arbeitsprodukte der Konzeptphase mit Hilfe von MBSE unterstützt. Die Erstellung der Arbeitsprodukte erfolgt durch ein Vorgehensmodell und durch den Einsatz verschiedener von mir entwickelter Hilfsmittel. Das Ergebnis ist ein Cybersicherheitskonzept nach ISO/SAE 21434. Das Rahmenwerk wurde in drei Workshops mit Fachexperten aus dem Bereich Automotive Security Engineering am Anwendungsbeispiel Intelligenter Geschwindigkeitsassistent evaluiert. Die Glaubwürdigkeit der Arbeit durch die Experten, wurde durch einen Praxistest mit einem Testfahrzeug gestützt.

Daniel Eckertz
Instrumentarium zur Planung und Vorbereitung Augmented Reality-basierter Validierung in der Produktentwicklung
Die zunehmende Individualisierung von Produkten führt in Kombination mit dem Zeit- und Kostendruck auf globalen Märkten zu neuen Herausforderungen an die Produktentwicklung. Für eine erfolgreiche Produktentwicklung ist eine frühe und kontinuierliche Validierung mit den Kunden von enormer Bedeutung. Hier bietet die Visualisierungstechnologie Augmented Reality (AR) große Potentiale zur Effizienzsteigerung. Produkte können mit AR früh erlebt und erprobt und auch standortübergreifend validiert werden. Die technologische Komplexität von AR und der gleichzeitige Mangel an methodischer Unterstützung hindern viele Unternehmen jedoch an der Nutzung der Potentiale.
Zur *Planung und Vorbereitung AR-basierter Validierung in der Produktentwicklung* wird daher ein *Instrumentarium* erarbeitet. Das Instrumentarium unterstützt zunächst die Identifikation individueller Potentiale von AR als Validierungswerkzeug. Anschließend wird eine bedarfsgerechte Konfiguration des einzusetzenden AR-Systems ermöglicht. Darauf aufbauend werden Hilfsmittel zur aufwandsarmen Entwicklung individueller AR-Validierungssoftware bereitgestellt. Ein übergeordnetes Vorgehensmodell bildet den systematischen Rahmen und leitet die Planung und Vorbereitung an.
Die Anwendung und Evaluierung des Instrumentariums erfolgt exemplarisch anhand eines Regalbediengeräts, das individuell für einen Kunden entwickelt wird.

Nadine Niewöhner
Systematik zur Gestaltung eines ambidextren Innovationsmanagements
Zunehmend bergen wirtschaftliche, soziale, politische und vor allem technologische Veränderungen neue Innovationspotentiale. Diese stellen vermehrt ganze Branchen auf den Kopf und haben einen großen Einfluss auf das Innovationsgeschehen. Zum langfristigen Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit, müssen Unternehmen im Rahmen ihres Innovationsmanagements in der Lage sein, sowohl inkrementelle als auch radikale Innovationen zu fördern. Um dies zu erreichen, stellt die Berücksichtigung von Ambidextrie bei der Entwicklung von Innovationen einen vielversprechenden Ansatz dar. Wie Ambidextrie im Innovationsmanagement umgesetzt werden kann, welche konkreten Aufgaben dabei zu bearbeiten sind und wie der aktuelle Status quo im Unternehmen aussieht, wissen viele Unternehmen jedoch nicht zu beantworten. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher die Entwicklung einer Systematik zur Gestaltung eines ambidextren Innovationsmanagements. Diese umfasst insgesamt vier Bestandteile: ein Referenzmodell des Innovationsmanagements, ein Reifegradmodell zur Bewertung des Status quo von Ambidextrie im Innovationsmanagement, Gestaltungsoptionen zur Leistungssteigerung sowie ein Vorgehensmodell zur systematischen Gestaltung eines ambidextren Innovationsmanagements. Die Systematik unterstützt Unternehmen dabei, die Berücksichtigung von Ambidextrie im aktuellen Innovationsmanagement zu bewerten. Darüber hinaus stellt sie einen Katalog an Gestaltungsoptionen bereit, welche die Umsetzung von Ambidextrie verbessern. Exemplarisch wird die Systematik in drei Unternehmen angewendet.

Messen, Tagungen, Seminare
Fairs, conferences, seminars

Symposium für Vorausschau und Technologieplanung (SVT)
5. – 06.12.2024, Berlin

Minitrack "Data-driven Services and Servitization in Manufacturing: Innovation, Engineering, Transformation, and Management"
Im Track Decision Analytics and Service Science auf der 57th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS) von Dr.-Ing. Christian Koldewey (Heinz Nixdorf Institut), Dr. Martin Ebel (Forschungszentrum für das Engineering Smarter Produkt-Service Systeme, Ruhr-Uni Bochum), Dr. Johannes Winter (L3S Reserch Center, Universität Hannover), Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu (Heinz Nixdorf Institut und Fraunhofer IEM)
3. – 06.01.2024, Hawaii

Patente, Preise, Auszeichnungen
Patents, prizes, awards

- Reviewers' Favorite Award – 18th DESIGN Conference in Cavtat, Kroatien für das Paper "Future-Robust Product Portfolio Development: Insight into the Advancement of Product Portfolios in Companies – an Interview Study" von Michael Schlegel, Markus Just, Ingrid Wiederkehr, Carsten Thümmel, Christoph Kempf, Christian Koldewey, Roman Dumitrescu, Albert Albers

Weitere Funktionen
Additional functions

- Direktor am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik
- Geschäftsführer des Spitzencluster „Intelligente Technische Systeme OstWestfalen-Lippe" – it's OWL
- Mitglied von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
- Chairman des Advisory Boards der Two Pillars GmbH
- Mitglied des Verwaltungsrates des RKW Kompetenzzentrum (RKW Rationalisierungs- und Innovationszentrum der Deutschen Wirtschaft e.V.) des Bundeswirtschaftsministeriums
- Mitglied des Lenkungskreises der Initiative Wirtschaft & Arbeit 4.0 der NRW-Landesregierung
- Mitglied des Forschungsbeirats der Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MID e.V.
- Stellv. Vorsitzender des Forschungsbeirats der Forschungsvereinigung Smart Engineering e.V.
- Fachbeirat der Westfalen Weser Energie GmbH & Co. KG
- Mitglied im Expertenkreis des Innovationsdialogs zwischen Bundesregierung, Wirtschaft und Wissenschaft
- Mitglied in der AG Geschäftsmodellinnovationen der Plattform Lernende Systeme
- Veranstalter des Symposiums für Vorausschau und Technologieplanung (SVT)
- Mitglied der Expertengruppe acatech HORIZONTE „Advanced Systems Engineering"
- Mitglied des Technik- und Innovationsbeirats der Felix Schoeller Gruppe
- Mitglied im Promotionsausschuss des Instituts für Informatik der Universität Paderborn
- Stellvertreter in der Gruppe der Hochschullehrer*innen im Fakultätsrat der Universität Paderborn

Spin-Offs
Spin-offs

- Two Pillars GmbH
- AI Marketplace GmbH

Aktuelle Forschungsprojekte
Current research projects

FastGate - Intelligentes Monitoring und Management von automatisierten Prozeduren auf dem Flugfeld
Das Ziel des Forschungsvorhabens FastGate ist eine radikale Reduktion der Standzeit, der Betriebskosten sowie der CO2- und Lärm-Emissionen durch die Automatisierung von Abläufen auf dem Flughafenvorfeld. Das Projekt bildet die vollständige Wertschöpfung von der Entwicklung bis zur Validierung des Gesamtsystems im realen Umfeld am Flughafen ab.
Förderung: Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen
Laufzeit: 1.06.2022 – 30.05.2025

inno.venture – Innovationsmanagement mithilfe des Venture Client Modells
Ziel des Projekts ist ein Venture Client-Referenzprozess für Cluster sowie ein Instrumentarium, welches Unternehmen dabei unterstützt, die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Zusammenarbeit mit Start-ups zu schaffen.
Förderung: Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen
Laufzeit: 1.09.2022 – 31.08.2025

ZirkuPro – Ganzheitlich zirkuläre Produktentstehung für intelligente technische Systeme
Ziel des Forschungsprojekts ist eine Systematik zur ganzheitlichen zirkulären Produktentstehung für intelligent technische Systeme.
Förderung: Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfale
Laufzeit: 1.05.2022 – 30.04.2025

TuWAs – Transformations-Hub für umformtechnische Wertschöpfungsketten im Anstriebsstrang
Ziel des Projekts ist es, einen Transformations-Hub zu etablieren, der Unternehmen der Massivumformung befähigt, die Herausforderungen disruptiver Megatrends zu bewältigen.
Förderung: BMWK
Laufzeit: 1.11.2022 – 30.06.2025

URANOS-X – Untersuchung von Anforderungen, Lösungsmustern und Methoden zur Befähigung produzierender Unternehmen für GAIA-X
Ziel des Projekts ist ein Entwicklungsbaukasten, der insbesondere produzierende Unternehmen und KMU befähigt, GAIA-X Anwendungen zu planen, entwickeln und umzusetzen. Neben den Anwendungen selbst, wird auch das Unternehmen als Anbieter der Leistungen betrachtet. Es wird unterstützt, sich hinsichtlich Technologie, Geschäft, Organisation und Personal zum GAIA-X Unternehmen transformieren.
Förderung: BMBF
Laufzeit: 1.10.2022 – 30.09.2024

Product.Intelligence
Das Forschungsprojekt erarbeitet, wie das Produktmanagement auf Basis von Daten verbessert werden kann. In dem Projekt sollen die Unternehmen dazu angeleitet werden, klassische Aufgaben des Produktmanagements, wie die Planung neuer Produktfeatures, durch den Einsatz moderner Datenanalyse objektiver und erfolgreicher durchzuführen.
Förderung: Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen
Laufzeit: 4/2023 – 10/2025

SLE
Mit Hilfe des Projekts Sustainable Lifecycle Engineering sollen Entwickler:innen und Produktmanager:innen befähigt werden, Nachhaltigkeitsaspekte bereits in der frühen Phase des Engineerings in ihre Entscheidungsfindung mit einzubeziehen.
Förderung: Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen
Laufzeit: 6/2023 – 05/2026

Aktuelle Industriekooperationen
Current industry cooperations

- Weidmüller (Detmold)
- Diebold Nixdorf (Paderborn)
- Miele (Gütersloh)
- Miele (Bielefeld),
- WAGO (Minden)
- Two Pillars GmbH (Paderborn)
- Flughafen Paderborn/Lippstadt GmbH (Büren)
- Aerosoft GmbH Luftfahrt-Datentechnik (Büren)
- CLAAS (Harsewinkel),
- CONTACT Software (Paderborn)
- Hella Gutmann Solutions (Ihringen)
- Ubermetrics Technologies GmbH (Berlin)
- UNITY AG (Büren),
- DMG MORI Aktiengesellschaft (Bielefeld)
- CP contech electronic GmbH (Leopoldshöhe)
- Schmitz Cargobull, Horstmar
- GEA, Oelde
- S&N Invent, Paderborn
- KI-Marktplatz, Paderborn
- Isringhausen, Lemgo
- Denios, Bad Oeynhausen
- I4.0 Maturity Center, Aachen
- Scenario Management International AG, Paderborn

Wissenschaftliche Kooperationen
Scientific cooperations

- Jun.-Prof. Dr. Sofia Marlena Schöbel, Universität Osnabrück
- Prof. Dr. Josef Oehmen, Technical University of Denmark, Denmark
- Prof. Dr. René Fahr, Universität Paderborn
- Prof. Dr.-Ing. Ansgar Trächtler, Universität Paderborn
- Prof. Dr.-Ing. Michael Marré, Fachhochschule Südwestfalen
- Prof. Dr.-Ing. Sven Schimpf, Fraunhofer-Verbund Innovationsforschung
- Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Boos, Forschungsinstitut für Rationalisierung (FIR) e. V. an der RWTH Aachen
- Prof. Elias G. Carayannis, The George Washington University, Washington, DC, USA
- Univ.-Prof. Dr. habil. Dr. h. c. Michael Henke, Technische Universität Dortmund & Fraunhofer IML
- Univ.-Prof. Dr. rer. oec. habil. Katharina Hölzle, MBA, Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT, Universität Stuttgart, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO
- Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers, Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Otto, Technische Universität Dortmund & Fraunhofer ISST
- Hon. Prof. Dr.-Ing. Andreas Siebe, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Prof. Dr. Yasemin Acer, Universität Paderborn
- Prof. Roberto Gelazzi, Technical University of Denmark
- Prof. Giorgio Locatelli, Politecnico di Milano
- Prof. Paolo Trucco, Politecnico di Milano
- Assoc. Prof. Dr. Robert Ian Whitfiled, University of Strathclyde

- Prof. Anja Maier, University of Strathclyde
- Dr. Chiara Leva, Technological University Dublin
- Prof. John D. Kelleher, Technological University Dublin
- Jun. Prof. Dr.-Ing. Frederik Möller, TU Braunschweig
- Prof. Dr.-Ing. Lydia Kaiser, TU Berlin

Behavioral Economic Engineering and Responsible Management

Prof. Dr. René Fahr

Behavioral Economic Engineering and Responsible Management

Prof. Dr. René Fahr

Publikationen
Publications

You can find all publications of the workgroup at **ris.upb.de/record?cql=department=179**

Promotionen
PhD Theses

Isabel Disse
Fostering Customer Loyalty through Gamification and Employee Behavior
This dissertation provides new insights into the realm of customer loyalty by analyzing the influence of both technological and human factors. The first two studies focus on gamification as a tool for multichannel marketing and a means for creating a GCX, while the third study addresses the alignment between SMO and employee behavior. In particular, the thesis brings forward important contributions to multichannel companies, retailers, sustainable companies, and scholars interested in the following research questions: Does gamification constitute a successful tool for multichannel marketing? How can companies use gamification including affordances and game elements to create a GCX? How does the (lack of) SMO–employee behavior alignment influence customer loyalty through trust in sustainable companies?

Anastasia Lebedeva
Behavioural Aspects of Human-AI Interaction in Theory and Application", aktuelle Position: "Business Development Manager & Product Owner for Cloud Services & IIoT at Weidmüller
In our dissertation we aim to facilitate the application of AI technology through effective human-AI interaction. For this purpose, we conduct three independent studies, applying distinct methods and highlighting different aspects of human-AI interaction in various contexts. While the first two studies apply the experimental methods of behavioural sciences to investigate influential factors behind algorithm aversion and AI advice taking, our third study follows the design science paradigm and generates theoretical insight by designing an artifact and applying it to a real-world problem. Further, while our first study is designed for generic context, the second and the third studies explicitly focus on industrial applications and how effective human-AI interaction may foster AI usage in the industry.

Messen, Tagungen, Seminare
Fairs, conferences, seminars

Hannover Messe 2024
Auf der HM24 stellte die UPB nachhaltige Technologien zur Verbesserung in Personenverkehr und Logistik vor. Mit dem Projekt „FastGate" stand die Digitalisierung des Flughafen-Rollfelds im Zentrum. Weiterer Fokus lag auf intelligenten Energiesystemen und 5G-Technologie, die der SICP präsentierte.

Weitere Funktionen Prof. Fahr
Additional functions Prof. Fahr

- Vizepräsident für Wissens- und Technologietransfer
- Wissenschaftlicher Direktor, BaER-Lab, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Universität Paderborn
- Universitätsprofessor (W_3), Inhaber des Lehrstuhls Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Corporate Governance, Fachgruppe Behavioral Economic Engineering and Responsible Management an der Universität Paderborn, Heinz Nixdorf Institut
- Research Fellow des Forschungsinstituts zur Zukunft der Arbeit (IZA)
- Mitglied im Zentrum für Komparative Theologie und Kulturwissenschaften
- Academic Advisor oikos Paderborn
- Gutachter für verschiedene Fachzeitschriften

Weitere Funktionen Dr. Mir Djawadi
Additional functions Dr. Mir Djawadi

- Leiter, BaER-Lab, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Universität Paderborn
- Geschäftsführer/Sectretary der internationalen Forschungsgemeinschaft Society for the Advancement of Economics (SABE)
- Gutachter für verschiedene Fachzeitschriften

Aktuelle Industriekooperationen
Current industry cooperations

- Stiftung Gemeinwohlökonomie NRW: Zusammenarbeit im Seminar "Angewandte Gemeinwohl-Ökonomie (GWÖ)"
- Weidmüller Interface GmbH & Co. KG
- Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM
- dSPACE GmbH
- Miele & Cie. KG
- WAGO GmbH & Co. KG
- Kreis Paderborn
- Flughafen Paderborn/Lippstadt GmbH
- Aerosoft GmbH Luftfahrt-Datentechnik

Aktuelle Forschungsprojekte
Current research projects

AeM Speedport – innovative Technologien und nachhaltige Lösungen im Bereich Ground-Operations an Flughäfen
Die Luftfahrtindustrie steht vor der Aufgabe, nachhaltige Mobilität zu fördern und gleichzeitig Emissionen zu reduzieren. Mit dem autonomen Manövrieren und Fahren von Flugzeugen auf Flughäfen können Treibstoffverbrauch, CO_2- und NOx-Emissionen sowie Lärm deutlich verringert werden. Dieser innovative Ansatz ermöglicht Flughäfen und beteiligten Organisationen, effizienter zu arbeiten und aktiv zum Klimaschutz beizutragen.
Förderung: Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)
Laufzeit: 5.06.2024 – 31.12.2026

DualStrat – Strategisches Management der Dualen Transformation
Wissenschaft und Industrie arbeiten im Rahmen des Projekts gemeinsam daran, wie eine ganzheitliche Implementierung von Nachhaltigkeit und Digitalisierung Unternehmen langfristig zum Erfolg führen kann. In individuellen Projekten werden die Unternehmen Böllhoff, Hanning, Schmitz Cargobull und Weidmüller bei der dualen Transformation ihrer Organisation durch das Heinz Nixdorf Institut, das Fraunhofer IEM, InnoZent OWL und das Wuppertal Institut begleitet.
Förderung: Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIKE NRW)
Laufzeit: 15.04.2023 – 14.04.2026

Green.OWL – Modellregion für Nachhaltigkeitstranformation OstWestfalenLippe
Das Ziel ist eine regionale Nachhaltigkeitstransformation von Ostwestfalen-Lippe (OWL). Dafür setzen die OWL GmbH, Fraunhofer IEM und die Universität Paderborn mit 40 assoziierten Partnern eine Offensive für eine nachhaltige Wirtschaftsregion um und erarbeiten ge-

meinsam einen Masterplan zur nachhaltigen Entwicklung und konkrete Unterstützungsangebote für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) der Region.
Förderung: Land Nordrhein-Westfalen aus dem EFRE/JTF-Programm NRW
Laufzeit: 1.01.2024 – 31.12.2026

Wissenschaftliche Kooperationen
Scientific cooperations

- Prof. Dr. Daniel Quevedo, Professor in Cyberphysical Systems with the School of Electrical Engineering and Robotics, Queensland University of Technology, (QUT), Brisbane, Australia

Produktentstehung

Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler

Product Creation

Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler

Publikationen
Publications

You can find all publications of the workgroup at **ris.upb.de/record?cql=department=152**

Promotionen
PhD Theses

Xiaojun Yang
Eine Methode zur Unterstützung von Entwicklungsentscheidungen bei modularen Leichtbauprodukten
Modulleichtbau, also die Kombination aus Modularisierung und Leichtbau, ermöglicht es, wirtschaftlich Leichtbaustrukturen zu realisieren. Dadurch eröffnen sich für den Leichtbau zahlreiche Anwendungsfelder. Die Umsetzung des Modulleichtbaus ist jedoch sehr komplex, da es in der Anwendung zahlreiche Konflikte gibt, für die Kompromisse gefunden werden müssen. Dies führt zu aufwändigen und hoch iterativen Entwicklungs-vorgängen. Insbesondere Änderungen in der Produktstruktur sorgen für langwierige Änderungsprozesse. Die in dieser Arbeit entwickelte Methode dient dazu, die Ermittlung der Produktstruktur beim Modulleichtbau zu optimieren. Konstruktionsentscheidungen wer-den hierzu bereits früh im Entwicklungsprozess geklärt und Auswirkungen auf die spätere Gestaltung anhand von Szenarien abgeschätzt. Hierbei werden alle Anforderungen und Restriktionen des gesamten Entwicklungsprozesses berücksichtigt. Das Ziel ist es, bereits früh Entscheidungen über die Ausgestaltung der Module zu treffen, also zum Beispiel, ob diese leichtbauoptimiert entwickelt werden oder ob Zukaufteile verwendet werden sollten. Diese Methode sieht hierbei ein Vorgehen in vier Phasen vor – von der Modulaufteilung über die Ableitung der Restriktionen bis zur Prognose und Bewertung der Module. Durch die in dieser Arbeit entwickelte Methode erhalten die Entwickler sowohl einen klaren Entwicklungsfokus als auch die Konflikte, die sonst zu Iterationen geführt hätten, werden bereits früh im Entwicklungsprozess geklärt. Die Wirksamkeit der Methode konnte im Rahmen eines Fallbeispiels nachgewiesen werden.

Daniel Roesmann
Menschenzentrierte Montageplanung und -steuerung durch fähigkeitsorientierte Aufgabenzuordnung
Der Aufbau und die Entwicklung von Fähigkeiten von Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ist ein entscheidender Wettbewerbsvorteil produzierender Unternehmen. In menschenzentrierten Montagesystemen passen sich die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf der Grundlage von Lernprozessen an neue und sich ändernde Aufgaben der Montage an. Daher müssen bei der Montageplanung und -steuerung ihre Fähigkeiten berücksichtigt werden. Im Rahmen der Dissertation wird eine neue Methodik zur menschenzentrierten Montageplanung und -steuerung durch fähigkeitsorientierte Aufgabenzuordnung entwickelt. Durch die (Teil-)Automatisierung von Schritten der Montageplanung auf Basis von mathematischer Modellierung und semantischen Technologien wird der Aufwand für die Anwendung der Montageplanung und -steuerung reduziert. Durch eine explizite Modellierung von Fähigkeiten über das Lern-Vergessenskurven-Modell, die Integration von Echtzeitdaten und deren Berücksichtigung bei der Personaleinsatzplanung ermöglicht die Anwendung der Methodik objektive quantitative Entscheidungen bei der Planung und Steuerung von Montagesystemen. Die Methodik wurde an vier verschiedenen Prüfständen im Smart Automation Labor des Heinz Nixdorf Instituts validiert. Simulation und Prüfung zeigen, dass durch die Anwendung der entwickelten Methodik eine Steigerung der Ausbringungsrate um 13,4 % und des Nutzungsgrades um 11,34 % bei heterogener Belegschaft erreicht wird. Damit liefert die Dissertation einen wesentlichen Beitrag zum Forschungsfeld der menschenzentrierten Produktionsplanung und -steuerung in der Industrie 4.0 und somit einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil für produzierende Unternehmen.

Henrik Thiele
Technologievorausschau auf Basis mathematischer Modellierung
Das Erkennen zukünftiger Entwicklungen von Technologien und Märkten ist erfolgskritisch für die Platzierung von Produkten am Markt. Die Szenario-Technik als Methode der Zukunftsvorausschau ermöglicht das Erkennen solcher Entwicklungen. Die Anwendung ist in der industriellen Praxis mit einem hohen Ressourcenaufwand, insbesondere durch Bindung von Entscheidungsträgern der Unternehmen, verbunden. Zur Reduktion des Anwendungsaufwands in der industriellen Praxis wird in dieser Dissertation die modellbasierte Szenario-Technik entwickelt. Die modellbasierte Szenario-Technik besteht aus einem Vorgehensmodell, einer mathematischen Modellierung und Berechnungsmethoden zur Automatisierung der Schritte der modellbasierten Szenario-Technik. Zur Umsetzung der modellbasierten Szenario-Technik in der industriellen Praxis wird sowohl ein Software-Tool, in dem die entwickelten Methoden umgesetzt sind, als auch eine Standarddramaturgie für Szenario-Workshops entwickelt. Die Validierung der modellbasierten Szenario-Technik wird anhand von zwei bilateralen Forschungsprojekten, zwei Szenario-Workshops mit Experten der Industrie und Wissenschaft sowie dem Forschungsprojekt ANYWHERE durchgeführt. Unter Einsatz von Algorithmen der künstlichen Intelligenz konnte die Anzahl der Konsistenzbewertungen in der Szenario Analyse um 50% reduziert und die Einflussanalyse durch Anwendung des Page Rank Algorithmus automatisiert werden.

Daniel Preuß
Methodik zur automatisierten Extrahierung, Formalisierung und Handhabung von Änderungen technischer Anforderungen
Unvollständige Anforderungslisten, mehrdeutige Anforderungen und Anforderungsänderungen sind Hauptgründe für das Scheitern von Entwicklungsprojekten. Die manuelle Analyse von natürlich-sprachlichen Anforderungsdokumenten – zur Erhöhung der Vollständigkeit der Anforderungsliste – ist aufwändig, fehleranfällig und führt zu hohen Kosten. Es besteht ein Bedarf nach einer automatisierten Extrahierung von Anforderungen, um Aufwände und Kosten in der Analyse natürlich-sprachlicher Anforderungsdokumente zu reduzieren. Anforderungsdokumente in natürlicher Sprache sind per se mehrdeutig. Es ist für Software-Werkzeuge nicht möglich, diese direkt zu interpretieren. Außerdem müssen Anforderungen formalisiert werden, um diese für verschiedene Software-Werkzeuge in der Produktentwicklung interpretierbar zu machen. Zur Handhabung von Anforderungsänderungen wird ein Risikomanagement benötigt, welches frühzeitig im Projekt anwendbar ist. Durch die Methodik zur Extrahierung, Formalisierung und Handhabung von Änderungen technischer Anforderungen werden Lösungen zur Überwindung dieser Schwierigkeiten zur Verfügung gestellt. In der Methodik werden KI-basierte Methoden als „Enabler“ für vollständige und eindeutige Anforderungslisten genutzt. Außerdem wird

ein Mehrwert für das Risikomanagement von Anforderungsänderungen generiert, indem Anforderungsabhängigkeiten aufwandsarm erkannt und die Berechnung von Änderungsrisiken von Anforderungen in der industriellen Praxis ermöglicht werden.

Messen, Tagungen, Seminare
Fairs, conferences, seminars

Rigi Design Society Meeting 2024
13. – 15.03.2024, Kaltbad, Schweiz

Regionalmeeting-OWL von VDI, DGQ und gfo bei UPB Racing
7.03.2024, Paderborn

WiGeP Frühjahrstagung 2024
16. – 17.05.2024, St. Gallen, Schweiz

Design Conference 2024
20. – 23.05.2024, Dubrovnik, Kroatien

ISCRAM 2024: Information Systems for Crisis Response and Management Global Conference
25. – 29.05.2024, Münster

34th CIRP Design Conference
3. – 5.06.2024, Cranfield, England

Tage der Sicherheitsforschung im Rahmen der 112rescue
5. – 7.06.2024, Dortmund

34th Annual INCOSE international symposium
2. – 6.07.24, Dublin, Irland

VDI Automation 2024
2. – 4.07.2024, Baden-Baden

18th CIRP International Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering (CIRP ICME) 2024
10. – 12.07.24, Ischia, Italien

Konferenz Mensch und Computer
1. – 4.09.2024, Karlsruhe

6th International Conference on Human Systems Engineering and Design: Future Trends and Applications (IHSED) 2024
24. – 26.09.24, Split, Kroatien

WiGeP Herbsttagung 2024
25. – 27.09.23, Hannover

European Big Data Value Forum (EBDVF) 2024
2. – 4.10.2024, Budapest, Ungarn

10th IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE) 2024
16. – 18.10.2024, Perugia, Italien

WiGeP Assistententreffen 2024
16. – 18.10.2024, Kaiserslautern

UPB for Future – die Nachhaltigkeitsringvorlesung: Nachhaltigkeitsgerechte Produktentwicklung: kreislauffähige Produkte als Schlüssel für eine nachhaltige Zukunft
7.11.24, Paderborn

Formnext 2024
19. – 22.11.24, Frankfurt am Main

SPP 2443 Kick Off
11.12. – 13.12.2024, Paderborn

Patente, Preise, Auszeichnungen
Patents, prizes, awards

- Jan Pfeifer - Best Paper Award des 34th Annual INCOSE international symposium im Bereich Automotive
- Ruf an die Universität Bremen auf die Professur “Produktentwicklung und Produktlebenszyklus-Management” sowie Geschäftsführung BIBA.
- Start des DFG SPP 2443 „Hybride Entscheidungsunterstützung in der Produktentstehung“ (interdisziplinäre Forschung von Produktentwicklung, Produktion und angewandter Informatik, 2024-2030).
- Ähnlich wie beim "Kostengünstigen Konstruieren" im linearen Wirtschaftsmodell, muss der Grundstein für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft bereits in der Produktentwicklung gelegt werden. Denn hier laufen alle Randbedingungen zusammen und es muss ein guter Kompromiss zwischen technischer Funktion, Zielkosten und Nachhaltigkeit gefunden werden. Betrachtet werden da beispielsweise der Ressourcen- und Energieverbrauch, aber auch die Emissionen während des gesamten Produktlebenszyklus: Wieviel Energie und Emissionen kostet beispielsweise die Aufbereitung von Recyclingmaterial? Was ist wichtiger im Kampf gegen den Klimawandel? Rohstoffe schonen, Wasser sparen oder CO2-Emissionen reduzieren? Die Prioritätensetzung wird sich je nach Kenntnisstand über den Klimawandel ändern. Auch regionale Unterschiede sind denkbar.
- Produktentwickler*innen steuern den Erfolg der Kreislaufwirtschaft – ökologisch wie ökonomisch – durch die Festlegung von Produkteigenschaften. Um solche Abwägungen treffen zu können, müssen sie mit den notwendigen Daten aus dem gesamten Produktlebenszyklus versorgt werden, u.a. mit Hilfe von PDM/PLM und Digitalen Zwillingen. Diese Daten liegen in großer Menge, in unterschiedlichen Formaten, aus mehreren Quellen gleichzeitig und oftmals unsicherheitsbehaftet vor. Im Produktlebenszyklus-Management werden Produktentwickler daher zukünftig verstärkt dedizierte KI-Tools einsetzen. Die etablierten Werkzeuge werden dadurch aber keineswegs überflüssig: Ingenieur*innen werden weiterhin berechnen, modellieren, simulieren und Heuristiken anwenden. Daher forschen wir an einem hybriden Ansatz zur Entscheidungsfindung.
- Herausragende Monografie „Systems Engineering – verstehen und industriell umsetzen“ wurde bereits mehr als 31.000 Mal heruntergeladen. Im Springer-Verlag zählt es zu den aktuellen Spitzenpublikationen des Fachgebiets.

Weitere Funktionen
Additional functions

- Gutachterin für die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
- Gutachterin für die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)
- Gutachterin Wissenschaftliche Kommission Niedersachsen
- Fachgutachterin für das Wissenschaftsministerium Baden-Württemberg (MWK)
- Gutachterin Bayerische Forschungsstiftung
- Gutachterin Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft
- Mitglied im Fachausschuss 01 (Maschinenbau und Verfahrenstechnik) der ASIIN (Akkreditierungsagentur für Studiengänge der Ingenieurwissenschaften, Informatik, Naturwissenschaften und Mathematik)
- Mitglied der WiGeP – Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktentwicklung
- Mitglied des Advisory Boards der Design Society

- Vorstand des wissenschaftlichen Beirats der VDI/VDE Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)
- Vorsitzende des VDI/VDE-GMA Fachbereichs 3 „Digitalisierung und Virtualisierung“
- VDI/VDE-Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) und Produkt- und Prozessgestaltung (GPP) Gemeinschaftsausschuss 7.02 „Systemhaus“ (Gründung und Vorsitz, 2014 – 2022)
- VDI/VDE-Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) Fachausschuss 4.10 „Interdisziplinäre Produktentstehung“ (Gründung und Vorsitz, 2016 – 2023)
- VDI/VDE-Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) Fachausschuss 3.12 „Strategische Planung und Entwicklung hybrider Leistungsbündel“ (Gründung und Vorsitz seit 2020)
- VDI/VDE-Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) Fachausschuss 4.15 „Mechatronik“ (2012 – 2024)VDI/
- VDI/VDE-Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) Fachausschuss 7.23 „Businessmodelle für Industrie 4.0“ (2014 – 2016)
- Mitglied des Scientific and Technological Advisory Board (STAB) des Linz Center of Mechatronics GmbH
- Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats für das Anwendungszentrum Industrie 4.0 Potsdam
- Aufsichtsratsvorsitzende der paragon GmbH & Co. KGaA
- Mitglied im Scientific Board des Direct Manufacturing Research Centre (DMRC) und des Paderborner Institut für Additive Fertigung (PIAF) der Universität Paderborn
- Vorstandsmitglied des Heinz Nixdorf Instituts
- Prüfungsausschussvorsitzende Wirtschaftsingenieurwesen
- Stv. Mitglied im Tenure Board der Universität Paderborn
- Jurymitglied TH Köln Wissenschaftspreis: Forschungspreis, Transferpreis, Promotionspreis
- Programmausschuss VDI-Kongress Automation – Leitkongress der Mess- und Automatisierungstechnik
- Programmausschuss VDI/VDE Mechatroniktagung
- Scientific Advisory Board International DESIGN Conference
- Scientific Committee of International Conference on Engineering Design (ICED)
- Scientific Committee of International Conference on Production Engineering Management (PEM) (2015 – 2019)
- Programme Committee der European Concurrent Engineering Conference (ECEC), (2001 – 2016)
- International Programme Committee of SciFi-It – The International Science Fiction Prototyping Conference (2017 – 2019)
- Technical Program Committee member for IEEE System of Systems Engineering Conference (SoSE) (2018)
- Gutachterin für die Zeitschrift „Konstruktion“, VDI
- Gutachterin für das internationale Journal „Applied Sciences“, MDPII
- Gutachterin für das internationale Journal „Virtual Reality“, Springer
- Koordinatorin des DFG-Schwerpunktprogramms SPP2443 „Hybride Entscheidungsunterstützung in der Produktentstehung“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)
- wissenschaftliche Leitung des Expertengremiums "Automation 2030", aus dem die VDI/VDE-Publikation "Automation 2030 - Szenarien und Handlungsempfehlungen" (10-Jahres-Prognose) am 07. April 2021 hervorgegangen ist (2019 – 2021)
- Expertengremium „Automation 2035“

Spin-Offs
Spin-offs

- assemblean GmbH

Aktuelle Forschungsprojekte
Current research projects

BIKINI – Bionik und KI für nachhaltige Integration von Produktentwicklung für einen ressourceneffizienten Leichtbau
Im Verbund-Projekt arbeiten Wissenschaftler*innen der Universität Paderborn mit Partnern aus Forschung und Praxis an einer Lösung, um Nachhaltigkeit entlang der vollständigen Prozesskette sowie über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts zu ermöglichen.
Förderung: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
Laufzeit: 01.07.2021 – 30.06.2024

Vitamine_5G – VIrtual realiTy environment for Additive ManufacturINg Enabled by 5G
Im Verbund-Projekt arbeiten Wissenschaftlicher*innen des Heinz Nixdorf Instituts in einem Forschungskonsortium aus universitären Partnern und IT-Partnern an neuartigen Interaktionsformen zur Kontrolle und Überwachung von schwer zugänglichen Fertigungsprozessen durch deren Übertagung in die Virtuelle Realität. Die Übertragung der Daten wird durch 5G erstmals ermöglicht, Visualisierung wird durch Virtuelle Realität realisiert.
Förderung: Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen
Laufzeit: 1.07.2022 – 30.06.2024

Weiterbildungsverbund (wbv) OWL
Wbv OWL – Weiterbildungsverbund OWL für Digitalisierung und Künstliche Intelligenz Gerade KMU stehen vor Herausforderungen, den technischen Anforderungen des digitalen Strukturwandels nachhaltig gerecht zu werden und dabei weiter konkurrenzfähig zu bleiben. Ziel des Projekts ist die Konzeption und die Vermittlung von passender Weiterbildung. In enger Kooperation arbeiten die Projektpartner daran, dass dieser Zugang unkompliziert und ressourcenschonend gewährt wird. Der Schwerpunkt liegt dabei geographisch in OWL und fachlich im Bereich von Lösungen der Data Science und Künstlichen Intelligenz. Im Rahmen von Roadshows, Events und Weiterbildungsangeboten werden Lösungswege für Digitalisierung präsentiert und KMU bei Umsetzungsmöglichkeiten begleitet.
Förderung: BMAS
Laufzeit: 1.11.2022 – 31.05.2024

Weiterbildungsverbund (wbv) OWL
wbv OWL – Weiterbildungsverbund OWL für Digitalisierung und Künstliche Intelligenz
Gerade KMU stehen vor Herausforderungen, den technischen Anforderungen des digitalen Strukturwandels nachhaltig gerecht zu werden und dabei weiter konkurrenzfähig zu bleiben. Ziel des Projekts ist die Konzeption und die Vermittlung von passender Weiterbildung. In engerKooperation arbeiten die Projektpartner daran, dass dieser Zugang unkompliziert und ressourcenschonend gewährt wird. Der Schwerpunkt liegt dabei geographisch in OWL und fachlich im Bereich von Lösungen der Data Science und Künstlichen Intelligenz. Im Rahmen von Roadshows, Events und Weiterbildungsangeboten werden Lösungswege für

Digitalisierung präsentiert und KMU bei Umsetzungsmöglichkeiten begleitet.
Förderung: BMAS
Laufzeit: 1.11.2022 – 31.05.2024

CREXDATA – Critical Action-Planning over Extreme-Scale Data (Kritische Maßnahmenplanung auf Basis extremer Daten)
Kritische Situationen ergeben sich in ganz unterschiedlichen Bereichen. Der Katastrophenschutz ist ein Paradebeispiel dafür, dass Menschen unter Unsicherheit Entscheidungen treffen müssen. Wirtschaftliche, gesellschaftliche und ökologische Auswirkungen sollen verringert oder sogar ganz vermieden werden. Die Vision von CREXDATA ist die Entwicklung einer Datenplattform für das Management kritischer Situationen in Echtzeit. Diese soll auch die flexible Maßnahmenplanung und agile Entscheidungsfindung bei Daten von extremer Größe und Komplexität ermöglichen. Die 15 Partner im EU-Verbund entwickeln Algorithmik, Softwarearchitekturen und Werkzeuge für vernetzte prädiktive Analysen und Vorhersagen unter Unsicherheit. Der Lehrstuhl für Produktentstehung koordiniert die Entwicklung eines Demonstratorsystems zur Bewältigung von extremwetterbedingten Gefahren. Dabei kommen u.a. Rettungsroboter, Augmented Reality und Dienste des europäischen Copernicus-Systems zum Einsatz.
Förderung: EU
Laufzeit: 01.01.2023 – 31.12.2025

KLUG – Kollaborations- und Lern-Umgebung für die wertorientierte Geschäftsmodell-Generierung
Unternehmen müssen nicht nur in digitale Technologien investieren, sondern vor allem Kompetenzen für den gesamten Produktlebenszyklus aufbauen. Digitale Technologien und Kompetenzen strategisch und vernetzt aufzubauen – für dieses Ziel wird das Projekt KLUG neue Lösungen liefern. Der Forschungsverbund entwickelt eine Kollaborations- und Lernumgebung und ermöglicht damit KMU, digitale Geschäftsmodelle trotz Fachkräftemangel in Deutschland zu gestalten und zu etablieren. Der Lehrstuhl für Produktentstehung arbeitet in KLUG an einer Entscheidungsunterstützung für KMU zur Entwicklung von digitalen Geschäftsmodellen und zur zukunftsorientierten Strategieentwicklung. Ziel ist dabei ein Lernportfolio mit verschiedenen Formaten wie Lernvideos und Templates
Förderung: BMBF
Laufzeit: 1.01.2024– 31.12.2026

SPP 2443 – Hybride Entscheidungsunterstützung in der Produktentstehung (Koordination)
Das DFG-Schwerpunktprogramm 2443 wurde durch Initiative von Professorin Iris Gräßler eingerichtet. Seit Oktober 2024 verantwortet der Lehrstuhl für Produktentstehung die übergreifende Koordination. Ziel des Schwerpunktprogramms sind Erkenntnisse zur Steigerung der Leistungsfähigkeit in der Produktentstehung durch hybride Entscheidungsunterstützung. Hierzu wird untersucht, wie etablierte Verfahren der Ingenieurwissenschaften, wie Heuristiken, Methoden, Simulation etc., durch datengetriebene Ansätze der Data Science und künstlichen Intelligenz ergänzt werden können. Im Rahmen des SPP 2443 werden sechs Forschungsprojekte über zunächst 3 Jahre gefördert.
Förderung: DFG
Laufzeit: 1.10.2024 – 30.09.2030

SPP 2443 DeCap – Design for Capabilities
Im Forschungsprojekt DeCap werden Fähigkeiten in der Produktion und deren Berücksichtigung in der Entwicklung zur Förderung einer nachhaltigen Materialzirkulation untersucht. Hierzu wird das Konzept des „Design for Assembly, Deassembly and Reassembly“ (DfADR) erweitert und mit Ansätzen des Simultaneous Engineering, der Data Science und der künstlichen Intelligenz kombiniert. Ziel ist es, die Fähigkeiten von Mensch und Maschine bereits in der Entwicklung zu berücksichtigen, um eine Kreislaufwirtschaft nachhaltig zu ermöglichen. Dies geschieht durch die Analyse von Extremen Daten aus ADR-Prozessen, um relevante Produktmerkmale mit notwendigen menschlichen Fähigkeiten abzustimmen.
Förderung: DFG
Laufzeit: 1.10.2024 – 30.09.2027

Decide4ECO – Digitale Datenökosysteme für die Entscheidungsunterstützung in der Entwicklung ökologischer, zirkulärer Wertschöpfung.
Nachhaltigkeitsanforderungen sind für alle Teilnehmer der Wertschöpfungskette omnipräsent. Unternehmen müssen Nachhaltigkeitsentscheidungen treffen und Nachweise erbringen, wobei die Anforderungen veränderlich und nicht eindeutig festgelegt sind. Diese Unsicherheiten in der Nachweispflicht stellen Unternehmen vor Herausforderungen. In dem Forschungsprojekt „Decide4ECO“ werden Methoden und Tools für die modellbasierte, frühzeitige und flexible Entscheidungsunterstützung in der Entwicklung nachhaltiger Produkte entwickelt. Die vorausschauende Bewertung der Nachhaltigkeitsanforderungen erfolgt auf Grundlage des Manufacturing-X Datenökosystems über den gesamten Produktlebenszyklus und fördert somit eine ökologische und zirkuläre Wertschöpfung. Gemeinsam mit drei IT-Lösungsanbietern werden verschiedene Anwendungen in einem Demonstrator abgebildet und bei den drei Anwendungspartnern implementiert und getestet. Die Schwerpunkte des Lehrstuhls für Produktentstehung liegen auf der Methodenentwicklung, der Referenzimplementierung, der Informationsmodellierung und dem Aufbau einer Laborumgebung.
Förderung: BMBF
Laufzeit: 1.04.2024 – 30.09.2026

Digi4Circular – Digital platform for data-driven and physics-based product development enabling a circular economy
Die Rückführbarkeit von Produkten am Ende der Nutzungsphase ist eine immer relevanter werdende Produkteigenschaft. Beispielsweise könnte der Einsatz von recyceltem Aluminium die CO_2-Emissionen eines Produktes um schätzungsweise 85% reduzieren. Um derart ambitionierte Ziele zu erreichen, wird im EU-Projekt Digi4Circular eine digitale Plattform entwickelt, die es ermöglicht, sämtliche Daten über Lebenszyklen hinweg in die Produktentwicklung zu übertragen. So sollen optimierte Designs für Modelle der Kreislaufwirtschaft und spezifische Fertigungsverfahren erzeugt werden. Ziel ist, dadurch Abfall zu minimieren und Ressourcennutzung zu maximieren. Am Lehrstuhl für Produktentstehung wird an künstlicher Intelligenz geforscht, um eine resiliente Anforderungsentwicklung zu realisieren. Der aus zehn Partnern bestehende EU-Verbund wird mit rund 5,7 Mio. Euro gefördert.
Förderung: EU
Laufzeit: 1.11.2024 – 30.04.2028

Aktuelle Industriekooperationen
Current industry cooperations

- 3DSE Management Consultants GmbH
- 4D Concept
- Additive Marking GmbH
- Alfred-Wegener-Institut
- assemblean GmbH
- Atos Deutschland
- BANG Netzwerke
- BCT Steuerungs- und DV-Systeme GmbH

- BHTC (Behr-Hella Thermocontrol)
- BOS GmbH & Co. KG
- Brainport Industries
- Camaix GmbH
- CLAAS Industrietechnik GmbH
- CONTACT Software
- Dropslab Technologies GmbH
- EDAG Group
- Eisengiesserei Baumgarte GmbH
- ELHA Maschinenbau
- eShoppen Germany GmbH
- Eviden Germany GmbH
- Glass GmbH & Co.KG
- GPDM Die Bildungsarchitekten
- Grant Thornton
- H. Butting GmbH & Co. KG
- Hadi-Plast GmbH & Co.KG
- HARTING Applied Technologies GmbH
- Hofmann Mess- und Auswuchttechnik GmbH & Co. KG
- itemis AG
- Knapheide GmbH Hydraulik-Systeme
- Krause DiMaTec GmbH
- Michael Weinig AG
- ModuleWorks GmbH,
- Nexpirit GmbH
- paragon GmbH & Co. KGaA
- PerFact Innovation GmbH & Co. KG
- PROSTEP AG
- Altair RapidMiner
- Raumtänzer GmbH
- RHaug GmbH
- Robert Bosch GmbH
- Schaeffler-Gruppe
- Sonova Consumer Hearing GmbH
- Werkstatt für Kundenorientierung
- ZEUS GmbH

Nachrichtentechnik

Prof. Dr.-Ing. Reinhold Häb-Umbach

Communications Engineering

Prof. Dr.-Ing. Reinhold Häb-Umbach

Publikationen
Publications

You can find all publications of the workgroup at **ris.upb.de/record?cql=department=54**

Promotionen
PhD Theses

Christopher Grimm
Kreuzmodale Supervision für automotive Radar- und Kamerasensoren
Die automatische Signalverarbeitung von Sensorsignalen ist ein integraler Bestandteil von automotiven Radarsensoren. Erst die Signalverarbeitung extrahiert die relevanten Informationen aus den abgetasteten Sensorsignalen und ermöglicht dem Fahrerassistenzsystem, gezielt Warnhinweise auszugeben oder automatisiert Veränderungen von Stellgrößen durchzuführen. Aufgrund von parasitären Effekten ist die Signalverarbeitung suboptimal und es werden immer neue Algorithmen entwickelt, um die Qualität der Verarbeitung zu verbessern.
Ein möglicher Entwicklungspfad ergibt sich dabei durch die Klasse der Algorithmen zum maschinellen Lernen. Die damit verbundenen Algorithmen erkennen Muster anhand zuvor präsentierter Datensätze. Eine wichtige Unterklasse dabei sind die überwachten Lernverfahren, bei welchen die Datensätze aus den Eingangsdaten der Algorithmen und gelabelten Zielwerten zu den Eingangsdaten bestehen. Während einer Trainingsprozedur werden die Algorithmen dann automatisch optimiert und versuchen die Zielwerte anhand der Eingangsdaten zu schätzen. Diese Arbeit befasst sich mit der automatischen Assoziation von Bildinhalten aus Kamera und Radarsensoren. Mit Hilfe dieser Assoziation lassen sich etwaige Daten der Kamera als Zielwert für das Training von maschinellen Lernverfahren auf Radardaten und umgekehrt verwenden. Der Benefit dieser Assoziation wird demonstriert an den Beispielen von trainierten Winkelschätzern, Zieldetektoren, semantischen Segmentierung von Radar-Spektren sowie einer Radar-Leistungsschätzung aus Kamerabildern.

Cross-modal Supervision for automotive Radar- and Camerasensors
Automatic signal processing of sensor signals is an integral part of automotive radar sensors. Only the signal processing extracts the relevant information from the sampled sensor signals and enables the driver-assistance system to issue warnings or make automated changes to the control-loop.
Due to parasitic effects, signal processing is suboptimal and new algorithms are constantly being developed to improve the quality of processing. One possible development path is the class of machine learning algorithms. The associated algorithms recognize patterns based on previously presented data sets. An important subclass here are the supervised learning procedures, which require labeled datasets. The datasets consist of input data and corresponding target values. During a training procedure, the algorithms are then automatically optimized and attempt to estimate the target values based on the input data. This work deals with the automatic association of image content from camera and radar sensors. With the help of this association, any data from the camera can be used as a target value for training machine learning procedures on radar data and vice versa. The benefit of this association is demonstrated using the examples of trained direction-of-arrival estimators, target detectors, semantic segmentation of radar spectra as well as radar-power prediction from camera-images.

Messen, Tagungen, Seminare
Fairs, conferences, seminars

R. Häb-Umbach war Technical Program Committee Chair der Interspeech 2024
Kos, Griechenland
1.-05.09.2024

Patente, Preise, Auszeichnungen
Patents, prizes, awards

- R. Häb-Umbach wurde zum IEEE Life Fellow ernannt

Weitere Funktionen
Additional functions

- Gewähltes Mitglied des Audio and Acoustics Signal Processing Technical Committee der IEEE Signal Processing Society

Aktuelle Forschungsprojekte
Current research projects

Lernen tiefer Sprachrepräsentationen für die Phonetikforschung
The speech signal is a rich source of information that conveys not only linguistic but also extra/para-linguistic information, such as the speaker's identity, gender, emotional state, age, or the social status. However, those traits are hidden in complex, non-transparent variations of the speech signal, and mostly obscure to speech research. With recent progress in speech synthesis and voice conversion caused by the advent of deep learning, we argue that synthesized speech can become a valuable tool for research in phonetics. The overarching goal of this project is thus to explore the potential of deep generative modeling of speech as a tool to support basic research in phonetics. To constrain the task, we will not consider the synthesis of stimuli from text, but concentrate on the dedicated manipulation of speech to generate new speech signals with desired properties. The goal is to develop generative models which offer a representation of the speech signal by latent variables, which is compact and informative about the observed speech signal, which represents different sources of variation of the speech signal by different dimensions of the representation, which allows a dedicated manipulation of a phonetic cue along phonetically plausible dimensions, and which is amenable to human interpretation.
Förderung: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Laufzeit: 2021 – 2025

Automatische Transkription von Gesprächssituationen
Multi-talker conversational speech recognition is concerned with the transcription of audio recordings of formal meetings or informal get-togethers in machine-readable form using distant microphones. Current solutions are far from reaching human performance. The difficulty of the task can be attributed to three factors. First, the recording conditions are challenging: The speech signal captured by microphones from a distance is noisy and reverberated and often contains nonstationary acoustic distortions, which makes it hard to decode. Second, there is a significant percentage of time with overlapped speech, where multiple speakers talk at the same time. Finally, the interaction dynamics of the scenario are challenging because speakers articulate themselves in an

intermit-tent manner with alternating segments of speech inactivity, single-, and multi-talker speech. We aim to develop a transcription system that is able to operate on arbitrary length input, correctly handles segments of overlapped as well as non-overlapped speech, and transcribes the speech of different speakers consistently into separate output streams. While existing approaches using separately trained subsystems for diarization, separation, and recognition are by far not able to reach human performance, we believe that the missing piece is a formulation which encapsulates all aspects of meeting transcription and which allows to design a joint approach under a single optimization criterion. This project is aimed at such a coherent formulation.
Förderung: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Laufzeit: 2021 – 2024

Explainable Feature Importance: Interpretierbares maschinelles Lernen durch spieltheoretische Analyse von Einflussgrößen und Interaktionseffekten
Methoden des maschinellen Lernens (ML) unterstützen die Suche nach Mustern in Daten und Zusammenhängen zwischen Variablen, z.B. in komplexen bio-medizinischen Systemen. Auf diese Weise können sie neue Einsichten vermitteln und Entscheidungen in Handlungsfeldern wie der medizinischen Diagnostik verbessern. Neben der Güte der aus den Daten gelernten Modelle bildet das Vertrauen menschlicher Experten in diese Modelle eine wichtige Voraussetzung für die Nützlichkeit und Anwendbarkeit von ML. Dies setzt ein gewisses Maß an Transparenz der Modelle voraus, vor allem im Hinblick auf die Bedeutung von und die Interaktion zwischen einzelnen Einflussgrößen. In diesem Projektvorhaben schlagen wir einen spieltheoretischen Ansatz zur Modellierung und Dekomposition von Abhängigkeiten höherer Ordnung vor, d.h. Abhängigkeiten zwischen Teilmengen von Variablen. Auf dieser Grundlage lassen sich theoretisch fundierte Maße für die Wichtigkeit einzelner Einflussgrößen und die Stärke der Interaktion zwischen diesen Größen bestimmen. Im Rahmen des Projektes entwickeln wir nicht nur die theoretischen und konzeptionellen Grundlagen dieses Ansatzes, sondern arbeiten auch an einer effizienten algorithmischen Umsetzung. Zur Verbesserung von Verständnis und Akzeptanz entwickeln wir zudem einen interaktiven Ansatz zur Exploration von Abhängigkeiten in hochdimensionalen Datenräumen.
Förderung: Ministerium für Kultur und Wissenschaft (MKW) des Landes NRW
Laufzeit: 2021 – 2024

Technically Enabled Explaining of Speaker Traits
The speech signal is a rich source of information that conveys linguistic but also what is termed para- or extralinguistic content, revealing a speaker's identity, gender, emotional or cognitive state, age, and health. These traits have been the subject of many investigations in phonetics, but due to the high complexity of the underlying dimensions, are often confined to highly controlled datasets that do not generalize. Practical knowledge about the phonetics of speaker characteristics is also indispensible for voice practitioners such as speech therapists, actors or public speakers. Whereas speech technology is able to classify and even disentangle the complex signals underlying speech characteristics, the discipline hitherto does not provide interpretable models that aid phonetic experts in a knowledge transfer to non-expert voice practitioners. Our project will therefore examine the possibility of developing technical solutions as a tool to support the generation of explanations within speech science. We argue specifically that the phonetic realization of a dimension of phonetic variation can be pin-pointed much better if two speech probes are generated that contain the same linguistic content and differ only in the manifestation of a single trait. These explanations should ultimately enable voice practitioners to either identify or mimic the paralinguistic dimensions of interest.
Förderung: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Laufzeit: 2021 – 2025

Verbundprojekt: WestAI – AI Service Center West: Audiokomponente zu den großen KI Modellen
Basierend auf der Expertise in generativen Modellen werden Encoder – Decoder Ansätze entwickelt, die eine temporale Kontextmodellierung, beispielsweise im latenten Raum, enthalten, um so die für sequentielle Daten wie Audio so wichtige zeitliche Kontextmodellierung zu ermöglichen. Auf Standard-Benchmarkdatensätzen wird die Generalisierbarkeit der Modelle getestet. Auch soll untersucht werden, ob eine Initialisierung mit Modellen für Bilddaten vorteilhaft ist. Teacher-Student Ansätze werden weiterentwickelt, um einen anwendungsspezifischen Modelltransfer zu ermöglichen. Dabei wird angenommen, dass zumindest ungelabelte Daten aus der Zielumgebung/Zielanwendung vorliegen. Bezüglich Modellkompression für ressourcenbeschränkte Anwendungen werden Techniken entwickelt, um vortrainierte Modelle gezielt auf die Randbedingungen der Zielumgebung anzupassen. Wenn Aufnahmen aus der Zielumgebung vorliegen, können diese beispielsweise zur informierten Datenauswahl und zur informierten künstlichen Datenvermehrung verwendet werden, d.h. es werden nur solche Daten zum Vortraining verwendet, die eine Mindestähnlichkeit mit der Zielumgebung haben.
Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung, Berlin
Laufzeit: 2022 – 2025

Aktuelle Industriekooperationen
Current industry cooperations

- NTT Communication Science Laboratories, Kyoto, Japan Mitsubishi Electric Research Laboratories, Cambridge, MA, USA

Wissenschaftliche Kooperationen
Scientific cooperations

- Dr. rer. nat. habil. Ralf Schlüter, RWTH Aachen
- Prof. Dr. Petra Wagner, Universität Bielefeld
- Dr. Joachim Köhler, Fraunhofer Intelligente Analyse- und Informationssysteme (IAIS), St. Augustin
- Prof. Sharon Gannot Bar-Ilan. University Ramat Gan, Israel
- Dr. Jinyu Li, Microsoft Research, Bellevue, WA, USA
- Prof. Dr. Bhiksha Raj, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA
- Prof. Thomas Niesler, Universität Stellenbosch

Data Science

Prof. Dr. Axel-Cyrille Ngonga Ngomo

Data Science

Prof. Dr. Axel-Cyrille Ngonga Ngomo

Publikationen
Publications

You can find all publications of the workgroup at **ris.upb.de/record?cql=department=574**

Promotionen
PhD Theses

Abdullah Fathi Ahmed Ahmed
Geospatial Link Discovery with Human in the Loop
The increased availability of heterogeneous knowledge Graphs (KGs) has unlocked numerous opportunities in data-driven applications, such as information retrieval, Natural Language Processing (NLP), and geospatial analysis. However, the potential of these KGs remains largely untapped due to their limited interlinking. This thesis addresses critical research gaps in the realm of Link Discovery (LD) over KGs particularly focusing on geospatial KGs. Three key research gaps are identified: scalability (Research Gap 1), the absence of holistic models for Linked Open Data (LOD) (Research Gap 2), and the need for explainability in LD with the human in the loop (Research Gap 3). To address Research Gap 1, we propose a novel algorithm called LineSimp. In the LineSimp, we discover the topological relations between geospatial Resource Description Framework (RDF) resources using a simplified version of such geospatial RDF resources. Our findings show an average loss of 15% in F-measure on the original data, but a significant speedup of up to 67 times when applied to simplified geometries. The Intersection Matrix Approach offers a scalable solution in the LD over geospatial KGs with a speed increase of up to 35% in computation time. In addition, we introduce cobalt. Cobalt combines content measures with R-tree indexing. Content measures are based on the area, diagonal, and distance of the Minimum Bounding Boxes (MBBs) of polygons, which speeds up the process while allowing for further precision. To address Research Gap 2, we introduce Nellie, a modular pipeline architecture. Nellie not only identifies relevant KGs for linkage but also successfully integrates them, contributing to a more unified and complete (KG). Our approach shows a measurable impact on link prediction and KG completeness, marking a milestone for 24/7 linking and holistic LOD models. When tackling Research Gap 3, we offer innovative solutions to improve explainability, including the conversion of complex Link Specifications (LSs) into natural language. Our template-based and neural-based verbalization methods significantly improve user comprehension without sacrificing the richness of the underlying LSs. In summary, this thesis makes groundbreaking contributions to the domain of LD over geospatial KGs. It introduces scalable, effective, and explainable methodologies that have extensive applications in real-time systems, KG integration, and the broader realm of explainable AI.

René Speck
Knowledge Extraction for the Data Web
Die Wissensextraktion ist ein wesentlicher Bestandteil in zahlreichen Anwendungen verschiedenster Forschungsfelder, wie beispielsweise die Prüfung von Fakten, das Erstellen und Befüllen von Wissensgraphen sowie Frage-Antwort-Systeme basierend auf Wissensgraphen. Die Wissensextraktion spielt in ihren Anwendungsgebieten oft eine entscheidende Rolle, indem sie die Extraktion bedeutungsvoller Erkenntnisse aus großen Mengen unstrukturierter Daten ermöglicht. Das gewonnene Wissen unterstützt bei fundierten und intelligenten Entscheidungsfindungen. Unsere Beiträge verbessern die Qualität der Wissensextraktion in ihren Kernaufgaben, dadurch erhöhen wir die Gesamtqualität in verschiedenen Forschungsbereichen. Unser erster Beitrag basiert auf Ensemblemethoden für die Erkennung von Entitäten in Text und erreicht eine Reduzierung der Fehlerraten um 40% für diese spezifische Kernaufgabe. Wir stellen unsere Ergebnisse mit Fox zur Verfügung, ein Framework, das einen Wissensgraphen mit maschinenverarbeitbaren Standards als Ausgabe serialisiert. Wir schlagen Cetus vor, ein auf Muster basierender Ansatz für die Extraktion von Entitätstypen und für das Befüllen von Wissensgraphen. Unser Ansatz erreicht eine höhere F-measure als andere Ansätze für die Aufgabe Entitätstypen zu extrahieren und mit Wissensgraphen zu verknüpfen. Wir präsentieren unsere Untersuchungen zu holistischen Ansätzen für das verlinkten von Entitäten und schlagen unser Referenzframework für diese Kernaufgaben vor. Wir stellen Ocelot vor, ein Ansatz für die Extraktion von vordefinierten Relationen basierend auf distributionaler Semantik und einer Baumgeneralisierung. Wir kombinieren dabei überwachtes und unüberwachtes Lernen für diese Kernaufgabe. Unser Ansatz verallgemeinert Muster in Dependenzbäumen von hoher Qualität und extrahiert Relationen aus unstrukturiertem Text mit diesen verallgemeinerten Bäumen präziser als zwei andere Systeme, die dem Stand der Technik entsprechen. Mit unserem Scms Ansatz erleichtern wir die semantische Datenintegration in Content-Management-Systemen mit unserem Fox-Framework. Unser Ansatz unterstützt Inhalte zu semantisieren und unterstützt damit eine effizientere Entscheidungsfindung. Wir berichten über unsere Teilnahme an der Semantic Web Challenge mit unserem Ansatz Leopard, der für die Vorhersage und Validierung von Attributen sowie für die Befüllung von Wissensgraphen entwickelt wurde. Unser Ansatz unterstützt dabei die Genauigkeit und Vollständigkeit von Wissensgraphen zu verbessern. Leopard kombiniert eine Vielzahl von vielfältigen Wissens- und Textextraktionsmethoden und nutzt Quellen sowohl aus dem mehrsprachigen Web der Dokumente, als auch dem mehrsprachigen Web der Daten, unter Einbeziehung von Rankingverfahren auf Präzisionsbasis. Abschließend skizzieren wir unsere Teilnahme an der Open Knowledge Extraction Challenge und erläutern, wie wir unsere vorgeschlagenen Ansätze während der Challenge genutzt haben. Wir sind insgesamt davon Überzeugung, dass unsere Beiträge einen bedeutenden Fortschritt im Bereich der Wissensextraktion und der Erstellung von Wissensgraphen darstellen. Unsere Ansätze verbessern nicht nur die Qualität und die Effizienz, sondern eröffnen auch neue Möglichkeiten für das Verständnis und die Integration von Daten.

Messen, Tagungen, Seminare
Fairs, conferences, seminars

2024 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing
12. – 16.11.2024 in Miami/USA

23rd International Semantic Web Conference
11. – 15.11.2024, Baltimore/USA

24th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management
26. – 28.11.2024, Amsterdam/NL

Patente, Preise, Auszeichnungen
Patents, prizes, awards

- Innovationspreis NRW 2024 - „innovation-4transformation“, Prof. Dr. Ngonga Ngomo
- Prof. Dr. Axel-Cyrille Ngonga Ngomo (Universität Paderborn) entwickelte eine neue Familie von neuro-symbolischen Algorithmen. Diese ermöglichen neuartige Grundmodelle, welche die Eigenschaften neuronaler Ansätze (zeiteffizient und robust) mit den Eigenschaften symbolischer Ansätze (dateneffizient und erklärbar) kombinieren. Durch den neuen Ansatz wird ein derzeit grundlegendes KI-Problem gelöst. In Folge werden die von der KI generierten Antworten für den Anwender nachvollziehbarer.

Weitere Funktionen
Additional functions

- Direktor Joint Artificial Intelligence Institute (JAII)
- stv. Institutsleiter des Instituts für Informatik an der Universität Paderborn
- Direktor Informatik Rechnerbetrieb (IRB)

Spin-Offs
Spinn-offs

- Tentris GmbH

Aktuelle Forschungsprojekte
Current research projects

SPARQL-ML " Maschinelles Lernen für die Optimierung von SPARQL-Abfragen über zentralisierte und verteilte RDF-Wissensgraphen" - Teilvorhaben: Maschinelles Lernen für die Optimierung von SPARQL Abfragen
The goal of SPARQL-ML is the development of intelligent query engines for knowledge graphs. The focus lies especially in the developing of a reinforcement-learning based engine for the processing of federated queries on large-scale data.
Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Laufzeit: 1.11.2024 – 31.10.2027

KI-OWL "KI-Akademie KI-Akademie Ostwestfalen-Lippe" - Teilvorhaben: KI-OWL-UPB
Die KI-Akademie OWL dient der Bündelung und Vertiefung der an den Hochschulen in OWL bestehenden Expertise zu KI. Inhaltliche Schwerpunkte fokussieren auf technologische und gesellschaftliche KI-Sicherheit und Adressierung von Einschränkungen von KI, sowie auf individualisierte KI-Komponenten und KI für die Ermöglichung von Inklusion durch KI-Ansätze für begrenzte Daten und Ressourcen.
Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Laufzeit: 1.07.2024 – 31.12.2028

WHALE "Web-Scale Hybrid Explainable Machine Learning"
WHALE (Web-Scale Hybrid Explainable Machine Learning) aims at developing scalable, transparent, and explainable AI systems for web-scale knowledge graphs. Recognizing the challenges posed by the vast size and complexity of web data, WHALE employs hybrid machine learning approaches that integrate multiple representations to process and analyze massive datasets efficiently.
Förderung: Ministerium für Kultur und Wissenschaft des Landes Nordrhein-Westfalen
Laufzeit: 1.10.2023 – 30.09.2027

Verbund SAIL "SustAInable Life-cycle of Intelligent SocioTechnical Systems" – Teilvorhaben Universität Paderborn
Das SAIL Forschungsnetzwerk besteht aus rund 80 Wissenschaftler*innen (Uni Bielefeld, Uni Paderborn, HSBI & TH OWL), die sich zusammengeschlossen haben, um einen ganzheitlichen Ansatz für KI zu verfolgen, der es ermöglicht, die langfristigen gesellschaftlichen und ökologischen Auswirkungen von KI, wie auch die Bedürfnisse der Nutzer*innen und der sie umgebenden IT-Infrastruktur zu berücksichtigen.
Förderung: Ministerium für Kultur und Wissenschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (MKW NRW)
Laufzeit: 1.08.2022 – 31.07.2026

TENTRIS "EXIST-Forschungstransfer: Tentris"
Ziel des Projekts ist die Unterstützung des Aufbaus einer KI-zentrischen Lösung für das Management von großen Wissensgraphen. Das Projekt entwickelt eine Triple-Store-Lösung auf Basis von Tensoren und kombiniert diese mit neuartigen Graph Retrieval Augmented Generation Verfahren.
Förderung: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
Laufzeit: 1.04.2024 – 31.03.2026

KIAM "Kompetenzzentrum KI in der Arbeitswelt des industriellen Mittelstands in OstWestfalen-Lippe"
Das Projekt entwickelt Information Retrieval Verfahren für technische Dokumente. Dazu müssen klassische Retrievalmodelle um domänenspezifische Semantik ergänzt werden. Als Anwendungsfälle dienen die effiziente Wartung und Nutzung von Industrie 4.0 Anlagen.
Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Laufzeit: 1.10.2020 – 30.09.2025

"Software Campus 2.0" – Mikroprojekt: LASS KG
LASS KG leverages Neurosymbolic AI to enhance materials discovery by utilizing advanced language models and knowledge graphs. The project addresses the demand for skilled experts in material science by boosting research productivity and will pioneer the use of AI to conduct searches and deliver summaries from vast scientific databases, significantly reducing time and resource expenditures.
Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung
Laufzeit: 1.02.2023 – 30.06.2025

NEBULA "Detektion von Fake News und Fehlinformationen durch schwache Wissensgraphen und künstliche Intelligenz" – Teilvorhaben: Detektion von Fake News und Fehlinformationen durch schwache Wissensgraphen und künstliche Intelligenz
The goal of this interdisciplinary project is the transparent, AI-based detection of Fake News and false information in security-relevant situations and a presentation of the detection results that is suitable for the target audience and boosts the audiences media literacy.
Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Laufzeit: 1.07.2022 – 30.06.2025

SFB TRR 318 "Constructing Explainability" – Teilprojekt B1: A dialog-based approach to explaining machine learning models
Ziel von B1 ist die Erarbeitung von KI-Verfahren, die natürlichsprachliche Rückfragen angemessen beantworten kann. Im medizinischen Bereich sollen diese Modelle gegenüber Pflegepersonal einen Behandlungsvorschlag begründen können und Fragen und Unsicherheiten von Betroffenen in Bezug auf den Behandlungsplan klären. Dazu entwickeln die Forschenden im Projekt ein Dialogsystem, das in verschiedenen

Gesellschaftsbereichen eingesetzt werden kann.
Förderung:Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Laufzeit: 1.07.2021 – 31.12.2025

ClimatebOWL "Climate neutral Business in Ostwestfalen-Lippe"
Achieving climate neutrality is essential due to rising sustainability demands, costs, and stricter laws like the Climate Protection Act, requiring a 65% GHG reduction by 2030 and neutrality by 2045. The “Climate bOWL” project focuses on minimizing emissions. The Data Science team researches knowledge graphs integration and machine learning for entity and relation recognition in data.
Förderung: Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIDE NRW)
Laufzeit: 1.04.2022 – 31.03.2025

PURAITE "Start-up Transfer.NRW: Puraite"
Puraite targets the transformion of the systematic review process in medical research with AI-powered screening and data extraction methods.
Förderung: Ministeriums für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIKE NRW)
Laufzeit: 1.04.2022 – 31.03.2025

COLIDE "Co-Training und Co-Regulierung für Industriedaten"
Ziel von COLIDE ist die Entwicklung von Auto-Multi-View-Learning-Verfahren für heterogene Industriedaten. Dazu werden multi-view learning und automatisiertes maschinelles Lernen erstmals kombiniert. Damit werden insbesondere KMUs in die Lage versetzt, den Mehrwert der simultanen Nutzung verschiedenster ML-Methoden auf heterogenen Datenquellen kosteneffizient zu erfahren und so innovative, datengetriebene Lösungen anzubieten.
Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Laufzeit: 1.05.2021 – 31.12.2024

3DFed "Dynamische Datenverteilung und Föderation" – Teilprojekt: Dynamische Verteilung und föderiertes Anfragen von Wissensgraphen
In this project we developed generic approaches for the automatic redistribution and federated querying of large, distributed datasets. The final output was a set of W3C-standard-conformant tools that implement automatic data distribution, federated query planning and execution, dynamic data exchange mechanisms, data storage profiling (containing useful information/ statistics about the underlying data) and data monitoring.
Förderung:Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Laufzeit: 1.04.2021 – 31.03.2024

Aktuelle Industriekooperationen
Current industry cooperations

- Babelscape SRL
- Datev eG
- webLyzard technology GmbH

Wissenschaftliche Kooperationen
Scientific cooperations

- Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
- Wirtschaftsuniversität Wien
- Foundation for Research & Technology – Hellas
- Universität Maastricht
- Babelscape SRL
- Reichsuniversität Groningen
- Universität Stuttgart
- National Centre of Scientific Research "Demokritos"
- Satellitenzentrum der Europäischen Union
- Datev eG
- Universiteit van Amsterdam
- webLyzard technology GmbH
- Universität Bielefeld
- Ludwig-Maximilians-Universität München
- Technische Universität Posen
- Katholieke Universiteit Leuven
- Universität Mailand-Bicocca
- Universität Zypern
- Universität Siena
- Vrije Universiteit Amsterdam
- Universität Umeå
- Institut National De Recherche Pour L'agriculture (INRAE)
- Nizo Food Research BV
- Ethniko Kai Kapodistriako Panepistimio Athinon (NKUA), Chr. Hansen A/S (CHRH), Stichting VU (VUA), Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Cientificas (CSIC), Katholieke Universiteit Leuven (KUL), Universita Di Bologna (UNIBO), Universite Paul Sabatier Toulouse III (UT3), Universität Paderborn (UPB), Universite Libre de Bruxelles (ULB).

Schaltungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Christoph Scheytt

System and Circuit Technology

Prof. Dr.-Ing. Christoph Scheytt

Publikationen
Publications

You can find all publications of the workgroup at **ris.upb.de/record?cql=department=58**

Promotionen
PhD Theses

Meysam Bahmanian
Optoelectronic Phase-Locked Loop, Theory and Implementation
In dieser Arbeit werden die Theorie und die Implementierung der Erzeugung von Mikrowellensignalen auf der Grundlage einer optischen Frequenzreferenz unter Verwendung einer Phasenregelschleife vorgestellt: der optoelektronischen Phasenregelschleife (OEPLL). Der Phasendetektor der OEPLL wird als balancierter optischer Mikrowellen-Phasendetektor (BOMPD) bezeichnet und arbeitet in einer gemischt-elektro-optischen Domäne, da er in der Lage sein muss, die Phasendifferenz zwischen zwei Signalen zu unterscheiden, die in unterschiedlichen Domänen liegen.
Modengekoppelte Laser (MLL) haben gezeigt, dass sie in der Lage sind, optische Pulse mit ausgezeichnetem Kurzzeit-Timing-Jitter zu erzeugen. Der Timing-Jitter der optischen Pulsfolge von MLLs kann weitaus besser sein als der von Quarz- und Oberflächenwellenoszillatoren. Darüber hinaus erzeugen MLLs eine oberwellenreiche Intensitätswellenform, die für die Breitband-Frequenzsynthese verwendet werden kann. Diese Eigenschaften von optischen MLL-Pulsen machen sie zu einem perfekten Kandidaten für die Verwendung als Frequenzreferenz für die Erzeugungrauscharmer HF-Signale.
Unter den verschiedenen Techniken zur Erzeugung von Mikrowellensignalen mit MLL ist die OEPLL besonders interessant für die breitbandige Mikrowellenfrequenzsynthese. Daher konzentriert sich diese Arbeit hauptsächlich auf die Analyse, den Entwurf und die Optimierung der OEPLL. Es wird ein allgemeines Modell der PLL auf Komponentenebene gegeben und dann wird dieses Modell an die OEPLL angepasst. Diese Modellierung auf Systemebene wird dann verwendet, um das Verhalten der OEPLL zu simulieren und das Phasenrauschen zu optimieren. Darüber hinaus wird eine gründliche Analyse des BOMPD durchgeführt, die sich mit verschiedenen Rauschprozessen befasst, die das Phasenrauschen beeinflussen. Die nichtlinearen Mechanismen des BOMPD werden ebenfalls diskutiert. Die nichtlineare Analyse führt zur Entdeckung eines neuen Betriebsregimes der OEPLL, das sie in die Lage versetzt, auf Zwischenharmonische (d.h. nicht-ganzzahlige Harmonische) der optischen Referenz-Wiederholrate einzurasten.
Die in dieser Arbeit entwickelte Theorie wird genutzt, um zwei verschiedene Breitband-OEPLLs zu entwerfen und zu implementieren. Der erste Entwurf verwendet einen VCO, der eine Oktave des Frequenzbereichs 5–10 GHz abdeckt. Die OEPLL hat ein In-Band-Phasenrauschen von –135 dBc/Hz bei 100 kHz Offset-Frequenz und 10 GHz Trägerfrequenz, mit einem Effektiv-Jitter von 13,8 fs, integriert von 1 kHz bis 100 MHz. Der zweite Entwurf verwendet einen breitbandigen Yttrium-Eisen-Granat (YIG)-Oszillator mit einem Frequenzbereich von 2–20 GHz. Die OEPLL hat ein In-Band-Phasenrauschen von –150 dBc/Hz bei 100 kHz Offset-Frequenz und 10 GHz Trägerfrequenz, mit einem Effektiv-Jitter von 2,8fs, integriert von 1 kHz bis 100 MHz. Dieses Resultat des In-Band-Phasenrauschens ist 10–20 dB besser als das der klassenbesten kommerziellen Frequenzsynthesizern auf dem aktuellen Markt.

Messen, Tagungen, Seminare
Fairs, conferences, seminars

2024 IEEE BiCMOS and Compound Semiconductor Integrated Circuits and Technology Symposium (BCICTS)
27. – 30.10.2024, Fort Lauderdale FL, USA

2025 IEEE BiCMOS and Compound Semiconductor Integrated Circuits and Technology Symposium (BCICTS)
19. – 22.10.2025, San Diego CA, USA

27. Workshops für Methoden und Beschreibungssprachen zur Modellierung und Verifikation von Schaltungen und Systemen 2023
Kaiserslautern Deutschland, März 2024

28. Workshop für Methoden und Beschreibungssprachen zur Modellierung und Verifikation von Schaltungen und Systemen 2025
Rostock, Deutschland, März 2025

28th IEEE/ACM Design, Automation and Test in Europe (DATE)
25. – 27.3.2024, Valencia, Spain

29th IEEE/ACM Design, Automation and Test in Europe (DATE)
31.03. – 2.4.2025, Lyon, France

26. European Microwave Week 2024
22. – 27.09.2024, Paris, France

27. European Microwave Week 2025
21. – 26.09.2025, Uetrecht, The Netherlands

SPP 2111 Status Meeting 2024
11. – 12.09.24 Paderborn

European Microwave Conference (EuMC) 2024: Workshop WTh04: Microwave Photonics for Wireless Sensing
26.09.2024, Berlin

Patente, Preise, Auszeichnungen
Patents, prizes, awards

- Quantenoptisch-unterstütztes Sende-/Empfangssystem. S. Kruse, B. Brecht, C. Silberhorn, L.M. Serino, (2024). Int. Patent Number 10 2023 203 697.5.
- Mehrband-Software-Defined-Radio-System zur Umfelderfassung, sowie Verfahren und Kraftfahrzeug. S. Kruse, J.C. Scheytt, H.G. Kurz, T. Schwabe, M.-M. Meinecke, (2024). Int. Patent Number 10 2023 204 352.1.
- Mehrband-Sensorsystem zur Umfelderfassung, sowie Verfahren und Kraftfahrzeug. S. Kruse, J.C. Scheytt, T. Schwabe, K. Heiko Gustav, M. Marc-Michael, (2024). Int. Patent Number 10 2023 204 354.8.
- Funk-Optisches Sensorsystem für die Umfelderfassung. S. Kruse, J.C. Scheytt, M.-M. Meinecke, H.G. Kurz, (2024). Int. Patent Number 10 2022 212 165.1.
- Radarsystem mit CMOS-Elektronikkomponenten. S. Kruse, J.C. Scheytt, (2024). Int. Patent Number 10 2023 200 606.5.
- Optoelektronischer Oszillator. S. Kruse, J.C. Scheytt, (2024) Int. Patent Number 10 2022 214 163.6.
- Elektrooptische PLL. S. Kruse, J.C. Scheytt, (2024). Int. Patent Number 10 2023 203 698.3.
- Integriertes optisches Spektrometer. J.C. Scheytt, T. Schwabe, (2024). Int. Patent Number 10 2022 213 198.3.
- 3. Platz im Nachwuchspreis 2024 der "Freunde des IHP e.V." der Masterarbeit Harshan Gowda Malavalli Nagaraj "Design and Analysis of PAM-4 Bang-Bang Phase

Detector for High-Speed Half-rate CDR Circuit in 22nm FDSOI"
- QuSine: Top 3 Finalist des DDX Startup World Cup
- QuSine: OWL Startup Summit Finalist
- QuSine: 2. Platz beim Aachener Technology and Entraperneurship Congress
- QuSine: Startup of the week bei startup-detector

Weitere Funktionen Prof. Scheytt
Additional functions Prof. Scheytt

- Stellvertretender Institutsleiter des Instituts für Elektrotechnik und Informationstechnik, Uni Paderborn
- Stellvertretender Vorsitzender des Institut für photonische Quantensysteme PhoQS
- Koordinator des DFG-Schwerpunktprogramms „Electronic-Photonic Integration for Ultrafast Signal Processing" (SPP 2111)
- Vorstandsmitglied im Center for Optoelectronics and Photonics Paderborn (CeOPP)
- Mitglied im Programmkomitee European Microwave Week (EuMW) 2024 (Paris, France) und 2025 (Uetrecht, NL)
- Mitglied im Programmkomitte IEEE BiCMOS and Compound Semiconductor Integrated Circuits and Technology Symposium (BCICTS) 2024 (Fort Lauderdale, US) und 2025 (San Diego, US)
- seit 2014, Mitglied im Programmkommitee German Microwave Conference (GeMiC),
- Gründungsbotschafter für Fakultät EIM, TecUp Universität Paderborn.
- Mitglied in der European Radio and Microwave Interest Group (EURAMIG) der European Microwave Association (EuMA)
- Mitglied im European Photonic Industry Consortium (EPIC)
- Mitglied in Photonic21, European Technology Platform for Photonics
- Gutachter IEEE Journal of Solid-State Circuits, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, IEEE Microwave Components Letters, European Microwave Week, German Microwave Week

Weitere Funktionen apl. Prof. Müller
Additional functions apl. Prof. Müller

- Mitglied im Main Board der European Design and Automation Association (EDAA)
- Sprecher der VDE-VDI-GMM/ITG/GI-Fachgruppe 4 (Beschreibungssprachen und Modellierung von Schaltungen und Systemen) der Kooperationsgemeinschaft Rechnergestützter Schaltungs- und Systementwurf (RSS)
- Mitglied der Special Interest Group Design Automation (SIGDA) der Association for Computing Machinery (ACM)
- Mitglied im Personalrat der wissenschaftlich und künstlerisch Beschäftigten der Universität Paderborn
- Mitglied im Executive Committee der DATE 2024 (Valencia, Spanien, April 2024)
- Mitglied im Executive Committee der DATE 2025 (Lyon, Frankreich, März 2025)
- Gutachter der Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
- Gutachter und Mitglied im Programmkomitee des 26. Workshops für Methoden und Beschreibungssprachen zur Modellierung und Verifikation von Schaltungen und Systemen 2023 (Freiburg, Deutschland, März 2023)
- Gutachter und Mitglied im Programmkomitee des 21st Workshop Automotive Software Engineering 2024 (Linz, Österreich, Februar 2024).
- Gutachter und Mitglied im Programmkomitee des 22th Workshop Automotive Software Engineering 2025 (Karlsruhe, Februar 2025).
- Gutachter und Mitglied im Programmkomitee der International IEEE Conference on Hardware / Software Codesign and System Synthesis (Raleigh NC, Oktober 2024)
- Mitglied im Editorial Board Foundations and Trends in Electronic Design Automation, now publishers, Boston/Delft.

Spin-Offs
Spinn-offs

- Qusine GmbH
- Xavveo GmbH
- advICo microelectronics GmbH

Aktuelle Forschungsprojekte
Current research projects

LiRaS – Lidar Radar Kombisysteme
Das Ziel des LiRaS Projektes ist die Erforschung und entwicklung eines kombinierten photonischen radars und Lidar Sensorsystem für automobile Anwendungen.
Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Laufzeit: Mai 2024 – April 2027

METERACOM – Metrology for Terahertz Communication Phase 2
Im Zentrum der DFG-Forschungsgruppe METERACOM steht die Erforschung von Messtechnik-Methoden für drahtlosen Kommunikationstechnologie mit THz-Signalen und die Entwicklung und Charakterisierung von neuen Messmitteln.
Förderung: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Laufzeit: Juni 2022 – Mai 2025

Scale4Edge - Entwicklungsplattform und Ökosystem für skalierbare Spezialprozessoren im Edge-Computing
Scale4Edge erforscht skalierbare und flexibel erweiterbare Chip-Entwicklungsplattformen und -architekturen auf Basis der lizenzfreien, quelloffenen RISC-V-Befehlssatzarchitektur.
Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Laufzeit: April 2020 – Dezember 2025

PONyDAC - Precise Optical Nyquist Pulse Synthesizer DAC – Phase 2
Das Ziel des PONyDAC-Projekts ist die Untersuchung und Implementierung von elektronisch-photonischen Digital-Analog-Umsetzern mittels Synthese optischer Nyquistpulse und der Verwendung von optischem Time-Interleaving.
Förderung: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Laufzeit: Januar 2022 – März 2025

PACE – Photonically Assisted Ultrabroadband Analog-to-Digital-Converter – Phase 2
Das Ziel des PACE-Projekts ist die Untersuchung und Implementierung von extrem schnellen Analog-Digital-Umsetzern, auf Basis von photonischer und elektronischer Signalverarbeitung.
Förderung: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Laufzeit: Januar 2022 – April 2025

Transregio TRR142/C11 - Kompakte Photonenpaar-Quelle mit ultraschnellen Modulatoren auf Basis von CMOS und LNOI
In dem Projekt werden miniaturisierte Quellen für dekorrelierte Photonenpaare mit hoher Wiederholrate untersucht und demonstriert.
Förderung: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Laufzeit 3. Phase: Januar 2022 – Dezember 2025

MINTS II – Mode-locked Laser based Integrated Terahertz Synthesizer
Das Projekt untersucht elektronisch-photonische THz Frequenzsynthesizer-Architekturen zur Integration in Silizium-Photonik (SiPh) und/oder Indium-Phosphit (InP) Photonik-Technologien.
Förderung: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Laufzeit: Jan 2022 – Dezember 2025

MID4AUTOMOTIVE - Strukturintegrierte Elektronik mittels Spritzgussverfahren für verbesserte Radarsysteme im Automobil
Das Projekt erforscht die 3D-MID Chip-Packaging- und Integrationstechnologie, die eine dreidimensionale Anordnung von Chip-Komponenten und eine große Flexibilität bei der Form des Endmoduls ermöglicht.
Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung
Laufzeit: März 2023 – Februar 2026

RadiOptics – Mikrowellensignalgenerierung mit modengekoppelten Lasern
Das Ziel des RadiOptics-Projekts ist die Kommerzialisierung der nächsten Generation von Mikrowellensignalgeneratoren, die einen modengekoppelten Laser (engl. mode-locked laser, MLL) verwenden.
Förderung: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Laufzeit: Juli 2023 – Dezember 2024

PhoQuant - Photonic Quantum Computing
Das PhoQuant-Projekt entwickelt einen 100-Qubits-Quantencomputer mit monolithisch integrierter Architektur, der neben den optimierten Algorithmen die Basis für weitere universelle Entwicklungen bilden kann.
Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung
Laufzeit: Januar 2022 – Dezember 2026

PhoQC - Photonisches Quantencomputing
Ziel ist es, die Grundlagen für photonische Quantenrechner zu erforschen, sowohl in der Technologieentwicklung zu photonenbasierten Quantenanwendungen als auch in der theoretischen sowie experimentellen Konzeptfindung.
Förderung: EIN Quantum NRW, MWIKE. NRW
Laufzeit: Januar 2022 – Dezember 2024

PhoQS-Projekt: Modellierung und Optimierung photonischer Wirebonds
Dieses Projekt umfasst die simulatorische Untersuchung für photonischen Anbindungen von Faser-zu-Chip (Endfacetten- oder Gitterkoppler) oder von Chip-zu-Chip (Endfacetten-, Gitterkoppler oder andere Kopplungsarten).
Förderung: Institut für photonische Quantensysteme (PhoQS), Universität Paderborn
Laufzeit: September 2023 – Dezember 2024

PhoQS-Projekt: Quantenoptische Systeme in Siliziumnitrid Technologie
In diesem Forschungsprojekt wird die Möglichkeit zur Integration von quantenoptischen Komponenten, welche unter Anderem in photonischen Quantencomputern und Sensoren eingesetzt werden können, in kommerziell erhältlicher Siliziumnitrid-Technologie untersucht.
Förderung: Institut für photonische Quantensysteme (PhoQS), Universität Paderborn
Laufzeit: Juli 2023 – Dezember 2024

PhoQS-Projekt Quantenunterstützte Sensorsysteme
In diesem Forschungsprojekt soll ein quantenunterstütztes Lidar und photonisches Radarsystem aufgebaut werden.
Förderung: Institut für photonische Quantensysteme (PhoQS), Universität Paderborn
Laufzeit: Juli 2023 – Dezember 2024

Aktuelle Industriekooperationen
Current industry cooperations

- Astron, Dwingeloo
- AbsInt Angewandte Informatik GmbH, Saarbrücken
- advICo microelectronics GmbH, Recklinghausen
- ADVA Optical Networking SE, Berlin
- AEMtec GmbH, Berlin
- ARQUIMEA Deutschland GmbH, Frankfurt/O.
- Audi AG, Ingolstadt
- Cadence Design Systems GmbH, München
- Cycle GmbH, Hamburg
- Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut (HHI), Berlin
- Fraunhofer IEM, Paderborn
- Fraunhofer IMS, Duisburg
- Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR, Wachtberg
- Fujikura Ltd, Japan
- Fujikura Technology Europe GmbH, Frankfurt/Main
- Hella GmbH & Co. KGaA, Lippstadt
- IHP – Leibniz Institut für innovative Mikroelektronik, Frankfurt/Oder
- II-VI Incorporated, PA, USA
- Infineon Technologies AG, München
- Konrad GmbH, Radolfzell
- Lackwerke Peters GmbH& Co. KG
- Leoni Fiber Optics GmbH, Neuhaus-Schierschnitz
- NXP Semiconductors Germany GmbH, Hamburg
- NXP Semiconductors Netherlands BV, Nimwegen
- MID Solutions GmbH, Bad Grund - OT Gittelde
- MINRES Technologies GmbH, Neubiberg
- Mitsubishi Chemical Europe Technical Center BV
- perisens GmbH, Feldkirchen b. München
- PhoQuant, Stuttgart
- QuSine, Potsdam
- Robert Bosch GmbH, Reutlingen
- Sicoya GmbH, Berlin
- SYSGO GmbH, Klein-Winternheim
- TOPTICA Photonics AG, Gräfelfing
- Volkswagen AG, Wolfsburg
- Xavveo GmbH, Berlin

Wissenschaftliche Kooperationen
Scientific cooperations

- Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Prof. Becker
- DLR, Dr. Grüttner
- Eberhard Karls Universität Tübingen, Prof. Bringmann
- Forschungszentrum Informatik (FZI), Dr. Viehl
- Hochschule München, Prof. Walentowitz
- Karlsruhe Institute of Technology, Prof. Koos, Prof. Zwick
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
- Ruhruniversität Bochum, Prof. Hofmann
- RWTH Aachen, Prof. Witzens
- Technische Universität Berlin/Fraunhofer HHI, Prof. Schell
- Technische Universität Berlin, Prof. Zimmermann
- Technische Universität Braunschweig, Prof. Schneider
- Technische Universität Braunschweig, Prof. Thomas Kürner
- Technische Universität Darmstadt, Prof. Koch
- Technische Universität Dresden, Prof. Jamshidi

- Technische Universität Dresden, Prof. Meyr
- Technische Universität Kaiserslautern, Prof. Kunz
- Technische Universität München, Prof. Ecker
- Technische Universität München, Prof. Müller-Gritschneder
- Universität Bremen, Prof. Drechsler
- Universität Hamburg / DESY, Prof. Kärtner
- Universität Potsdam, Prof. Krstic
- Universität Stuttgart, Prof. Kallfass
- Harvard University, MA, USA, Prof. Loncar
- National Physics Laboratory, Teddington, UK
- Netherlands Organisation for applied scientific research TNO, NL
- TU Eindhoven, NL, Prof. Johannson
- University of California, Irvine CA, USA, Prof. Dömer

Regelungstechnik und Mechatronik

Prof. Dr.-Ing. habil. Ansgar Trächtler

Control Engineering and Mechatronics

Prof. Dr.-Ing. habil. Ansgar Trächtler

Publikationen
Publications

You can find all publications of the workgroup at **ris.upb.de/record?cql=department=153**

Promotionen
PhD Theses

Ricarda-Samantha Götte
Online-Schätzung von Modellungenauigkeiten zur automatischen Modelladaption unter Beibehaltung einer physikalisch-technischen Interpretierbarkeit
Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines modellbasierten Beobachters für eingangsaffine, nichtlineare Systeme, der trotz Modellungenauigkeiten eine hohe Schätzgüte erzielt und zusätzlich eine parametrische, physikalisch interpretierbare Darstellung dieser ermöglicht. Diese soll zur automatisierten Verbesserung des Modells verwendet werden. Die vorliegende Arbeit analysiert sowohl Techniken der hybriden Systemidentifikation wie physikalisch motivierte neuronale Netze, als auch Methoden zur Kompensation von Modellungenauigkeiten im Beobachterentwurf. Basierend auf der Analyse wird ein neuartiger, modellbasierter Beobachter entworfen, der Systemzustände und Modellungenauigkeiten gleichzeitig schätzt und insbesondere eine parametrische, physikalisch interpretierbare Darstellung der Ungenauigkeiten erzielt. Diese besteht aus einer Linearkombination von physikalisch interpretierbaren Funktionen, deren dazugehörige, dünnbesetzt modellierte Parameter mithilfe eines augmentierten Zustands parallel zu den Systemzuständen geschätzt werden. Das Novum dieser Arbeit stellt somit die echtzeitfähige Schätzung von Zuständen und Modellungenauigkeiten in physikalisch-technischer Form dar, auf deren Grundlage ein Konzept zur automatisierten Modelladaption umgesetzt wird. Die Applikation der neuartigen Methodik ist in der Situation auftretender Systemveränderungen besonders vorteilhaft, da diese zur Laufzeit durch den augmentierten Beobachter geschätzt und identifiziert werden können.

Michael Hesse
Interaktive Inbetriebnahme von Steuerungen und Regelungen für partiell bekannte dynamische Systeme mittels Gauß-Prozess-Regression
Die Inbetriebnahme von Steuerungen und Regelungen stellt sicher, dass ein mechatronisches System ordnungsgemäß funktioniert und den Anforderungen gerecht wird. Der modellbasierte Entwurf basiert auf einem genauen Simulationsmodell. Allerdings ist dieser klassische Weg bei komplexen Systemen oft nicht praktikabel, da die analytische Modellierung zu kompliziert und zeitaufwendig ist. Diese Forschungslücke wird durch Verfahren adressiert, die eine effiziente und sichere Inbetriebnahme ermöglichen. Diese Verfahren kombinieren Regelungstechnik und Reinforcement Learning und nutzen vorhandenes Wissen über die Regelungsaufgabe, um Korrekturen basierend auf Messdaten und der probabilistischen Gauß-Prozess-Regression vorzunehmen. Das Vorwissen kann als teilweise bekanntes physikalisches Modell oder als Steuerungsfunktion vorliegen. Anwendungsbeispiele sind der Ultraschalldrahtbondprozess, verschiedene Pendelsysteme und ein Hexapod. Eine angepasste Bayessche Optimierung wird zur Identifikation einer Steuerparametrisierung für das Ultraschallbonden eingesetzt. Außerdem wird eine hybride Optimalsteuerung für das Doppelpendel auf einem Wagen entwickelt und erfolgreich validiert. Für einen Hexapod zur Fahrzeugachsprüfung wird eine hybride Zustandslinearisierung formuliert und ein Funktionsnachweis im Rahmen einer Simulation erbracht. Die Einhaltung technischer Rahmenbedingungen und ein stabiles Systemverhalten werden durch probabilistische Prädiktionen gewährleistet. In allen Anwendungsfällen wird eine Steigerung der Effizienz und Güte erzielt.

Annika Junker
Datengetriebene Modellbildung für nichtlineare mechatronische Systeme in regelungstechnisch verwertbarer Form
Der modellbasierte Regelungsentwurf erfordert eine möglichst genaue Kenntnis über das dynamische Verhalten des zugrunde liegenden physikalischen Systems. Durch maschinelle Lernverfahren besteht das Potenzial den Modellierungsaufwand im Vergleich zum klassischen Vorgehen zu reduzieren, indem physikalisches Vorwissen und an Messdaten trainierte Modelle effektiv zusammengeführt werden. Diese Dissertation entwickelt Methoden zur datengetriebenen Bestimmung von Modellen für den Regelungsentwurf nichtlinearer mechatronischer Systeme. Dazu wird die regelungstechnische Anwendbarkeit von Koopman-Operator-basierten Verfahren analysiert, die nichtlineare Dynamiken durch lineare Modelle approximieren. Darüber hinaus wird ein neuartiges Verfahren zur datengetriebenen Bestimmung von Port-Hamilton-Modellen entwickelt, die Energiezusammenhänge plausibel abbilden und sich unmittelbar für einen passivitätsbasierten Regelungsentwurf verwenden lassen. Zudem werden Ansätze zur automatischen Aktualisierung des im Regelkreis verwendeten Streckenmodells bei Modellunsicherheiten oder auftretenden Veränderungen der Systemdynamik vorgestellt. Experimentelle sowie simulative Untersuchungen demonstrieren die herausragende Prädiktionsgenauigkeit der datengetriebenen Modelle und die hohe Regelgüte. Die Ergebnisse dieser Dissertation leisten einen bedeutenden Beitrag, weil die datengetriebenen Modelle eine aus regelungstechnischer Sicht verwertbare Form aufweisen. Sie sind physikalisch interpretierbar und lassen sich nahtlos in bestehende Analyse- und Entwurfsmethoden einbinden. Dies eröffnet neue Perspektiven für zukünftige Anwendungen und Weiterentwicklungen.

Kevin Malena
Konzipierung, Analyse und Realumsetzung eines mehrstufigen modellprädiktiven Lichtsignalanlagenregelungssystems
Die vorliegende Dissertation beschreibt das Konzept und den Entwicklungsprozess eines Lichtsignalanlagenregelungssystems bis zur Realumsetzung. Das Regelungssystem, welches im Rahmen des Pilotprojekts Schlosskreuzung entstanden ist, besteht dabei aus zwei untereinander abgestimmten Ansätzen zur Echtzeit-Verkehrsrekonstruktion und zur modellprädiktiven Regelung des Verkehrssystems anhand der vorhandenen Lichtsignalanlagen. Die Echtzeit-Verkehrsrekonstruktion approximiert dabei simulationsbasiert den aktuellen Verkehrszustand anhand gegebener Messdaten über dynamische Verkehrszuweisungen. Die entwickelte mehrstufige Lichtsignalanlagenregelung nutzt ein Fuzzy System zur Phasenvorauswahl, um anschließend über eine modellprädiktive Regelung das nichtlineare Problem mit dem Ergebnis der optimalen Kombinationen von Phasen und Schaltzeitpunkten zu lösen. Das Regelungssystem wird in dieser Arbeit anhand eines ausgewählten Verkehrsgebiets zunächst rein simulativ getestet und mit dem vorliegenden Bestandsverfahren verglichen. Im Anschluss an die prototypische Inbetriebnahme wird dieser Vergleich durch die Feldtests abgeschlossen. Die entsprechenden Ergebnisse zeigen das große Potenzial der Entwicklung hinsichtlich der Reduktion von Kriterien wie Emissionen oder Wartezeiten und gleichzeitig den Handlungsbedarf für eine standardmäßige Nutzung.

Arne Rüting
Echtzeitfähige modellprädiktive Planung zeitoptimierter Trajektorien für kinematisch redundante Mechanismen auf industrieller Hardware
Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der modellprädiktiven Planung zeitoptimierter Trajektorien für mehrachsige kinematisch redundante Mechanismen. Es werden zunächst grundlegende Begriffe erläutert, bevor der Stand der Wissenschaft und Technik hinsichtlich der Trajektorienplanung von kinematisch redundanten und nicht-redundanten Mechanismen sowie der Ausführung von Optimierungen auf Industriesteuerungen vorgestellt wird. Im Anschluss wird die modellprädiktive Planung erläutert. Diese nutzt die Mehrdeutigkeit bei der Ermittlung der Gelenkpositionen kinematisch redundanter Mechanismen, um die Verfahrzeit zwischen Sollpositionen im Rahmen von Punkt-zu-Punkt-Bewegungen zu minimieren. Anhand eines kinematisch redundanten hybridkinematischen Mechanismus erfolgt zunächst eine simulative Validierung des Ansatzes. Bezogen auf die immer flexibler werdenden Fertigungen im Kontext Losgröße-1 sind jedoch echtzeitfähige selbstoptimierende Steuerungen erforderlich, die sich zur Laufzeit auf wechselnde Aufgaben einstellen und mit weiteren Systemen interagieren. Aus diesem Grund liegt der Fokus auf der echtzeitfähigen Ausführung des Ansatzes auf einer Industriesteuerung, ein entscheidender Punkt, um die erforderliche Flexibilität und industrielle Einsetzbarkeit zu erreichen und gleichzeitig ein signifikanter Unterschied zum Stand der Technik. Hierzu erfolgt die Umsetzung auf das reale System und der Nachweis der echtzeitfähigen Ausführung mit Optimierungszeiten kleiner einer Millisekunde.

Weitere Funktionen
Additional functions

- Leiter Fraunhofer-Institut Entwurfstechnik Mechatronik IEM
- Mitglied von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
- Vorstand des L-LAB

Aktuelle Forschungsprojekte
Current research projects

Datengetriebene Methoden in der Regelungstechnik (DART)
Ziel der Nachwuchsgruppe „Datengetriebene Methoden in der Regelungstechnik“ ist es, die synergetische Kombination modell- und datengetriebener Verfahren für regelungstechnische Aufgaben zu erforschen. Dazu werden modellgetriebene Verfahren mit maschinellem Lernen kombiniert, um hybride Methoden zu erhalten und die größtmögliche Performanz beim Regelungsentwurf zu erzielen. Die so entwickelten hybriden Entwurfsmethoden sollen an verschiedenen Demonstratoren zusammengeführt und evaluiert werden. Eine industrielle Verwertung der Ergebnisse ist ebenso durch den Wissenstransfer in Kooperation mit dem Fraunhofer Institut Entwurfstechnik Mechatronik IEM geplant.
Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung
Laufzeit: 2020 – 2024

Robustheit von Sensoren und Sensorsystemen gegenüber Umweltbedingungen für Hochautomatisiertes Fahren (RoSSHAF)
Das Projekt verfolgt die Entwicklung innovativer Sensorik und angepasster Testverfahren für hochautomatisiertes Fahren unter widrigen Witterungsbedingungen, bei denen aktuelle Assistenzsysteme nicht zuverlässig arbeiten. Hierzu werden einzelne Sensoren virtuell abgebildet und unter Schlechtwetterbedingungen simuliert. Zusätzlich erolgt eine dynamische Erprobung und Optimierung von Sensorgesamtsystemen mithilfe KI-basierter Verfahren und Cloud-Anbindung. Darauf aufbauend entsteht im Rahmen des Forschungsvorhabens eine virtuelle Testplattform für die Umfeldsensorik, welche das Testen von Sensorsystemen frühzeitig in der Entwicklung ermöglicht und so die Funktionsfähigkeit in beliebigen Fahrsituationen gewährleistet.
Förderung: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Laufzeit: 2021 – 2024

Traffic Control for MixedAutonomy Systems (TraCMAS)
Automatisiertes Fahren in Kombination mit Car2X-Kommunikation eröffnet vielversprechende Möglichkeiten für zukünftige Verkehrssysteme. Die kooperative Nutzung von geteilter Echtzeitinformation ermöglicht eine deutliche Effizienzsteigerung der heutigen Verkehrsinfrastruktur. Mit diesem Ziel verfolgt das Projekt die Nutzung neuer Technologien aus dem Bereich der Verkehrstechnik zur Steuerung und Optimierung urbaner Verkehrsflüsse. So sollen autonome Fahrzeuge und Car2X-Kommunikationstechnik in ein Verkehrsleitsystem integriert und mit intelligenten Schaltungen für Lichtsignalanlagen (LSA) verknüpft werden. Zusätzlich erfolgt eine direkte Beeinflussung des Verkehrsgeschehens durch die Vorgabe optimierter Routen und Geschwindigkeitsprofile, welche einen signifikanten Einfluss auf den Verkehrsfluss autonomer Fahrzeuge haben. Auf diese Weise sollen Wartezeiten reduziert und Schadstoffemissionen gemindert werden.
Förderung: Karl-Vossloh-Stiftung
Laufzeit: 2021 – 2024

Nachhaltigkeitsoptimiertes Life Cycle Assessment technologisch hochkomplexer Produkte am Beispiel Automobilbeleuchtung (NALYSES)
Im Projekt NALYSES soll ein nachhaltigkeitsoptimierter Lebenskreislauf technologisch hochkomplexer Produkte realisiert werden. Bereits im Entwicklungsprozess sollen Reparierfähigkeit und Wiederverwendbarkeit nach Produktlebensende (durch Materialrückgewinnung und Wiederverwendung ganzer Baugruppen) berücksichtigt werden, was die Entwicklung neuartiger Materialkonzepte und Methoden, bspw. zur Verlängerung der Lebensdauer erfordert.
Förderung: BMBF
Laufzeit: 2022 – 2025

Transformations-Hub für eine verbesserte, nachhaltigere Nutzung von Automobilen durch digitale Services und digitale Geschäftsmodelle (DiSerHub)
DiSerHub zielt auf die Etablierung eines nutzerzentrierten Transformations-Hubs fürs Digitale Services und Geschäftsmodelle entlang der Wertschöpfung von Automobilität. Kern ist ein digitales Informationsportal und ein aufeinander abgestimmtes Maßnahmen-Bündel aus n-Demand- sowie Live-Transferformaten. Im Schwerpunktthema digitales Ökosystem für vernetztes automatisiertes Fahren wird als Demonstrator ein Reallabor in die bestehende Forschungs- und Innovationsinfrastruktur des HNI integriert.
Förderung: BMWK
Laufzeit: 2022 – 2025

Sustainable life-cycle of intelligent socio-technical systems (SAIL)
SAIL zielt auf die Erforschung der Intelligenten Technischen Systeme der nächsten Generation mit den Schwerpunkten Kooperation, Prosilienz und Nachhaltigkeit, wobei funktionale und nicht-funktionale Ziele zu berücksichtigen sind. Beispielsweise sollen Prosilienz und langfristige Robustheit durch einen Mensch-zentrierten Entwurf erreicht werden, wobei unterschiedliche Wege, um mit Unsicherheit umzugehen, erforscht werden sollen.
Förderung: MKW NRW
Laufzeit: 2022 – 2026

Aktuelle Industriekooperationen
Current industry cooperations

- BMW AG, München
- Covestro Deutschland AG, Leverkusen
- dSPACE GmbH, Paderborn
- Fertigungsgerätebau Adolf Steinbach GmbH & Co. KG, Salz
- geba Kunststoffcompounds GmbH, Ennigerloh
- HELLA GmbH & Co. KGaA, Lippstadt
- RTB GmbH & Co. KG, Bad Lippspringe
- Smart Mechatronics GmbH, Dortmund
- Stührenberg GmbH, Detmold
- ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen

Wissenschaftliche Kooperationen
Scientific cooperations

- Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Dr. h.c. Torsten Bertram, Technische Universität Dortmund, Deutschland
- Prof. Dr.-Ing. Welf-Guntram Drossel, Fraunhofer IWU, Deutschland
- Prof. Dr. Barbara Hammer, Universität Bielefeld, Deutschland
- -Prof. Dr. Jörg Meyer, Hochschule Hamm-Lippstadt, Deutschland
- Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk, Fraunhofer IGCV, Deutschland
- Prof. Dr.-Ing. habil. Frank Walther, Technische Universität Dortmund, Deutschland

Angewandte Ethik, Technikethik

Jun. Prof. Dr. Suzana Alpsancar

Angewandte Ethik, Technikethik

Jun. Prof. Dr. Suzana Alpsancar

Publikationen
Publications

You can find all publications of the workgroup at **ris.upb.de/record?cql=department=756**

Messen, Tagungen, Seminare
Fairs, conferences, seminars

TRR-Workshop des Teilprojekts B06 „XAI #7-Workshop: Ethics and Normativity of Explainable AI“
Die Tagung fand an der Universität Paderborn statt und wurde von Tobias Matzner, Suzana Alpsancar, Martina Philippi und Wessel Reijers organisiert.
15. – 17.05.2024, Paderborn

HNI-Forum: Pragmatische Opazität von Maschinen aus technikphilosophischer und -ethischer Sicht
An diesem HNI-Forum haben Suzana Alpsancar und Andreas Kaminski (TU Darmstadt) die von vielen kritisierte Intransparenz von ML-Systemen beleuchtet und für eine pragmatische Opazität argumentiert.
2.05.2024, Paderborn

Weitere Funktionen
Additional functions

- Mitglied das Fachbeirats „Technik im Dialog“ des VDI
- Mitglied im Richtlinienausschuss VDI-MT 5900 Blatt 4 „Sachverständige für Kraftfahrwesen und Straßenverkehr – Assistiertes, automatisiertes und vernetztes Fahren“
- Mitglied der Informatics Europe Arbeitsgruppe „Ethical and Social Impacts“
- Mitherausgeberin des Jahrbuch Technikphilosophie (JTPhil)
- Fachleitung des Fachs Philosophie

Aktuelle Forschungsprojekte
Current research projects

PI im SFB/TRR 318 „Constructing Explainability“
Universität Bielefeld und Universität Paderborn
Förderung: DFG
Laufzeit: bis 2026

PI im Projekt CultCryo „Cultures of the Cryosphere“
Prof. Dr. Bronwyn Parry (Australian National University, Canberra Australien), Dr. Alexander Friedrich (ZfL Berlin/TU Darmstadt), Dr. Stefan Höhne (KWI Essen/Duisburg)
Förderung: ERC Synergy Grant
Laufzeit: 2024 – 2030

PI im SAIL-Netzwerk (SustAInable Life-cycle of Intelligent Socio-Technical Systems)
Universität Bielefeld, Hochschule Bielefeld und Universität Paderborn
Förderung: –
Laufzeit: –

VDI-Projekt „Reaktionen auf den EU-AI-Act von KMU in OWL“
Förderung: intern
Laufzeit: 10.2024 – 10.2025

Wissenschaftliche Kooperationen
Scientific cooperations

- Dr. Alexander Friedrich, TU Darmstadt, Deutschland
- Dr. Stefan Höhne, Kulturwissenschaftliche Institut (KWI), Essen, Deutschland
- Prof. Dr. Bronwyn Parry, Australian National University, Canberra Australien
- Prof. Dr. Heike Buhl, Universität Paderborn, Deutschland
- Prof. Dr. Ingrid Scharlau, Universität Paderborn, Deutschland
- Prof. Dr. Tobias Matzner, Universität Paderborn, Deutschland
- Prof. Dr. Matthias Kettner, Universität Witten/Herdecke, Deutschland
- Prof. Dr. Susanne Hahn, Heinrich Heine Universität Düsseldorf
- Prof. Dr. Rainer Adolphi, Technische Universität Berlin, Deutschland

Impressum

Herausgeber
Heinz Nixdorf Institut
Prof. Dr. Eric Bodden (Vorstandsvorsitzender)

Redaktion & Koordination
Dipl.-Medienwiss. Franziska Reichelt
Anna Steinig, M.A.
E-Mail: redaktion@hni.upb.de

Kontakt
Kerstin Hille
Heinz Nixdorf Institut | Universität Paderborn
Fürstenallee 11 | 33102 Paderborn
Telefon: +49 5251 | 60 62 11

Realisierung und Herstellung
Franziska Reichelt, Anna Steinig

Berichtszeitraum
1. Januar bis 31. Dezember 2024

ISSN 1619-3679
Der Jahresbericht des Heinz Nixdorf Instituts erscheint weitestgehend auf der Grundlage der neuen amtlichen Rechtschreibung.

© Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn
Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung vorbehalten. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig.

Imprint

Publisher
Heinz Nixdorf Institute
Prof. Dr. Eric Bodden (President)

Editor & coordination
Dipl.-Medienwiss. Franziska Reichelt
Anna Steinig, M.A.
E-mail: redaktion@hni.upb.de

Contact
Kerstin Hille
Heinz Nixdorf Institute | Paderborn University
Fuerstenallee 11 | 33102 Paderborn
Phone: +49 5251 | 60 62 11

Realisation and production
Franziska Reichelt, Anna Steinig

Period of review:
1 January until 31 December 2024

ISSN 1619-3679
The Heinz Nixdorf Institute's annual report is, to the greatest extent, published in accordance to the latest official German orthography rules.

© Heinz Nixdorf Institute, Paderborn University
All rights, in particular the right for copies and circulation as well as translation are reserved. Every use is prohibited without the accordance of the publisher.

HEINZ NIXDORF INSTITUT
UNIVERSITÄT PADERBORN

Fürstenallee 11
33102 Paderborn
Telefon: +49 5251 | 60 62 11
E-Mail: hni@hni.upb.de

www.hni.uni-paderborn.de

Fuerstenallee 11
33102 Paderborn
Phone: +49 5251 | 60 62 11
E-mail: hni@hni.upb.de

www.hni.uni-paderborn.de/en