



Veranstaltungsort:

Heinz Nixdorf MuseumsForum
Fürstenallee 7, 33102 Paderborn

- **Mechatronische Produkte**
(neue Funktionalitäten, Industrie 4.0, Kosteneffizienz, Zuverlässigkeit, ...)
- **Ressourceneffizienz**
(Energie, Material, ...)
- **Automatisierte Mobilität**
(Konzepte, Modelle, Sensorik)
- **Systems Engineering und Entwicklungsmanagement**
(Prozesse, Verfahren, Software, ...)
- **Innovative Konzepte und digitale Geschäftsmodelle**
(Modelle, Regelung, Optimierung, Eco-Systeme)
- **Nutzerfreundlichkeit und Akzeptanz**
(Assistenzsysteme, Schnittstellen, Interaktion, Gesetzgebung, ...)
- **Systemvernetzung und Systemintegration**
(Konzepte, Verfahren, ...)
- **Smarte Aktoren**
(Konzepte, Beispiele, ...)
- **Serienfertigung mechatronischer Produkte**
(Fallbeispiele, Komponenten, Architektur, Qualitätsmanagement, ...)

www.VDI-Mechatroniktagung.de

Integration von Messfunktionen in bestehende technische Systeme unter Berücksichtigung der Baustruktur

Integration of Measurement Functions in Existing Technical Systems Considering the Design Structure

Gunnar Vorwerk-Handing, Sven Vogel, Prof. Dr.-Ing. Eckhard Kirchner, Technische Universität Darmstadt, Institut für Produktentwicklung und Maschinenelemente, 64287 Darmstadt, Deutschland, vorwerk-handing@pmd.tu-darmstadt.de, vogel@pmd.tu-darmstadt.de, kirchner@pmd.tu-darmstadt.de

Kurzfassung

In der gegenwärtigen Situation einer voranschreitenden Digitalisierung der Industrie muss festgestellt werden, dass ein signifikanter Anteil der momentan eingesetzten Systeme nicht vor diesem Hintergrund entwickelt wurde und entsprechende Anforderungen hinsichtlich der Bereitstellung aussagekräftiger Prozess- und Zustandsgrößen nicht zufriedenstellend erfüllt werden können. Einen vielversprechenden Ansatz um die benötigten Prozess- und Zustandsgrößen bereitzustellen, stellt die nachträgliche Integration von Messfunktionen durch den Austausch einzelner Komponenten oder eine lokale Weiterentwicklung der bestehenden Systeme dar. Dieser Beitrag zeigt, begleitet vom Beispiel eines Zahnriementriebs, einen systematischen Ansatz zur Integration von Messfunktionen in ein bestehendes System unter der Berücksichtigung und dem Erhalt des Systems auf. Ausgehend von einer Differenzierung zwischen Ziel- und Messgröße erschließt der Ansatz durch eine Systemanalyse und einen anschließenden Syntheseschritt ein entsprechendes Lösungsfeld.

Abstract

In the current situation of a progressing digitalization it has to be noticed, that a significant percentage of technical systems exist which were developed without taking the particular requirements of digitalization into account. An essential requirement of a digital system, which cannot be achieved by most of these existing systems satisfactorily, is to provide the relevant physical quantities. A promising approach to provide the required information is the integration of measurement functions by retrofitting or by locally further developing the existing system. This article therefore introduces a systematic approach for the integration of measurement functions in existing systems while taking account of the system and preserving it. Based on a differentiation between target and measured quantity, a solution space is developed through a system analysis and a subsequent synthesis step. The article is accompanied by the example of a toothed belt drive.

1 Einleitung

Im Zuge der voranschreitenden Digitalisierung in der Industrie entstehen zusätzliche Anforderungen an die eingesetzten technischen Systeme bezüglich der Integration in eine digitale Umgebung. [1, 2] Als technische Systeme werden je nach Betrachtungshorizont (Produktions-) Anlagen, einzelne Maschinen oder auch Baugruppen und Komponenten von Maschinen gesehen. Zahlreiche bestehende Systeme können die zusätzlichen Anforderungen auf dem Gebiet der Bereitstellung aussagekräftiger Prozess- und Zustandsgrößen nicht zufriedenstellend erfüllen. Beispiele hierfür können Echtzeitmessungen prozessbezogener Größen oder die Messung aktueller Systemzustände u.a. im Hinblick auf Standzeiten und Wartungsintervalle darstellen. [3] In vielen Fällen ist eine vollständige Neuentwicklung dieser Systeme u.a. aus Kostengründen oder aufgrund fehlender personeller Ressourcen nicht umsetzbar. [4]

Einen vielversprechenden Ansatz um die benötigten Prozess- und Zustandsgrößen bereitzustellen, stellt die nachträgliche Integration von Messfunktionen durch den

Austausch einzelner Komponenten oder eine lokale Modifikation des bestehenden Systems dar. Verschiedene zu berücksichtigende beziehungsweise potentiell nutzbare physikalische Prinzipien und Effekte sowie sonstige Eigenschaften des Systems eröffnen häufig insbesondere auf der Konzeptebene eine erhebliche, kaum sinnvoll handhabbare Anzahl potentieller Lösungsalternativen. [3] Aus diesem Grund besitzt die frühzeitige Fokussierung auf einen der jeweiligen Zielgröße angepassten, bearbeitbaren Lösungsraum unter Berücksichtigung des ursprünglichen Systems eine besondere Bedeutung.

Dieser Beitrag zeigt, begleitet vom Beispielsystem eines Zahnriementriebs, einen systematischen Ansatz zur Integration von Messfunktionen in bestehende Systeme auf und verknüpft diesen mit dem Ansatz, den Modellierungsaufwand durch eine konsequente Berücksichtigung der Baustruktur zu reduzieren.

2 Stand der Technik

Eine Integration von Messfunktionen in ein bestehendes technisches System stellt eine Form der Weiterentwicklung beziehungsweise Anpassung des ursprüng-

lichen Systems an sich ändernde Anforderungen dar. Da sich die grundsätzliche „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme“ [5] (VDI-Richtlinie 2221) sowie die durch Pahl/Beitz beschriebenen „Konstruktionslehre“ [6] sowohl auf Neu- als auch Weiterentwicklungen bezieht, wird sie als Grundlage und Ausgangspunkt der folgenden Inhalte herangezogen. In der genannten Literatur wird ein allgemeingültiges methodisches Vorgehen zur Lösung branchen-unabhängiger technischer Fragestellungen beschrieben. Hierbei wird vor dem Hintergrund der Weiterentwicklung technischer Systeme die Analyse und Nutzung bestehender Systeme als Ausgangspunkt für Weiterentwicklungen beschrieben, ein systematisches Erhalten der Systeme und eine konkrete Unterstützung bei der Integration von Sensorik ist hingegen nicht vorgesehen. Mit der „Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme“ [7] (VDI-Richtlinie 2206) existiert eine Ergänzung zur VDI-Richtlinie 2221, die das domänenübergreifenden Entwickeln mechatronischer Systeme auf den Gebieten des Maschinenbaus, der Elektrotechnik und der Informationstechnik methodisch unterstützt. Die Bezeichnung mechatronisches System beinhaltet in diesem Zusammenhang die funktionale und/oder räumliche Integration von Sensoren, Aktoren, Informationsverarbeitung und einem Grundsystem. Die in der Richtlinie beschriebenen Vorgehensweisen, Methoden und Werkzeuge fokussieren sich schwerpunktmäßig auf den Systementwurf unter Berücksichtigung der genannten Fachdomänen. Das makroskopische Vorgehen im Rahmen der Entwicklung mechatronischer Systeme wird durch das in Abbildung 1 dargestellte V-Modell zusammengefasst.

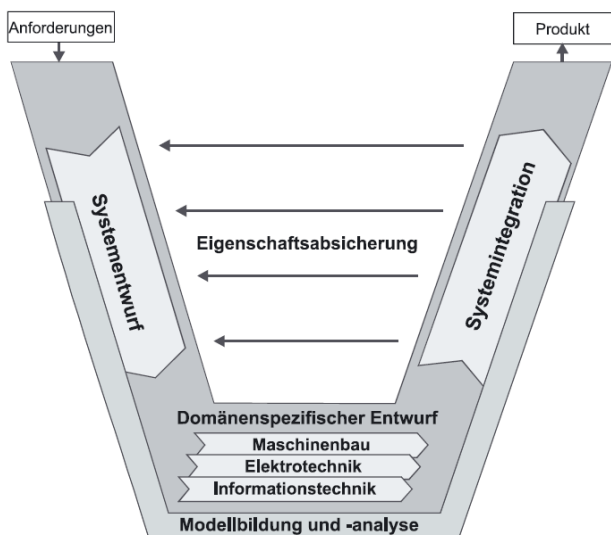


Abbildung 1 V-Modell als Makrozyklus [7]

Auf der Mikro-Ebene wird die Anwendung allgemeiner Problemlösungszyklen (Situationsübernahme oder Zielübernahme) beschrieben. Diese allgemeingültigen Vorgehensweisen schließen, vergleichbar mit den Inhalten der VDI-Richtlinie 2221, die nachträgliche Integration von Messfunktionen in bestehende technische Systeme

mit ein, eine explizite Hilfestellung hinsichtlich der Thematik wird und kann aufgrund des generischen Charakters der Richtlinie aber nicht gegeben werden. Vor dem Hintergrund des eingeführten makroskopischen Vorgehens gemäß der VDI-Richtlinie 2206 lässt sich im Umkehrschluss der in diesem Beitrag vorgestellte Ansatz im Bereich des Systementwurfs einordnen. Übergeordnetes Ziel des Systementwurfs ist neben der Vermeidung von Vorfixierungen hinsichtlich der späteren Lösung durch Abstraktion, die Suche nach Wirkprinzipien und Lösungselementen zur Erfüllung von Teilfunktionen oder allgemein dem definierten Ziel. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass die Bereitstellung von Informationen über eine definierte Prozess- und/oder Zustandsgrößen als Ziel der Weiterentwicklung des betrachteten Systems feststeht. Dementsprechend fokussiert sich das vorgestellte Vorgehen auf die Modellbildung, -analyse und -synthese eines bestehenden Ursprungssystems, in welches gemäß der gestellten Anforderungen mit möglichst geringem Aufwand nachträglich Messfunktionen integriert werden sollen.

Die bisher dargestellte Sichtweise ist maßgeblich von einer abstrakten Systembetrachtung geprägt. Daneben stellt die Betrachtung der Entwicklungsaufgabe aus messtechnischer Sicht eine weitere wesentliche Grundlage dar. Unter dem Begriff der Messtechnik wird die Lösung konkreter Messaufgaben mittels Anwendung von etablierten Messmitteln, Messverfahren und messtechnischen Tätigkeiten zusammengefasst. [8] Formal unterscheidet die Messtechnik zwischen einer Größe, deren Quantifizierung das eigentliche Ziel einer Messung darstellt und der/den tatsächlich gemessenen Größe/n, welche in einem reproduzierbaren beziehungsweise definierten Zusammenhang zu dieser Größe steht/steht. Obwohl diese Differenzierung allgemein anerkannt ist, gibt es keine einheitliche Bezeichnung der beiden Größen. Da die dargestellte Differenzierung im weiteren Verlauf essentiell ist, wird die Größe deren Quantifizierung das eigentliche Ziel der Messung darstellt im Folgenden als *Zielgröße* definiert [3], alternative Bezeichnungen sind Messgröße [9] oder Aufgabengröße [8]. Die tatsächlich gemessene physikalische Größe wird als *Messgröße* definiert [3, 8], eine alternative Bezeichnung ist spezielle Messgröße [9]. Den Zusammenhang zwischen Zielgröße und Messgröße bilden physikalische Effekte oder Prinzipien, die durch Objekte mit definierten Eigenschaften Größen wandeln oder umformen (vergleiche Abbildung 2). Sammlungen von Effekten und Prinzipien die in gängigen kommerziell verfügbaren Sensoren zum Einsatz kommen, werden in der Literatur zum Beispiel von Hoffmann [8] oder Hering und Schönfelder [10] umfangreich beschrieben. Diese Beschreibungen beziehen sich zum einen auf eine begrenzte Auswahl etablierter Zielgrößen im Kontext von konkreten Sensoren und zum anderen sehen die genannten Darstellungen keine allgemeingültige Verknüpfung von physikalischen Effekten/Prinzipien und

Objekten vor. Da der Zusammenhang zwischen einer Zielgröße und einer potentiellen Messgrößen erst durch ein Wandeln und/oder Umformen von Größen entsprechend physikalischer Effekte oder Prinzipien hergestellt wird, ist diese Verknüpfung für die Betrachtung von Systemen, zum Finden und Aufstellen von konkreten Zusammenhängen zwischen einer gesuchten Zielgröße und potentiellen Messgrößen notwendig.

Aus praktischer Sicht soll der „Leitfaden Sensorik für Industrie 4.0“ [11] des VDMA mithilfe von sieben Leitfragen und verschiedenen Werkzeugkästen den Anwender bei der Umsetzung möglichst kostengünstiger Sensoranwendungen unterstützen. Durch Abstraktion soll das Denken in technischen Lösungen unterbunden werden, um auf diese Weise unvoreingenommen und lösungsneutral den Nutzen und insbesondere potentielle Messgrößen zu diskutieren. [11] Weiterhin wird die im vorherigen Absatz beschriebene Differenzierung zwischen Ziel- und Messgröße in Form einer indirekten Erfassung der Zielgröße durch eine Korrelation anderer Größen aufgegriffen. [11] Es wird allerdings keine weitere Unterstützung hinsichtlich dem Identifizieren von Messgrößen für den Fall einer indirekten Erfassung der Zielgröße bereitgestellt.

Einen ersten Ansatz zur Identifizierung potentieller Messgrößen und einer Bewertung dieser beschreiben Matthiesen et al. am konkreten Anwendungsfall von handgehaltenen Geräten. [12] Der Ansatz basiert auf einer mathematischen Modellbildung eines konkreten Systems und der Darstellung der mathematischen Zusammenhänge in Form von Gleichungen in einem Messprinzipbaum. Differenziert wird in dieser Darstellung zwischen integrierenden, linearen und differenzierenden Zusammenhängen zwischen physikalischen Größen. Auf Basis dieser Differenzierung wird eine Priorisierung der potentiellen Messgrößen entsprechend des mathematischen Zusammenhangs zwischen Ziel- und Messgröße vorgeschlagen. [12] Diese Priorisierung ist auf dem Stand einer rein gleichungsbasierten mathematischen Betrachtungsweise allerdings kritisch zu hinterfragen, da das reale System, trotz eines erheblichen Einflusses auf den Erfolg einer Sensorintegration, in der beschriebenen Priorisierung nicht berücksichtigt wird. Diese Vernachlässigung des realen Systems haben die Autoren hinsichtlich der Gestalt erkannt, bisher aber lediglich einen Ausblick auf eine Weiterentwicklung des Vorgehens in diese Richtung beschrieben.

Zusammenfassend wird in Abbildung 2 die Differenzierung zwischen Ziel- und Messgröße abgebildet. Weiterhin wird dargestellt, dass der Zusammenhang zwischen Zielgröße und potentiellen Messgrößen erst durch ein Wandeln und/oder Umformen von Größen entsprechend physikalischer Effekte oder Prinzipien durch Objekte hergestellt wird. Die Notwendigkeit das reale System in Form von Komponenten und deren Eigenschaften einzubeziehen, wird im Stand der Technik ohne eine Beschreibung konkreter Ansatz- oder

Vorgehenshinweise erkannt. Die Folgerung, dass eine Verknüpfung von physikalischen Effekten/Prinzipien und Objekten für die Betrachtung von Systemen, zum Finden und Aufstellen von konkreten Zusammenhängen zwischen einer gesuchten Zielgröße und potentiellen Messgrößen notwendig ist, wird bisher nicht dargestellt. Weiterhin wird entsprechend keinerlei Ansatz- oder Vorgehenshinweise beschrieben, um ein bestehendes, d.h. reales System systematisch in die Erfassung potentieller Messgrößen zur Ermittlung einer Zielgröße einzubeziehen. Diese offenen Punkte werden im Verlauf des Beitrags aufgegriffen und Lösungsansätze vorgestellt.

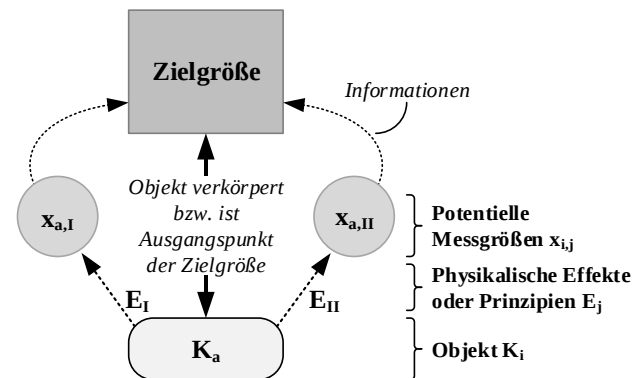


Abbildung 2 Differenzierung von Zielgröße und Messgröße

3 Systemanalyse

Den ersten der drei im Folgenden beschriebenen Schritten zur Konzeptentwicklung einer Integration von Messfunktionen in ein bestehendes System stellt die Systemanalyse dar. Sie baut darauf auf, dass das grundsätzliche Ziel der Bereitstellung von Informationen über Prozess- und/oder Zustandsgrößen in Form einer definierten Zielgröße feststeht. Ziel der Analyse ist es, eine Basis für die anschließende Konzeptentwicklung zu schaffen. Hierzu untergliedert sich die Systemanalyse in die Abgrenzung und Strukturierung des betrachteten Systems sowie die Erfassung potentieller Messgrößen.

Um die Systemanalyse zu veranschaulichen, wird als bewusst anschauliches und überschaubares Beispielsystem ein Zahnriementrieb (siehe Abbildung 3 a) betrachtet. Als Zielgröße wird in diesem Beispiel die Dehnung der Zugträger entlang des Riemens definiert, da eine unzulässig hohe Dehnung eine kritische Ausfallursache des Riemens darstellt.

3.1 Grenzen und Strukturierung des Systems

Die Abgrenzung und Strukturierung der Entwicklungsaufgabe hängt vom individuell betrachteten System und der jeweiligen Zielgröße ab. Als Ergebnis dieses Schritts müssen der Umfang und die Grenzen des betrachteten Systems feststehen und der Inhalt für die weiteren Schritte in einer zweckmäßig strukturierten Form dargestellt sein. Eine Orientierung zur Abgrenzung und Strukturierung des Systems bietet die bereits bestehende Baustuktur. Vorwerk-Handing et al. [3] beschreiben für den Fall einer

angestrebten Erfassung der Reifenauftandskraft eines Formular Student Fahrzeugs beispielsweise die Betrachtung des Kraftflusses entlang der Baustruktur. Auf diese Weise wird im dargestellten Fall sichergestellt, dass alle kraftleitenden Komponenten, welche somit potentiell geeignet beziehungsweise notwendig sind um die auftretenden Kräfte zu messen, erfasst werden. Weiterhin kann als Vorgriff auf die Erfassung potentieller Messorte und -größen die in Abbildung 4 schematisch dargestellte Differenzierung zwischen Zielgröße und Messgröße(n) als Unterstützung herangezogen werden. Das in Abbildung 3 a) dargestellte Beispielsystem stellt bereits ein abgegrenztes Subsystem eines größeren Systems dar und wird deswegen vollständig betrachtet. Die Detailtiefe der Betrachtung muss hierbei an die Randbedingungen der Entwicklungsaufgabe angepasst werden. Komponenten, die nicht beeinflusst werden können, werden weniger detailliert dargestellt als beeinflussbare Komponenten (vergleiche Abbildung 3 b).

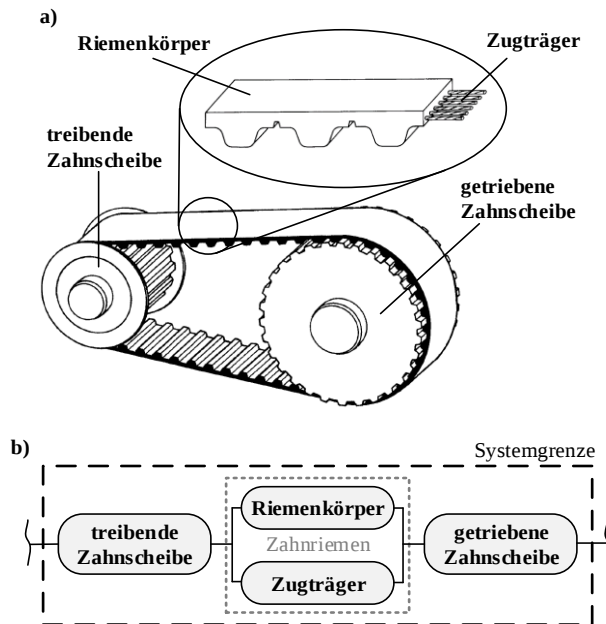


Abbildung 3 a) Zahnriementrieb und Aufbau des Zahnriemens (nach [13] und [14]) sowie b) Baustruktur des Zahnriementriebs

3.2 Erfassung potentieller Messorte und -größen

Die wesentliche Grundlage zur möglichst vollständigen Erfassung potentieller Messorte und -größen bildet die konsequente Differenzierung zwischen Ziel- und Messgröße (vergleiche Abbildung 2 und 4). Dieser Schritt entspricht einer Abstraktion und Verknüpfung der Problemstellung und des betrachteten Systems und stellt einen essentiellen Bestandteil des Vorgehens dar. Als Ergebnis dieses Schritts sind die Zusammenhänge ausgehend von der Zielgröße hin zu potentiellen Messgrößen inklusive der Interaktionen zwischen den Komponenten des betrachteten Systems erfasst und zum Beispiel wie in Abbildung 5 ausschnittsweise für die Komponente des Zugträgers, in einem Netzwerk dargestellt. Als Ausgangspunkt der Zusammenhänge wird die erfasste Struktur des Systems, wie in Abbildung 4 unten dargestellt, übernommen. Die Zusammenhänge zwischen der Zielgröße und potentiellen Messgrößen sowie zwischen den Komponenten des Systems können beabsichtigt oder unbeabsichtigt auftreten. Da sowohl die Zielgröße, als auch das jeweils betrachtete System individuell sind, lässt sich erst durch die Differenzierung von Ziel- und Messgrößen sowie der Abstraktion des Systems ein allgemeines Vorgehen darstellen. Da auf diesem Abstraktionsniveau physikalische Effekte und Prinzipien die Zusammenhänge zwischen den genannten Größen herstellen, ist es möglich auf allgemeingültig beschriebenes Wissen auf dem Gebiet des Wandels und Umformens physikalischer Größen zurück zu greifen, zum Beispiel in Form von Konstruktionskatalogen. Diese ordnen physikalische Eingangsgrößen unter Verweis auf den physikalischen Zusammenhang in Form eines Effekts oder Prinzips physikalischen Ausgangsgrößen zu. [15] Dieser Schritt kann auf Basis der gefundenen Zusammenhänge mehrfach iteriert werden, um auf diese Weise eine Verknüpfung verschiedener Wandlungen und/oder Umformungen, auch unter Einbezug der Interaktion zwischen Komponenten zu erfassen. Am konkreten Beispiel der Zugträger eines Zahnriemens wird das Vorgehen exemplarisch in Abbildung 5 dargestellt. Die Zielgröße der Dehnung wird über die Komponente

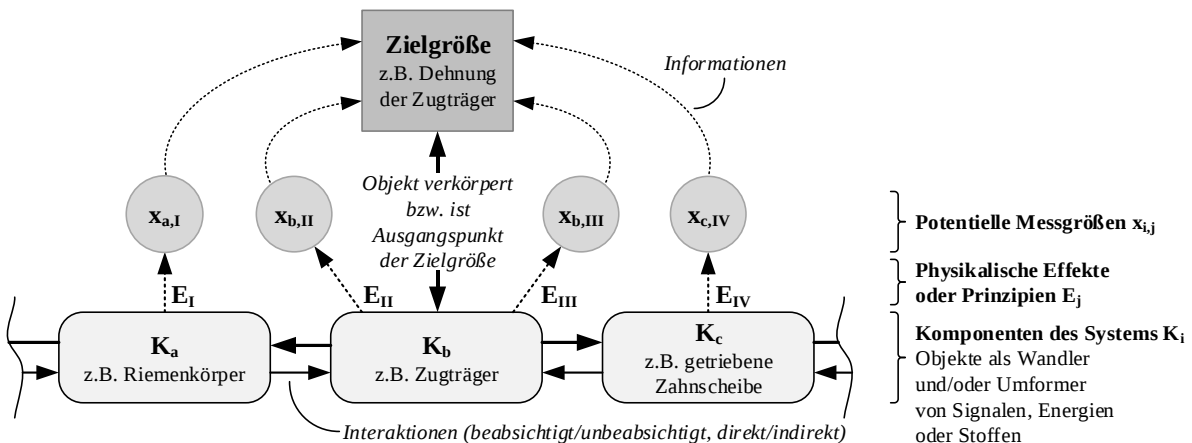


Abbildung 4 Differenzierung zwischen Zielgröße und Messgröße inklusive Beispiel

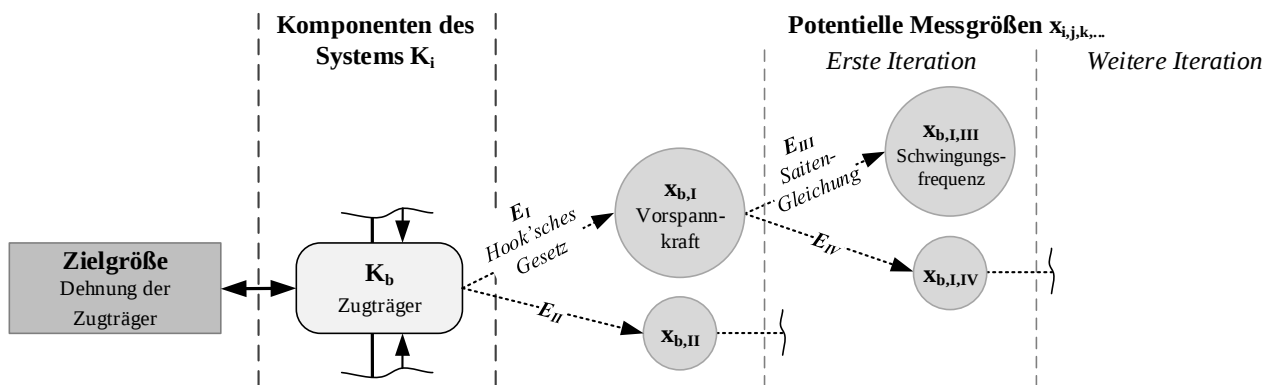


Abbildung 5 Netzwerk aus Komponenten und potentiellen Messgrößen

Zugträger und dem Hook'schen Gesetz in die potentielle Messgröße der Vorspannkraft gewandelt. In einer ersten Iteration wird die Vorspannkraft über die Komponente des Zugträgers und der Saitengleichung in die Messgröße der Schwingungsfrequenz gewandelt. Die Schwingungsfrequenz kann in diesem Fall beispielsweise durch ein handelsübliches optisches Frequenzmessgerät erfasst werden.

Neben der Analyse der Abhängigkeit zwischen physikalischen Größen, können die Informationen über die konkreten physikalischen Zusammenhänge in der weiteren Entwicklung unmittelbar als Ausgangspunkt für die Bildung der notwendigen mathematischen Modellierung der Zusammenhänge zwischen Ziel- und Messgröße(n) genutzt werden.

4 Systemsynthese

Aufbauend auf der strukturierten Darstellung des betrachteten Systems und der Erfassung potentieller Messgrößen als Ergebnis der Systemanalyse, befasst sich die Systemsynthese mit dem methodischen und effizienten Erarbeiten von Konzepten zur Erfassung der Zielgröße und einer parallelen Beurteilung dieser. Um dies zu erreichen werden zwei wesentliche Schritte parallel durchgeführt: Systematische Variation wesentlicher Unterscheidungsmerkmale und Beurteilung der jeweiligen Ergebnisse. Die erfassten potentiellen Messorte und -größen stellen die Grundlage für die Erarbeitung der Konzepte zur Erfassung der Zielgröße dar, auf dem dargestellten Abstraktionsniveau ist aber noch unklar welche Komponente des Systems und welche Messgröße am besten zur Erfassung der Zielgröße geeignet sind. Weiterhin ist es denkbar zusätzliche Komponenten ausschließlich zur Realisierung der Messfunktion in das System zu integrieren. Solche potentiell zusätzlichen Komponenten können in der reinen Analyse des bestehenden Systems nicht erfasst werden. Aus diesem Grund bilden die potentiellen Messorte in Form der Komponenten des Systems, inklusive potentiell hinzufügbaren Komponenten das erste Variationskriterium. Da durch das systematische Vorgehen eine Vielzahl an potentiellen Messgrößen erfasst werden, bilden diese das zweite Variationskriterium. Um den Aufwand im Rahmen der Variation bei einem gleichzeitig möglichst breiten Lösungsfeld möglichst gering zu halten, wird

parallel beziehungsweise unmittelbar vor der Variation von Komponenten und potentiellen Messgrößen, die Ähnlichkeit der Variationskriterien zu bereits betrachteten Komponenten erfasst und gegebenenfalls Cluster ähnlicher Komponenten gebildet. Überschneiden sich die wesentlichen Variationskriterien von mehreren Komponenten eines Systems ist es ausreichend die entsprechende Variation pro Cluster nur einmal durchzuführen und die erzielten Ergebnisse anschließend auf alle im Cluster enthaltenen Komponenten zu übertragen. Ein Beispiel stellen wiederkehrenden Komponenten dar, welche immer dieselbe Funktion erfüllen. Diese Komponenten können insbesondere durch das Einbeziehen der Baustruktur eines Systems effizient identifiziert werden. Ein Beispiel für wiederkehrende und standardisierte Komponenten in technischen Systemen sind Maschinenelemente. Vor diesem Hintergrund ist es ein vielversprechender Ansatz Messfunktionen direkt in Maschinenelemente zu integrieren, zum Beispiel in Form eines sensorintegrierenden Zahnriemens. [16] Auf diese Weise könnten Mechatronische Maschinenelemente (MME) entwickelt werden, welche die effiziente Integration von Messfunktionen in bestehende Systeme durch den Austausch standardisierter Komponenten ermöglichen. Der bisher beschriebene systematische Variationsschritt führt in vielen Fällen zu einem großen Lösungsfeld. Um dieses auf einem handhabbaren Niveau zu halten, wird neben dem divergierenden Vorgehen der Variation parallel eine direkte Beurteilung des jeweiligen Ergebnisses vorgenommen. Durch den Abgleich mit den Anforderungen an die Integration von Messfunktionen kann ein Konvergieren des Lösungsfeldes erreicht werden.

5 Optionale Systemmodifikation

Das bisherige Vorgehen geht davon aus, das ursprüngliche System zu erhalten und lediglich einzelne Komponenten gezielt auszutauschen oder weiterzuentwickeln. Im Rahmen der Anwendung dieses Vorgehens kann es vorkommen, dass sich alle aussichtsreichen Konzepte auf eine einzige Komponente des Systems beschränken. Ein Grund hierfür kann in den Randbedingungen des bestehenden Systems liegen. [3] Da der Erhalt des bestehenden Systems kein Selbstzweck ist und eine potentielle Neu- oder Weiterentwicklung von abgegrenzten

Bereichen des Systems signifikante Vorteile bieten könnte, ist es von Interesse auch Informationen über mögliche Lösungen ohne die Randbedingung der strikten Erhaltung des Ausgangssystems zu erfassen. Die wesentliche Herausforderung liegt in einem zweckmäßigen Umfang einer entsprechenden Betrachtung: Zum einen, um einen Überblick über alternative Lösungen zu erhalten und zum anderen, um eine umfangreiche Neuentwicklung des Systems zu vermeiden. Sobald die Randbedingungen des bestehenden Systems die Integration von Messfunktionen nicht nur einschränken, sondern ausschließen, ist es nicht nur sinnvoll sondern notwendig den Betrachtungshorizont gezielt zu erweitern. Hierzu werden im Folgenden drei optionale Schritte vorgestellt, welche lokale Modifikationen des Systems ermöglichen, eine vollständige Neuentwicklung hingegen verhindern. Im ersten Schritt werden die einschränkenden Randbedingungen erfasst. Von den erfassten Einschränkungen ausgehend werden im zweiten Schritt Anforderungen an das System beziehungsweise die betroffenen Komponenten abgeleitet, welche die Einschränkungen aufheben. Die auf diese Weise ermittelten Anforderungen werden mit den initialen Anforderungen an das System beziehungsweise die betroffene Komponente verglichen. Treten Widersprüche auf, wird eine Modifikation an dieser Stelle ausgeschlossen. Andernfalls bilden die initialen sowie die neu abgeleiteten Anforderungen die Grundlage für eine gezielte Weiterentwicklung hinsichtlich der Integration einer Messfunktion in einem dritten Schritt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Ausgehend von allgemeiner Entwicklungsmethodik fasst dieser Beitrag bestehende Ansätze zur Sensorintegration in Systeme zusammen. Es wird festgestellt, dass eine Verknüpfung von physikalischen Effekten/Prinzipien und Objekten für die Betrachtung von Systemen, zum Finden und Aufstellen von konkreten Zusammenhängen zwischen einer gesuchten Zielgröße und potentiellen Messgrößen notwendig ist, bisher aber nicht dargestellt wird. Weiterhin werden bisher keine Ansätze oder Vorgehenshinweise beschrieben, um ein bestehendes System systematisch in die Erfassung potentieller Messgrößen zur Ermittlung einer Zielgröße einzubeziehen. Vor diesem Hintergrund stellt dieser Beitrag einen Ansatz vor, der die Integration von Messfunktionen in bestehende technische Systeme unter Berücksichtigung der Baustruktur methodisch unterstützt. Hierzu liegt der Fokus auf der Betrachtung an welcher Stelle welche physikalische Größe gemessen werden kann, um die angestrebte Information über eine definierte Zielgröße zu erhalten. Unterstützt wird das Vorgehen durch einen Rückgriff auf bestehende Wissenssammlungen zum Beispiel in Form von Konstruktionskatalogen. Die Baustruktur des betrachteten Systems wird sowohl während der Analyse, als auch während der Synthese einbezogen und reduziert auf diese Weise den zu betreibenden Modellierungsaufwand in beiden Phasen.

Neben der Verifikation des dargestellten Ansatzes unter

variierenden Zielgrößen und Randbedingungen, soll der Zusammenhang zwischen Messgröße und Zielgröße insbesondere unter Einbezug von Störgrößen weiter untersucht werden. Darüber hinaus weist die Entscheidungsfindung unterstützt durch Bewertungen sowie der Einbezug weiterer Randbedingungen weiteres Forschungspotential auf.

7 Literatur

- [1] Abramovici, M. und Herzog, O., *Engineering im Umfeld von Industrie 4.0: Einschätzungen und Handlungsbedarf*. 2016: Utz Verlag GmbH.
- [2] BMWi, *Forschungsagenda Industrie 4.0 – Aktualisierung des Forschungsbedarfs*. 2016, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Berlin.
- [3] Vorwerk-Handing, G., et al. *Integration of Measurement Functions in Existing Systems – Retrofitting as Basis for Digitalization*. in *NordDesign*. 2018. Linköping, Sweden.
- [4] Harting, K., *Neue Lösungen für gewachsene Produktionsanlagen – Mit Struktur in den Retrofit*, in *K | E | M Konstruktion*. 2017, Kohlhammer, Katja: Leinfelden-Echterdingen. p. 16-17.
- [5] VDI 2221, *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. 1993, Beuth: Berlin.
- [6] Pahl, G. und Beitz, W., *Konstruktionslehre : Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung*. 7. Aufl. ed. Springer-Lehrbuch. 2007, Berlin u.a.
- [7] VDI 2206, *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*. 2004, Berlin: Berlin.
- [8] Hoffmann, J., *Taschenbuch der Messtechnik*. 2015: Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG.
- [9] DIN1319-1, *Grundlagen der Messtechnik*, in *Grundbegriffe*. 1995, Beuth Verlag GmbH: Berlin.
- [10] Hering, E. und Schönfelder, G., *Sensoren in Wissenschaft und Technik: Funktionsweise und Einsatzgebiete*. 2018: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- [11] Fleischer, J., et al., *Leitfaden Sensorik für Industrie 4.0*. 2018.
- [12] Matthiesen, S., et al. *Ansatz zur modellunterstützten Vorauslegung von Messsystemen für die Erfassung von mechanisch-dynamischen Größen von Power-Tools*, in *DfX-Symposium*. 2016.
- [13] Perneder, R., *Handbuch Zahnriementchnik: Grundlagen, Berechnung, Anwendungen*. 2009: Springer.
- [14] Wittel, H., et al., *Roloff/Matek Maschinenelemente: Normung, Berechnung, Gestaltung*. 2015: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- [15] Koller, R., *Konstruktionslehre für den Maschinenbau : Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte mit Beispielen*. 4., neubearb. und erw. Aufl. ed. 1998, Berlin u.a.
- [16] Martin, G., et al., *MME – Potentiale durch mechatronische Maschinenelemente*. *Konstruktion*, 2018. 70(01-02): p. 71-75.