



# **19. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik**

## **Nachhaltige Produktentwicklung**

Burkhard Corves, Kilian Gericke, Karl-Heinrich Grote, Armin Lohrengel, Manuel Löwer, Arun Nagarajah, Frank Rieg, Gerhard Scharr, Ralph Stelzer



# KT-KOLLOQUIUM

# KT 2021

**19. Gemeinsames Kolloquium**

**Konstruktionstechnik**

29. und 30 September 2021 in Duisburg

## **Nachhaltige Produktentwicklung**

- **Modellbasierte Systementwicklung (MBSE)**
- **Virtual Reality und Augmented Reality**
- **Produktdatenmanagement**
- **Simulationen in der virtuellen Produktentwicklung (FEM, Topologieoptimierung etc.)**
- **KI-Methoden in der Produktentwicklung**
- **Agile Vorgehensweisen in der physischen Produktentwicklung**
- **Ressourceneffiziente Produkte (Eco Design)**
- **Produktsicherheit**

## Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Herausgeber:



**Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinrich Grote**



**Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Burkhard Corves**



**Prof. Dr.-Ing. Armin Lohrengel**



**Prof. Dr.-Ing. habil. Ralph H. Stelzer**



**Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg**



**Prof. Dr.-Ing. Arun Nagarajah**



**Prof. Dr.-Ing. Kilian Gericke**  
**Prof. Dr.-Ing. Gerhard Scharr**



**Prof. Dr.-Ing. Manuel Löwer**

## Inhalt

<b>Optimierung von Metamodell Hyperparametern für die Anpassung an ingenieurtechnische Probleme</b>	1
Tobias Rosnitschek*, Bianca Veigl*, Bettina Alber-Laukant*, Maximilian Erber°, Frank Rieg*, Stephan Tremmel* und Wolfram Volk° * Universität Bayreuth/ ° Technische Universität München	
<b>Verknüpfung von Tools zur analytischen Berechnung von Maschinensystemen in einer Digital Engineering Toolbox</b>	10
Tobias Siegel, Claudia Kleinschrodt, Stephan Tremmel Universität Bayreuth	
<b>Sensordatengewinnung mit simulationsgestützten virtuellen Sensoren auf Basis der Finite-Elemente-Analyse</b>	12
Andreas Kormann, Claudia Kleinschrodt, Stephan Tremmel Universität Bayreuth	
<b>Semantische Beschreibung von Normeninhalten am Beispiel eines Formelbausteins</b>	14
Dominik Ehring*, Janosch Luttmer, Arun Nagarajah Universität Duisburg-Essen	
<b>Vorgehen zur Erstellung eines Baukastens für die Konzeptentwicklung von Exoskeletten</b>	16
Tobias Drees, Steffen Kunnen, Arun Nagarajah Universität Duisburg-Essen	
<b>Automatisierte Identifikation von Formeln und deren Bestandteilen in Normendokumenten</b>	18
Janosch Luttmer*, Dominik Ehring, Arun Nagarajah Universität Duisburg-Essen	
<b>Modulares Konzept einer faltbaren Maschineneinhausung</b>	20
Judith Ursula Merz* <sup>11</sup> , Kevin Moreno Gata <sup>33</sup> , Malte Kaiser <sup>11</sup> , Stefan Stürmer <sup>22</sup> , Franziska Wieja <sup>22</sup> , Juan Musto <sup>33</sup> , Alex Seiter <sup>33</sup> , Martin Trautz <sup>33</sup> , Georg Jacobs <sup>22</sup> , Mathias Hüsing <sup>11</sup> , Burkhard Corves <sup>11</sup> RWTH Aachen: <sup>11</sup> Institut für Getriebetechnik, Maschinendynamik und Robotik/ <sup>22</sup> Lehrstuhl und Institut für Maschinenelemente und Systementwicklung/ <sup>33</sup> Lehrstuhl für Tragkonstruktionen	
<b>Ganzheitliche Getriebeauslegung mit der Software Mechanism Developer (MechDev)</b>	22
Mathias Hüsing*, Vincent Bruenjes, Mario Müller, Agnes Beckermann, Burkhard Corves RWTH Aachen University	

<b>Gegenüberstellung von Stage-Gate, agilen und hybriden Managementansätzen in der Produktentwicklung</b>	24
Lisa Rößler*, Kilian Gericke Universität Rostock	
<b>Steigerung kundenspezifischer Produktrelevanz durch die Integration von Gamification Methoden in Produktentwicklungsprozesse</b>	27
David Kessing, Manuel Löwer Bergische Universität Wuppertal	
<b>Entwicklung einer methodischen Unterstützung zur Systemmodellierung mit variierenden Systemanforderungen</b>	29
Merlin Krüger, Kilian Gericke Universität Rostock	
<b>Methodische Unterstützung von Entwicklern bei der Ausnutzung der Potentiale additiver Fertigung</b>	32
Pascal Schmitt, Kilian Gericke Universität Rostock	

# Optimierung von Metamodell Hyperparametern für die Anpassung an ingenieurtechnische Probleme

Tobias Rosnitschek\*, Bianca Veigl\*, Bettina Alber-Laukant\*, Maximilian Erber°, Frank Rieg\*,  
Stephan Tremmel\* und Wolfram Volk°

\*Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD, Universität Bayreuth  
Universitätsstr. 30, 95447 Bayreuth

°Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen, Technische Universität München  
Walther-Meißner-Straße 4, 85748 Garching

E-Mail: tobias.rosnitschek@uni-bayreuth.de; Internet: <https://www.konstruktionslehre.uni-bayreuth.de>

**Inhalt:** Metamodelle können in den Ingenieurwissenschaften zur effizienten Vorhersage des Verhaltens komplexer Systeme verwendet werden. Ein wesentlicher Bestandteil beim Aufbau von Metamodellen ist dabei die passende Wahl ihrer Hyperparameter. Im vorliegenden Beitrag wird sich mit der Frage beschäftigt, wie diese möglichst effizient ermittelt werden können. Dazu wurden die Methoden Grid-Search (GS), Bayesian Grid-Search (BGS) sowie Sequential Model-Based Optimization (SMBO) zur Optimierung der Hyperparameter einer Support-Vektor-Maschine genutzt und an drei Beispielproblemen getestet. Die Ergebnisse wurden im Hinblick auf den kleinsten maximalen Fehler im Modell ausgewertet und die Methoden BGS und SMBO unter dem Aspekt der Rechenzeiteinsparung verglichen. Die Ergebnisse zeigten, dass mit SMBO bei äquivalenter Ergebnisqualität die Rechenzeit zur Hyperparameter-Optimierung deutlich reduziert werden kann und diese Methode daher vielversprechend für den Einsatz in ingenieurtechnischen Problemstellungen ist.

**Stichwörter:** Digitale Produktentwicklung, High Performance Computing, Hyperparameter, maschinelles Lernen, Metamodellierung.

## 1 Einleitung und Motivation

Die Optimierung auf Basis von Metamodellen ist ein beliebtes Anwendungsfeld in den Ingenieurwissenschaften zur Vorhersage des Verhaltens komplexer Strukturen oder Systeme. Dem liegt die Motivation zugrunde, dass mithilfe geeigneter Metamodelle das Verhalten komplexer Systeme relativ effizient vorhergesagt werden kann. So wenden Krimpenis et al. [1] ein Metamodell auf Basis eines Neuronalen Netzes an, um die Prozessparameter bei Gießprozessen zu optimieren. Neuronale Netze werden ebenso bei Peng et al. [2] zur Optimierung der Prozessparameter in der extrusionsbasierten Additiven Fertigung eingesetzt. Jung et al. verwenden in [3] die Kriging-Interpolation zur Metamodellierung, um die Parameter von Fließkurven in Warmwalzprozessen zu bestimmen. Dabei wird in allen Fällen mithilfe des Metamodells ein aufwändiges Experiment beziehungsweise eine aufwändige Simulation vermieden.

Um ein Metamodell an ein neues Problem anzupassen, werden dessen Hyperparameter optimiert. Unter Hyperparameter sind Parameter zu verstehen, die das Verhalten beziehungsweise die Eigenschaften des Modells steuern und vor Beginn des Modelltrainings festgelegt werden, als Beispiel sei hier die Anzahl der Neuronen in Neuronalen Netzen genannt. Sind die Hyperparameter schlecht gewählt, führt dies in vielen Fällen entweder zu sehr langen Trainingszeiten oder zu schlechten Ergebnissen respektive zur Divergenz des Modells [4]. Die Wahl geeigneter Hyperparameter ist demnach essentiell für den Aufbau eines Metamodells und zur Anpassung an ein vorliegendes Problem.

## 2 Methoden und Vorgehensweise

Dieser Beitrag untersucht den Einfluss verschiedener Strategien zur Optimierung von Hyperparameter am Beispiel dreier Regressionsprobleme in verschiedenen Größenordnungen. Dazu wird exemplarisch die Modellklasse der Support-Vektor-Maschinen (SVM) betrachtet. Als Methoden der Hyperparameter-Optimierung werden Exhaustive Grid Search (GS), Bayesian Grid Search (BGS)

und Sequential Model-Based Optimization (SMBO) eingesetzt. Bei allen Modellen werden die Python Bibliotheken scikit-learn in der Version 0.24.2 [5] und scikit-optimize in der Version 0.8.1 [6] verwendet.

## 2.1 Support-Vektor-Maschinen

Allgemein sind SVM eine Methode der Klasse des überwachten Lernens, die für Klassifizierung, Regression und zur Erkennung von Ausreißern eingesetzt werden. Im konkreten Fall werden die SVM zur Lösung von Regressionsproblemen verwendet und nachfolgend mit SVR (Support-Vektor-Regression) abgekürzt. Die Grundidee hinter jeder SVM ist, dass eine bekannte Menge von Trainingsobjekten durch einen Vektor in einem Vektorraum repräsentiert wird. In diesen Trainingsraum werden dann Hyperebenen eingebracht, die die Datenpunkte separieren. Dabei ist meistens nur die Teilmenge der Trainingsdaten relevant, die auf den Grenzen zweier Ebenen liegen. Diese Vektoren sind die namensgebenden Support-Vektoren [7]. Zur Berücksichtigung nichtlinearer Grenzen sind Kernel-Funktionen ein wesentlicher Bestandteil der SVM [8]. Mithilfe des Kernel-Tricks wird der Vektorraum in einen beliebig höherdimensionalen Raum überführt, sodass beliebig verschachtelte Vektormengen linear trennbar sind [8]. Im Allgemeinen ist bei SVM bereits eine geringe Anzahl an Trainingsdaten ausreichend für gute Ergebnisse und ihre Gesamtperformance kann oft mit Neuronalen Netzen verglichen werden, weshalb sie eine gut geeignete Methode für eine Vielzahl an Metamodellierungsproblemen darstellen [9].

Im Rahmen dieses Artikels werden die in [5] implementierten Kernel „Linear“ (Lin), „Radial Basis Function“ (RBF), „Polynomial“ (Poly) und „Sigmoid“ (sigmoid) verwendet. Die übrigen ausgewählten Hyperparameter sind der Kernel Koeffizient  $\gamma$ , der Regulierungsparameter  $C$  und die Tunnelbreite  $\varepsilon$ . Letztere beschreibt den Abstand von den tatsächlichen Werten, innerhalb dessen kein Strafterm auf die Werte bezogen wird. In Tabelle 1 ist eine Übersicht der verwendeten Hyperparameter mit ihren Grenzen dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht über die verwendeten Hyperparameter und deren Wertemengen. Der Parameter  $\gamma$  hat keine Auswirkung auf den Lin-Kernel und wird daher nur bei den übrigen drei Kernen betrachtet.

Hyperparameter	Werte
Kernel	Lin, RBF, Poly, sigmoid
$\gamma$	$[0.001/n_{\text{Trainingsdaten}}, 100/n_{\text{Trainingsdaten}}]$
$C$	$[1, 1000]$
$\varepsilon$	$[0.001 - 1000]$

## 2.2 Kreuzvalidierung

Die Kreuzvalidierung (cross-validation) ist eine statistische Methode zur Auswertung von Modellen im maschinellen Lernen. Anstatt einen Datensatz nur in Trainings- und Testdaten zu unterteilen, wird dieser wiederholt aufgeteilt und mehrere Modelle werden trainiert [7]. In diesem Artikel wird die *k-fold cross-validation* verwendet. Dabei wird der Datensatz in  $k$  ungefähr gleich große Teile (folds) aufgeteilt. Anschließend wird eine Reihe an Modellen trainiert, bei denen je ein Teil (*fold*) als Testdaten und die übrigen als Trainingsdaten verwendet werden. Die Auswertung des Modells erfolgt anhand der Testdaten. Als Auswertungsmetrik werden in diesem Artikel die folgenden vier verschiedene Metriken betrachtet:

- Mittlerer quadratischer Fehler (mean squared error, MSE)
- Maximaler Fehler (maximum error, ME)
- Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ )
- Erklärte Varianz (expected variance, EV)

Für eine detaillierte Beschreibung dieser Metriken sei auf [7] verwiesen.

## 2.3 Methoden zur Optimierung der Hyperparameter

Die in diesem Beitrag eingesetzten Methoden zur Optimierung der Hyperparameter werden im Folgenden kurz erläutert. Die Optimierung basiert dabei auf einer Minimierung beziehungsweise Maximierung der Zielfunktion. Konkret wird in jeder untersuchten Parameterkonfiguration für den gewählten Parametersatz eine Kreuzvalidierung durchgeführt, die Konfiguration mit dem besten Ergebnis in der Kreuzvalidierung stellt das Modell mit den optimierten Hyperparametern dar.

### Grid Search

Neben der manuellen Suche für die beste Parameterkombination ist die Grid Search (GS) die gebräuchlichste Methode zur Hyperparameteroptimierung [10]. Hierbei werden alle Kombinationen von Parameterwerten über gegebene Teilmengen ausgewertet und die beste Zusammenstellung wird verwendet [5, 11, 12]. Diese Methode ist einfach zu implementieren und parallelisierbar, wenn unabhängige Hyperparameter vorhanden sind [11]. Durch das exponentielle Wachstum an Kombinationen ist diese Brute-Force Methode langsam und nachteilig bei großen Suchräumen [11, 12].

### Bayesian Grid Search

Bei der Bayesian Grid Search Methode handelt es sich um die Optimierung einer Blackbox Funktion (Zielfunktion). Bei diesem Vorgehen wird das Modell aktualisiert, sofern neue Werte vorliegen [13]. Grundlage dieser Methode ist die Verwendung des Bayes-Theorems und der Maximierung des zu erwartenden Nutzens [14, 15]. Es wird davon ausgegangen, dass bereits Wissen über eine unbekannte Funktion vorhanden ist. Diese Vorkenntnisse werden bei der Suche nach neuen Datenpunkten zur Optimierung der Exploration und Ausnutzung des Suchraums genutzt und stammen aus einer GS [16]. Die BGS erfordert zwei Bestandteile: eine Prioritätsverteilung mit Annahmen über die zu optimierende Funktion und eine Erfassungsfunktion, welche maximiert wird, um den nächsten Datenpunkt zu lokalisieren. Das Vorgehen der BGS-Methode lässt sich wie folgt beschreiben: ein probabilistisches Modell wird erzeugt und anhand dessen werden die nächsten Punkte für die Aktualisierung dieses Modells ermittelt [16, 17].

### Sequential-Model-based Optimization

Die Sequential-Model-based Optimization (SMBO) verwendet, wie die BGS, ebenfalls den Bayes Ansatz [14]. Ausgangssituation ist ein Ersatzmodell mit einem initialen Design, das heißt eine bestimmte Parametereinstellung. Diese kann beispielsweise auf einem Latin-Hypercube oder anderen Sampling Methoden basieren [18]. Aufbauend darauf erfolgen Iterationen über drei Schritte:

- Als erstes wird auf Basis der gesammelten Daten ein probabilistisches Modell erstellt.
- Im zweiten Schritt wird dieses Modell verwendet, um einen neuen Punkt zur Verbesserung des Modells zu finden.
- An diesem Datenpunkt findet dann eine Auswertung statt. Das Ersatzmodell wird iterativ mit den bis dahin vorhandenen Punkten aktualisiert. Dieses Vorgehen stellt eine Erweiterung der BGS dar, jedoch ohne die Verwendung der GS Methode. [18, 19]

Die zu untersuchenden Parametereinstellungen werden bei der SMBO anhand verschiedener Kriterien gewählt. Zur Hyperparameteroptimierung bei der SMBO werden sogenannte Infill-Kriterien verwendet, beispielsweise die erwartete Verbesserung (Expected Improvement, EI), die Wahrscheinlichkeit einer Verbesserung (Probability of Improvement, PI) oder der mittlere quadratische Fehler (Mean Squared Error, MSE). Diese handhaben den Zielkonflikt zwischen Exploitation und Exploration – d.h. die Erforschung von Bereichen mit wenig ausgewerteten Stellen und der Ausnutzung bekannter Bereiche zur Lokalisierung des globalen Optimums. [10, 19]

In diesem Beitrag, wird in allen SMBO Modellen das EI Kriterium verwendet, dieses bezieht sich auf den erwarteten Wert der optimierten Zielfunktion. Die nächste Stelle, an welcher eine Auswertung erfolgt, ist das Maximum der EI-Funktion [17, 20].

Bei der Hyperparameteroptimierung mittels SMBO liegt der Vorteil, wie auch bei der BGS, in der Minimierung von Auswertungen der Zielfunktion [10].

## 2.4 Beispielprobleme

Metamodelle sind im Allgemeinen sehr vielseitig einsetzbar, daher werden im Folgenden eine Simulation, ein Experiment und ein analytisches Beispielproblem gewählt, die mithilfe eines Metamodells abgebildet werden. Dabei wird ebenso die Anzahl der zur Verfügung stehenden Datensätze variiert, diese beträgt bei der Simulation 16 Einträge, im Experiment 10 000 Einträge und im analytischen Beispielproblem 100 000 Einträge.

### Simulation: Prozessoptimierung bei Gießprozessen

In [1] werden die Prozessparameter für Gussprozesse mithilfe von Neuronalen Netzen optimiert. Dafür wird ein Datensatz mit vier Eingangs- und zwei Ausgangsgrößen bestehend aus 16 Gussimulationen verwendet, der in ein Trainingsset mit 12 Datenreihen und ein Testset mit 4 Datenreihen aufgeteilt wird. Eine Übersicht über die Ein- und Ausgangsgrößen gibt Tabelle 2.

Tabelle 2: Übersicht der Ein- und Ausgangsgrößen aus [1].

Eingangsgröße	Ausgangsgröße
Schmelzetemperatur	Perfekte Formfüllung
Werkzeugtemperatur	Erstarrungszeit
Dauer der ersten Phase	
Kolbengeschwindigkeit	

Für die Untersuchungen in diesem Beitrag wurden Daten und ihre Aufteilung in Trainings- und Testset exakt übernommen. Diese Problemstellung wird im weiteren P1 genannt.

### Experiment: Versuchsdaten Bauteilprüfung

Diese Daten stammen aus einer Versuchsreihe zu einem topologieoptimierten Fahrwerksumlenkers, der in [21, 22] vorgestellt wird. Der Fahrwerksumlenker wurde auf verschiedene Arten optimiert, additiv gefertigt und anschließend im uniaxialen Zugversuch getestet. Dabei wurden je Konfiguration 10 Bauteile getestet. Das mittlere Verhalten der einzelnen Konfigurationen wurde abschließend mit Metamodellen auf Basis eines Gauß-Stochastischen Prozesses abgebildet, mit der Verschiebung als Eingangsgröße und Kraft als Ausgangsgröße.

Im Versuch wurden je Bauteil circa 1 000 Zeitschritte gemessen, wodurch der vollständige Datensatz je Konfiguration etwa 10 000 Einträge beinhaltet. Für diesen Beitrag werden für das nachfolgend mit P2 abgekürzte Beispiel exemplarisch die Daten der in Abbildung 1 dargestellten Konfiguration ausgewählt.

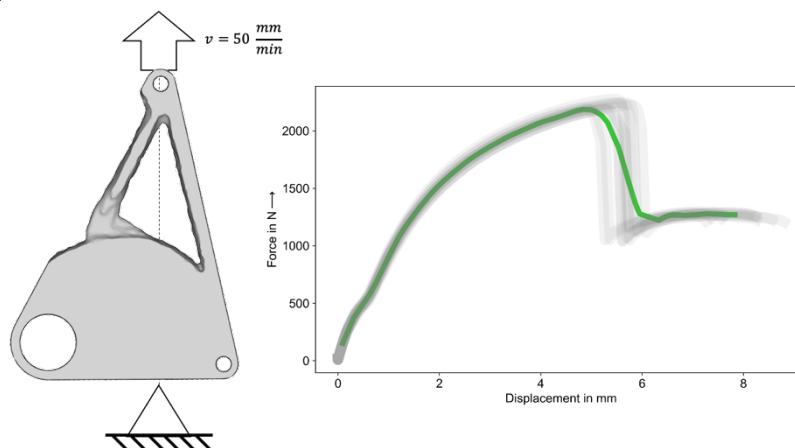


Abbildung 1: Darstellung des Versuchsaufbaus und der Messergebnisse des Fahrwerksumlenkers aus [21].

### Analytisches Problem: Testfunktion Funktion nach Strömberg

Die Funktion  $f$  in Gleichung 1 wurde von Strömberg zur Auswertung von Algorithmen für zuverlässigkeitsbasierte Design-Optimierung [23, 24] entwickelt.

$$f(x_1, x_2) = \sqrt{1000 \left(\frac{4}{x_1} - 2\right)^4 + 1000 \left(\frac{4}{x_2} - 2\right)^4} ; x_1, x_2 \in [1; 4] \quad (1)$$

Für die Untersuchungen in diesem Beitrag wurde ein Datensatz mit 100 000 zufällig erzeugten Einträgen generiert, dieser wird mit P3 abgekürzt.

### 3 Versuchsdurchführung

Für drei untersuchten Methoden GS, BGS und SMBO wurde ein SVR-Modell mit dem zugehörigen Hyperparameterraum aus Tabelle 1 verwendet. In der Kreuzvalidierung wird jede der vier unter 2.2 genannten Metriken verwendet. Entsprechend entstehen die hier untersuchten Modelle aus den folgenden Komponenten: Metamodell, Optimierungsmethode, Kreuzvalidierung und Datensatz des Beispielproblems. Somit ergeben sich für drei Optimierungsmethoden, vier Evaluationsmetriken in der Kreuzvalidierung und drei Beispielprobleme insgesamt 36 Modelle. Eine Übersicht über diese Modelle gibt Tabelle 3. Für die GS Variante ergibt sich die Anzahl der möglichen Varianten direkt aus den möglichen Kombinationen der Hyperparameter, für BGS und SMBO wurden jeweils 100 Iterationen gewählt. Mit Ausnahme von P1 wurden jeweils 20 % des Datensatzes für die Auswertung der optimierten Hyperparameter verwendet.

Tabelle 3: Übersicht der verwendeten Modelle. Die Nomenklatur ist dabei wie folgt aufgebaut: Modellnummer, Metamodell, Hyperparameter Optimierungsmethode, Kreuzvalidierungsmetrik und Beispielproblem.

Bsp.: Modell 03 bedeutet im SVR-Metamodell werden die Hyperparameter mit GS optimiert und in der Kreuzvalidierung EV ausgewertet, der zugehörige Datensatz ist P1.

Modellnummer	Metamodell	Optimierungsmethode	Metrik	Beispielproblem
01-12	SVR	GS	MSE	P1
			ME	P2
			EV	P3
			R2	
13-24	SVR	BGS	MSE	P1
			ME	P2
			EV	P3
			R2	
25-36	SVR	SMBO	MSE	P1
			ME	P2
			EV	P3
			R2	

Alle Modelle wurden auf dem Rechencluster btrxz-4 der Universität Bayreuth auf Rechenknoten, ausgestattet mit zwei Intel Xeon E5-2630 v4 @ 2.2 GHz CPU-Einheiten, unter der Verwendung von 9 Kernen und des LokyBackends zur Parallelisierung gerechnet.

Zur Auswertung wurden für jedes Modell die Metriken der optimierten Hyperparameter abgespeichert.

Die Modelle mit den optimierten Hyperparameter wurden abschließend anhand der Metriken MSE, ME, EV und R2 untereinander verglichen.

## 4 Ergebnisse und Diskussion

Die verschiedenen Metriken in der Kreuzvalidierung führten zum Teil zu stark variierenden Ergebnissen, was in Abbildung 2 für die Auswertung der Modelle 01-04 und in Abbildung 3 für die Auswertung der Modelle 32-36 exemplarisch gezeigt wird. Diese starken Abweichungen unterstreichen, dass die Auswahl einer für das konkret vorliegende Problem geeigneten Metrik essentiell für die Optimierung der Hyperparameter in Modellen des maschinellen Lernens ist.

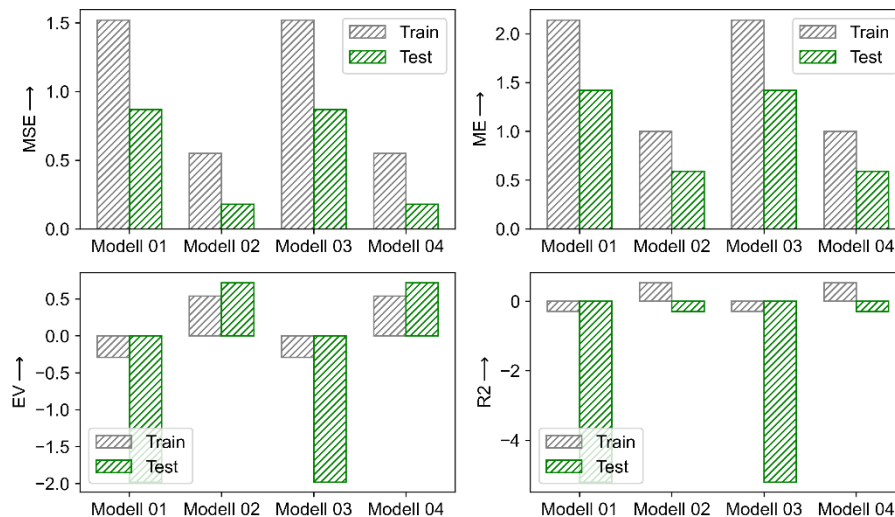


Abbildung 2: Vergleich der Ergebnisse von Trainings- und Testdaten für GS bei P1. Die in der Kreuzvalidierung eingesetzte Metrik führt zu signifikanten Unterschieden in den optimierten Modellen.

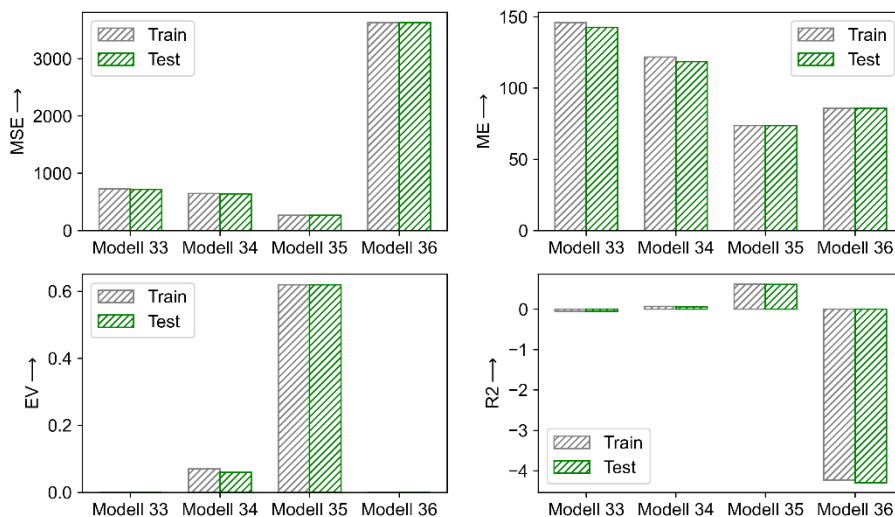


Abbildung 3: Vergleich der Ergebnisse von Trainings- und Testdaten für SMBO bei P3. Die in der Kreuzvalidierung eingesetzte Metrik führt zu signifikanten Unterschieden in den optimierten Modellen.

Es stellt sich demnach die Frage, welche Metrik am besten geeignet ist, um die hier behandelten Modelle miteinander zu vergleichen. Hierauf ist wohl keine eindeutige Antwort möglich. Allgemein ist die Bedeutung der jeweiligen Metrik immer relativ zu sehen und stellt keinen Anspruch auf ein quantitatives Qualitätsmaß dar. In diesem Beitrag liegt der Fokus exemplarisch auf dem kleinsten maximalen Fehler des Modells, weshalb die Modelle mit den niedrigsten ME-Werten miteinander verglichen werden.

In Abbildung 4 sind die Modelle mit dem niedrigsten ME-Wert für GS, BGS und SMBO gezeigt, es ist deutlich zu sehen, dass mithilfe der SMBO der maximale Fehler im Modell um über 30 % reduziert wurde.

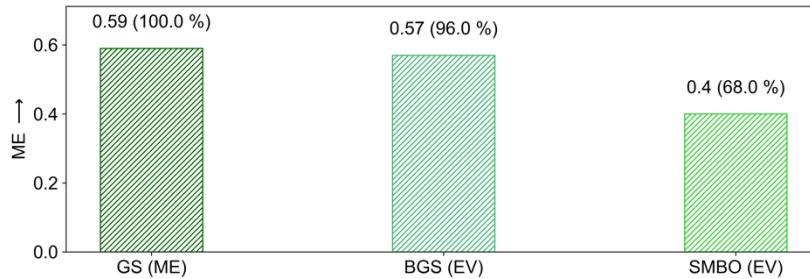


Abbildung 4: Vergleich der besten Modelle jeder Optimierungsmethode für P1. Die zugehörige Metrik in der Kreuzvalidierung ist in Klammern angegeben. Bei SMBO ist der maximale Fehler um 32 % reduziert.

Dieses Ergebnis lässt sich jedoch nicht mit den Ergebnissen für P2 und P3 wiederholen. Im Fall von P2, wie in Abbildung 5 zu sehen, liegen alle Ergebnisse innerhalb einer Abweichung von 4 % und sind entsprechend als gleichwertig zu gewichten.

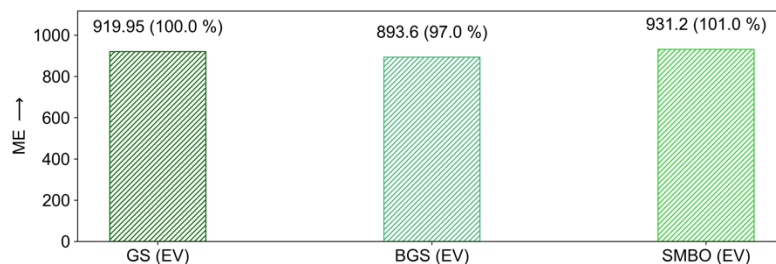


Abbildung 5: Vergleich der besten Modelle jeder Optimierungsmethode für P2. Die zugehörige Metrik in der Kreuzvalidierung ist in Klammern angegeben. Bei P2 führten alle Optimierungsmethoden zu ähnlichen Ergebnissen.

Dieser Eindruck lässt sich mit den Ergebnissen bei P3 in Abbildung 6 bestätigen, auch hier ist die Streuung der drei besten Modelle kleiner als 10 %.

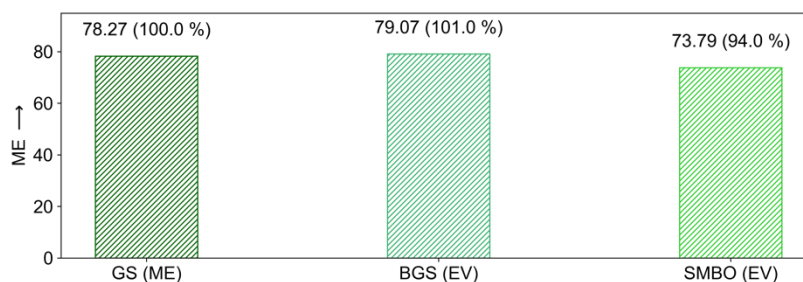


Abbildung 6:

Abbildung 6: Vergleich der besten Modelle jeder Optimierungsmethode für P3. Die zugehörige Metrik in der Kreuzvalidierung ist in Klammern angegeben. Bei P3 führten ebenso wie bei P2 alle Optimierungsmethoden zu ähnlichen Ergebnissen.

Ziel dieser Untersuchung ist es gewesen, eine effiziente Methode zur Optimierung von Modell Hyperparametern zu finden. Im Kontext der Rechenzeit sind per Definition BGS und SMBO effizienter als GS, da nur eine Teilmenge der möglichen Parameterkombination betrachtet wird. Beim Vergleich der Rechenzeit zwischen BGS und SMBO zeigt sich, dass bei SMBO für die drei betrachteten Problemen die Rechenzeit zwischen 78 % und 92 % geringer ist, dieses Ergebnis ist abschließend in Abbildung 7 dargestellt.

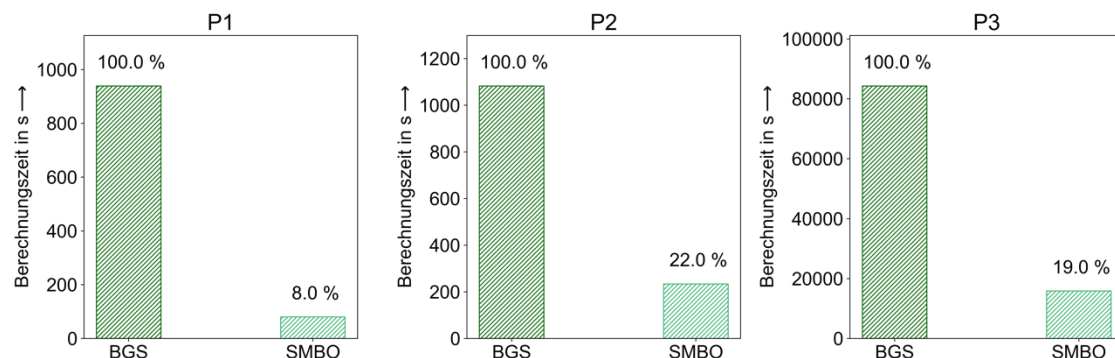


Abbildung 7: Vergleich der Rechenzeiten der Modelle BGS und SMBO bei den Beispielproblemen. Bei SMBO ist die Berechnungszeit deutlich geringer.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich somit festhalten, dass sowohl die Bayesian Grid-Search als auch die Sequential-Model-based-Optimization bei allen Beispielen zu Ergebnissen führen, die äquivalent zur klassischen Grid-Search Methode sind. Aufgrund der heterogenen Beispielprobleme deutet dies auf eine grundsätzliche Verallgemeinerbarkeit hin, die noch weiter zu untersuchen ist. Unter dem Aspekt der Rechenzeiteinsparung wurde gezeigt, dass mithilfe der Sequential Model-Based Optimization die Rechenzeit nochmals deutlich gesenkt werden konnte. Dies macht diese Methode besonders attraktiv für den Einsatz in Metamodellen zur Effizienzsteigerung in der Produktentwicklung, beispielsweise zur struktur- und prozessgerechten Optimierung von Bauteilen im Leichtmetallguss. Die Ergebnisse dieses Beitrags werden im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Forschungsvorhabens „Entwicklung einer physikalischen Geometrieanalyse zur prozessgerechten Topologieoptimierung“ in künftigen Arbeiten verwendet.

## 6 Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem Europäischen Sozialfonds für die Förderung im Rahmen der Projekte „Entwicklung einer physikalischen Geometrieanalyse zur prozessgerechten Topologieoptimierung“ (Projektnummer 434348474) und „HiPerSim4all“.

## Literatur

- [1] **Krimpenis**, A.; Benardos, P.G.; Vosniakos, G.-C.; Koukouvitaki, A.: *Simulation-Based Selection of Optimum Pressure Die-Casting Process Parameters Using Neural Nets and Genetic Algorithms*. Int J Adv Manuf Technol 2006, Bd. 27, S. 509–517, doi:10.1007/s00170-004-2218-0.
- [2] **Peng**, A.; Xiao, X.; Yue, R.: Process Parameter Optimization for Fused Deposition Modeling Using Response Surface Methodology Combined with Fuzzy Inference System. Int J Adv Manuf Technol 2014, Bd. 73, S. 87–100, doi:10.1007/s00170-014-5796-5.
- [3] **Jung**, C.; Zaefferer, M.; Bartz-Beielstein, T.; Rudolph, G.: *Metamodel-Based Optimization of Hot Rolling Processes in the Metal Industry*. Int J Adv Manuf Technol 2017, Bd. 90, S. 421–435, doi:10.1007/s00170-016-9386-6.
- [4] **Buduma**, N.; Locascio, N.: *Fundamentals of Deep Learning: Designing Next-Generation Machine Intelligence Algorithms*; 1. Aufl.; O'Reilly Media: Sebastopol, CA, 2017. - ISBN 978-1-4919-2561-4.
- [5] **Pedregosa**, F.; Varoquaux, G.; Gramfort, A.; Michel, V.; Thirion, B.; Grisel, O.; Blondel, M.; Prettenhofer, P.; Weiss, R.; Dubourg, V.; Vanderplas, J.; Passos, A.; Cournapeau, D.; Brucher, M.; Perrot, M.; Duchesnay, E.: *Scikit-learn: Machine Learning in Python*. JMLR. 2011, Bd. 85, S. 2825 – 2830.
- [6] Scikit-optimize: Sequential model-based optimization in Python, URL: <https://scikit-optimize.github.io/stable/index.html> (Abgerufen am: 11.05.2021)

- [7] **Müller, A.C.**; Guido, S.: *Introduction to Machine Learning with Python: A Guide for Data Scientists*. 1. Aufl.; O'Reilly Media, Inc: Sebastopol, CA, 2016. - ISBN 978-1-4493-6941-5.
- [8] **Schölkopf, B.**; Smola, A.J. *Learning with Kernels: Support Vector Machines, Regularization, Optimization, and Beyond; Adaptive computation and machine learning*; MIT Press: Cambridge, Mass, 2002. - ISBN 978-0-262-19475-4.
- [9] Wiley StatsRef: Statistics Reference Online; Balakrishnan, N., Colton, T., Everitt, B., Piegorisch, W., Ruggeri, F., Teugels, J.L., Hrsg.; 1. Aufl.; Wiley, 2014. - ISBN 978-1-118-44511-2.
- [10] **Bergstra, J.**; Bardenet, R.; Bengio, Y.; Kégl, B.: *Algorithms for hyperparameter optimization*. NIPS. 2014, Bd. 24, S.2546 – 2554.
- [11] **Liashchynskiy, P.**: Grid Search, Random Search, Genetic Algorithm: A Big Comparison for NAS. ArXiv191206059 Cs Stat, Dez. 2019, Zugegriffen: Apr. 19, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <http://arxiv.org/abs/1912.06059>
- [12] **Bergstra, J.**; Bengio, Y.: *Random search for hyperparameter optimization*. J. Mach. Learn. Res. 2012, Bd. 13, S. 281–305
- [13] **Hutter, F.**; Hoos, H.; Leyton-Brown, K.: *Bayesian Optimization with Censored Response Data*, ArXiv13101947 Cs Stat, Okt. 2013, Zugegriffen: Apr. 19, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <http://arxiv.org/abs/1310.1947>
- [14] **Mockus, J.**: On the Bayes Methods for Seeking the Extremal Point. IFAC Proc. Vol., 1975, Bd. 8, Nr. 1, S. 428–431.
- [15] **Klein, A.**; Falkner, S.; Bartels, S.; Hennig, P.; Hutter, F.: *Fast Bayesian Optimization of Machine Learning Hyperparameters on Large Datasets*. In: Proceedings of the 20th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS) 2017, Fort Lauderdale, Florida, USA. JMLR: W&CP volume 54.
- [16] **Brochu, E.**; Cora, V.M.; de Freitas, N.: A Tutorial on Bayesian Optimization of Expensive Cost Functions, with Application to Active User Modeling and Hierarchical Reinforcement Learning. ArXiv10122599 Cs, Dez. 2010, Zugegriffen: Apr. 21, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <http://arxiv.org/abs/1012.2599>
- [17] **Snoek, J.**; Larochelle, H.; Adams R.P.: *Practical Bayesian Optimization of Machine Learning Algorithms*. ArXiv12062944 Cs Stat, Aug. 2012, Zugegriffen: Apr. 19, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <http://arxiv.org/abs/1206.2944>
- [18] **Antonio, C.**: Sequential model-based optimization of partially defined functions under unknown constraints. J. Glob. Optim., 2021, Bd. 79, S. 281 – 303.
- [19] **Hutter, F.**; Hoos, H.H.; Leyton-Brown K.: *Sequential Model-Based Optimization for General Algorithm Configuration*. In: Coello C.A.C. (Hrsg.) Learning and Intelligent Optimization. LION 2011. Lecture Notes in Computer Science, vol 6683. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [20] **Han, Z.H.**; Zhang, K.S.: *Surrogate-Based Optimization*. In: *Real-World Applications of Genetic Algorithms*, Roeva, O. (Hrsg.), InTech, 2012. S. 342 – 362.
- [21] **Rosnitschek, T.**; Hentschel, R.; Siegel, T.; Kleinschrodt, C.; Zimmermann, M.; Alber-Laukant, B.; Rieg, F.: *Optimized One-Click Development for Topology-Optimized Structures*. Applied Sciences 2021, Vol. 11, S. 2400. doi:10.3390/app11052400.
- [22] **Rosnitschek, T.**; Siegel, T.; Linke, D.; Mailänder, P.; Kamp, D.; Rieg, F.: *Optimizing material exploitation in the direct additive manufacturing of topology-optimized structures*. In: Corves, B.; Gericke, K.; Grote, K. H.; Lohrengel, A.; Löwer, M.; Nagarajah, A.; Rieg, F.; Scharr, G.; Stelzer, R. (Hrsg.): 18. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik 2020: Nachhaltige Produktentwicklung; KT 2020. - Duisburg, 2020. - S. 27-39
- [23] **Strömberg, N.**: *Reliability Based Design Optimization by using a SLP Approach and Radial Basis Function Networks*, in the proceedings of the ASME 2016 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE, Charlotte, North Carolina, USA, August 21- 24, 2016.
- [24] **Strömberg, N.**: *Comparison of Optimal Linear, Affine and Convex Combinations of Metamodels*. *Engineering Optimization*, 2021, Bd. 53, S. 702–718, doi:10.1080/0305215X.2020.1746781.

# Verknüpfung von Tools zur analytischen Berechnung von Maschinensystemen in einer Digital Engineering Toolbox

Tobias Siegel, Claudia Kleinschrodt, Maximilian Baier, Stephan Tremmel

Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD, Universität Bayreuth

Universitätsstraße 30, 95447 Bayreuth

Email: tobias.siegel@uni-bayreuth.de; Internet: <https://www.konstruktionslehre.uni-bayreuth.de/>

***Inhalt:** Sinkende Entwicklungszeiten bei gleichzeitig steigender Produktkomplexität und Datenvielfalt bedingen ein gut abgestimmtes Zusammenspiel von Tools in der Produktentwicklung. Dieser Beitrag stellt das Konzept einer modularen Toolbox vor, mit der Softwaretools für die analytische Berechnung von Maschinensystemen miteinander verknüpft werden. Durch die Abstraktion der Toolbox in unabhängige Module auf verschiedenen hierarchischen Ebenen wird eine Top-Down-Struktur vorgeschlagen, die den flexiblen und austauschbaren Einsatz von Tools ermöglicht.*

***Stichwörter:** Analytische Berechnung, Digital Engineering, Interoperabilität, Toolbox*

## 1 Verwendung von Softwaretools in der Produktentwicklung

Zentrale Herausforderungen der modernen Produktentwicklung sind sinkende Entwicklungszeiten, steigende Produktkomplexität und zunehmende Datenmengen aus Entwicklung und Produktion [1–3]. Daher wird die Produktentwicklung mit Hilfe von Digital Engineering und Assistenzsystemen immer weiter digitalisiert [4]. Dabei werden die Entwicklungsschritte wie beispielsweise die analytische Berechnung von Maschinenelementen und -systemen durch Softwaretools unterstützt. Diese Tools stammen häufig von verschiedenen Anbietern und stellen oft Einzellösungen dar, die nicht in einen durchgängig digitalen Produktentwicklungsprozess integriert sind [5]. Jedoch kann den eingangs genannten Herausforderungen nur durch einen weitgehend automatisierten Entwicklungsprozess und eine durchgängige Verknüpfung der Tools begegnet werden.

## 2 Integration von Tools in durchgängig digitale Prozesse

Die vorherrschende heterogene Tool-Landschaft bedingt einen konsistenten und verlustlosen Datenaustausch zwischen den Tools [6]. Dieser zweckdienliche Austausch von Informationen wird Interoperabilität genannt [7]. Um diese zu gewährleisten, existieren verschiedene Ansätze, die von der Forderung nach einem gemeinsamen Tool für alle Aufgaben über die Entwicklung von Schnittstellen zwischen einzelnen Tools bis hin zu einer Integration Framework führen, in dem einzelne Tools eingebunden und mit einem zentralisierten Datenverwaltungssystem kombiniert werden [5]. Die Toolbox soll dem Ansatz des Integration Frameworks folgen und dieses im Kontext der analytischen Bauteilberechnung umsetzen.

## 3 Toolbox zur Verknüpfung analytischer Berechnungstools

Zur Gewährleistung eines durchgängig digitalen Entwicklungsprozesses wurde ein Konzept für eine modulare Toolbox entwickelt, mit der die Tools über ein gemeinsames Datenmanagement miteinander verknüpft werden können. Das Konzept folgt dem Top-Down-Ansatz und beschreibt die Modularisierung der Toolbox in drei hierarchischen Ebenen, angelehnt an die Baukastensystematik nach Pahl/Beitz [8]. Auf jeder Ebene existieren Grund- und Hilfsbausteine, die ggf. um Sonder- und Anpassbausteine ergänzt werden können. Dieses Konzept ermöglicht eine flexible Ansteuerung verschiedener Tools, die auch in Form externer oder kommerzieller Softwareprodukte vorliegen können. So ist es möglich, für die einzelnen Schritte favorisierte und für sich allein stehende Tools in eine durchgängig automatisierbare Lösung zu integrieren.

Die hierarchisch angeordneten Ebenen verkörpern unterschiedliche Abstraktionsgrade. Die **Toolbox-Ebene** mit dem höchsten Abstraktionsgrad enthält die Tools als Grundbausteine (GBS). Die Wechselwirkungen zwischen den Tools werden über Adapter als Hilfsbausteine (HBS) im Sinne

von Verknüpfungen abgebildet. Ein Tool steht für eine spezielle Aufgabe, beispielsweise die Berechnung eines einzelnen Maschinenelements. Über die Verknüpfungen werden die Daten der verschiedenen Tools abgeglichen und bei Änderungen automatisch angepasst. Innerhalb des Tools, in der **Tool-Ebene**, werden die ein- und ausgehenden Daten mit einem zentralen Datenmanagement ausgetauscht. Die Daten können beispielsweise semantisch in einer Graphdatenbank miteinander verknüpft werden. Für die Verwendung im Grundbaustein der Tool-Ebene, dem Funktionsmodul, werden die Daten ggf. mit Hilfe von Konvertern (HBS) angepasst. In der **Funktionsmodul-Ebene** wird auf Basis der vorhandenen Eingabedaten über eine Entscheidungslogik (HBS) ein passendes Berechnungsverfahren gewählt. Dieses wird im Berechnungsmodul (GBS) umgesetzt, wobei unter anderem analytische Verfahren und die Auslegung auf Basis von Katalogdaten implementiert sein können. Über die Entscheidungslogik wird anhand der verfügbaren Informationen die Art der Berechnung (beispielsweise eine Dimensionierungs- oder Nachweisrechnung) bestimmt.

## Danksagung

Die vorgestellte Forschungsarbeit ist Teil des bayerischen Forschungsverbundes „FORCuDE@BEV - Customized Digital Engineering für Bayerische KMU“ und gefördert durch die Bayerische Forschungstiftung (BFS).

Für den Inhalt dieser Publikation sind die Autoren verantwortlich. Die Autoren danken der Bayerischen Forschungstiftung (BFS) für die finanzielle Unterstützung.

## Literatur

- [1] NAUNHEIMER, Harald ; BERTSCHE, Bernd ; RYBORZ, Joachim: *Fahrzeuggetriebe : Grundlagen, Auswahl, Auslegung und Konstruktion*. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2019
- [2] HUANG, Jingwei ; GHEORGHE, Adrian ; HANDLEY, Holly ; PAZOS, Pilar ; PINTO, Ariel ; KOVACIC, Samuel ; COLLINS, Andrew ; KEATING, Charles ; POZA, Andres Sousa ; RABADI, Ghaith ; UNAL, Resit ; COTTER, Teddy ; LANDAETA, Rafael ; DANIELS, Charles: *Towards digital engineering: the advent of digital systems engineering*. In: *International Journal of System of Systems Engineering* 10 (2020), Nr. 3, S. 234
- [3] DUMITRESCU, Roman ; TSCHIRNER, Christian ; BANSMANN, Michael: Systems Engineering als Grundlage der Gestaltung digitaler Arbeitswelten in der Produktentstehung. In: MAIER, Günter W.; ENGELS, G.; STEFFEN, Eckhard (Hrsg.): *Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten*. 1. Aufl. 2020. Berlin, Heidelberg : Springer, 2020, S. 405–432
- [4] BICKEL, Sebastian ; SPRUEGEL, Tobias C. ; SCHLEICH, Benjamin ; WARTZACK, Sandro: How Do Digital Engineering and Included AI Based Assistance Tools Change the Product Development Process and the Involved Engineers. In: *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design* 1 (2019), Nr. 1, S. 2567–2576
- [5] HUNDT, Lorenz ; LUDER, Arndt: Development of a method for the implementation of interoperable tool chains applying mechatronical thinking — Use case engineering of logic control. In: *Proceedings of 2012 IEEE 17th International Conference on Emerging Technologies & Factory Automation : ETFA 2012 : September 17-21, 2012, Kraków, Poland*. Piscataway, NJ : IEEE, 2012, S. 1–8
- [6] SCHMIDT, Nicole ; LUDER, Arndt ; STEININGER, Heinrich ; BIFFL, Stefan: Analyzing requirements on software tools according to the functional engineering phase in the technical systems engineering process. In: *Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)* : IEEE, 2014 - 2014, S. 1–8
- [7] SINSEL, Alexander: *Das Internet der Dinge in der Produktion : Smart Manufacturing für Anwender und Lösungsanbieter*. [1. Auflage]. Berlin : Springer Vieweg, 2020
- [8] FELDHOUSEN, Jörg ; GROTE, Karl-Heinrich: *Pahl/Beitz Konstruktionslehre : Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 8., vollständig überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Vieweg, 2013

# Sensordatengewinnung mit simulationsgestützten virtuellen Sensoren auf Basis der Finite-Elemente-Analyse

**Andreas Kormann, Claudia Kleinschrodt, Stephan Tremmel**

Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD, Universität Bayreuth

Universitätstraße 30, 95447 Bayreuth

Email: andreas.kormann@uni-bayreuth.de; Internet: <https://www.konstruktionslehre.uni-bayreuth.de/>

***Inhalt:** Klassische Entwicklungsprozesse lassen sich mit durchgängigen digitalen Prozessen effizienter gestalten. Zur Absicherung der entwickelten Produkte sind jedoch weiterhin Versuche erforderlich. Zur Reduzierung der Kosten für Prüfstandsversuche und zur bestmöglichen Nutzung der in den dort gewonnenen Sensordaten enthaltenen Informationen, sind simulationsbasierte virtuelle Sensoren geeignet. Diese auf der Finite-Elemente-Analyse basierenden Sensoren werden nach dem digitalen Aufbringen in der Simulationssoftware wie physikalische Sensoren eingesetzt. In diesem Beitrag werden Methoden vorgestellt, wie diese Sensoren angewendet werden können und welche Einschränkungen sie haben.*

***Stichwörter:** Digital Engineering, Finite-Elemente-Analyse, Virtueller Sensor*

## 1 Zustandsbestimmung mittels virtueller Sensoren

Durch die Anbringung von Sensoren kann der Zustand von Objekten, wie Maschinenelementen, bestimmt werden. Der Applikation der verwendeten Sensoren, nachfolgend als physikalische Sensoren bezeichnet, sind jedoch Grenzen gesetzt. So ist es unter anderem aufgrund hoher Applikationskosten, schlechter Zugänglichkeit von Messstellen oder der maßgeblichen Beeinflussung des Systems häufig nicht möglich, Sensoren in ausreichender Stückzahl zu verbauen [1]. Um die durch diese Umstände fehlenden Sensordaten dennoch gewinnen zu können, eignen sich simulationsgestützte virtuelle Sensoren. Diese verwenden die von physikalischen Sensoren gewonnenen Sensordaten als Eingangsgrößen und generieren daraus durch Simulationen oder andere Auswertestrategien die benötigten Informationen [2].

## 2 Aktuelle Verwendung von virtuellen Sensoren

Virtuelle Sensoren bieten eine Möglichkeit, fehlende oder schwer zu erhaltende Messwerte aus verfügbaren Daten zu ermitteln [5]. Sie werden in verschiedenen Bereichen und mit verschiedenen Lösungsstrategien verwendet, beispielsweise als modellbasierte oder nichtlineare virtuelle Sensoren [3, 4]. Einzelne Elemente von virtuellen Sensoren sind in kommerziellen Programmen bereits umgesetzt. So ist die Erstellung von Parameterstudien in manchen Finite-Elemente-Programmen möglich. Das hier vorgestellte Konzept kombiniert die unterschiedlichen Bestandteile aus verschiedenen Bereichen zu einem Gesamtansatz für die Anwendung auf Maschinenelemente.

## 3 Methoden zur Realisierung simulationsgestützter virtuelle Sensoren

Auf der Finite-Elemente-Analyse (FEA) basierende, simulationsgestützte virtuelle Sensoren können dafür eingesetzt werden, physikalisch nicht messbare, redundante oder zusätzliche Sensordaten zu erhalten. Besonderes Augenmerk wird hierbei auf das automatisierte Einlesen von Eingabedaten, sowie die zielgerichtete Ausgabe von Sensordaten an interessanten Positionen am zu betrachtenden Bauteil gelegt. Als Eingabedaten können unter anderem Sensordaten aus physikalischen Sensoren, Daten aus anderen Simulationen oder Berechnungen und selbst gewählte Werte dienen. Abhängig von der Art, wie diese Daten zur Verfügung gestellt werden, kann es hierbei notwendig sein, diese zu konvertieren, um eine Verarbeitung mittels Finite-Elemente-Programmen zu ermöglichen. Bevor simulationsgestützte virtuelle Sensoren verwendet werden können, gilt es ein Modell mit definierten Geometriedaten und Materialparametern aufzubauen. Die einfache Bereitstellung der erzeugten Sensordaten wird sichergestellt, indem einzelne Ergebnisse ausgegeben werden, die das Verhalten des Modells an vom Anwender bestimmten Positionen

beschreiben. Ein Beispiel hierfür kann die mittlere Knotenspannung an einem definierten Flächenabschnitt sein. Ein simulationsgestützter virtueller Sensor ist dabei nicht auf die Ausgabe eines einzelnen Wertes limitiert. Stattdessen können mehrere Informationen, die mittels der FEA berechnet werden, ausgegeben werden. Indem der virtuelle Sensor gekapselt wird, kann er vom Endanwender ohne Umdenken analog zu einem physikalischen Sensor verwendet werden [6]. Daraus resultiert eine einfachere Handhabung und die Eignung des Konzeptes für ein breites Anwendungsspektrum.

Die Berechnung mittels FEA liefert abhängig von der Modellgüte exakte Ergebnisse, benötigt allerdings abhängig vom numerischen Aufwand eine gewisse Berechnungszeit. Die für Simulation und Auswertung benötigte Zeitspanne kann von Sekundenbruchteilen bis hin zu Tagen reichen. Um bei aufwändigen Modellen dennoch der Anforderung nach einer schnellen Verfügbarkeit gerecht zu werden, ist die Verlagerung des Berechnungszeitpunktes vor den Messzeitpunkt möglich. Abweichend zum Ansatz, die Berechnung mittels FEA parallel zur Messdurchführung ablaufen zu lassen, wird in diesem Fall vorab ein Messbereich mit Messpunkten definiert, zu denen alle Ergebnisse des simulationsgestützten virtuellen Sensors vor der eigentlichen Messung berechnet und in einer Datenbank hinterlegt werden. Zum Messzeitpunkt kann auf die Werte aus der Datenbank zurückgegriffen werden, ohne eine weitere FEA durchführen zu müssen. Ein Nachteil dieses Verfahrens ist der hohe numerische Aufwand für die Durchführung der Simulationen zur Erstellung der hierfür notwendigen Datenbank.

Um die Entscheidung, welche Modellierungsstrategie für die simulationsgestützten virtuellen Sensoren im spezifischen Fall zu wählen ist, zu erleichtern, wird diese anhand definierter Kriterien getroffen. Neben der Abfrage der Notwendigkeit einer Echtzeitfähigkeit gilt es ebenso zu beachten, ob eine wiederkehrende Abfrage wahrscheinlich ist. Sollte eines dieser Kriterien positiv beantwortet werden, so wird die Realisierung mittels Datenbank-Methodik gewählt. Andernfalls ist die Verwendung von Simulationen zur Laufzeit vorzuziehen. Je nach Anforderungen kann so die geeignete Methode für die Realisierung des simulationsgestützten virtuellen Sensors genutzt werden und somit ein breites Spektrum an Anwendungen abgedeckt werden.

## Danksagung

Die vorgestellte Forschungsarbeit ist Teil des bayerischen Forschungsverbundes „FORCuDE@BEV - Customized Digital Engineering für Bayerische KMU“ und gefördert durch die Bayerische Forschungsförderung (BFS).

Für den Inhalt dieser Publikation sind die Autoren verantwortlich. Die Autoren danken der Bayerischen Forschungsförderung (BFS) für die finanzielle Unterstützung.

## Literaturverzeichnis

- [1] DEMENTYEV, Alexander: Verbesserung der Performance von virtuellen Sensoren in totzeitbehafteten Prozessen, 2014
- [2] WALTER, Andreas ; KIENCKE, Uwe ; JONES, Stephen ; WINKLER, Thomas: *Das Zweimassenschwungrad als virtueller Sensor*. In: *MTZ - Motortechnische Zeitschrift* 68 (2007), Nr. 6, S. 486–493
- [3] FICK, Matthias: Modellbasierter Entwurf virtueller Sensoren zur Regelung von PKW-Dieselmotoren. 2012
- [4] MILANESE, M. ; NOVARA, C. ; HSU, K. ; POOLLA, K.: *Nonlinear virtual sensors design from data*. In: *IFAC Proceedings Volumes* 39 (2006), Nr. 1, S. 576–581
- [5] GOODWIN, Graham C.: Evaluating the performance of virtual sensors. In: 1999 Information, Decision and Control. Data and Information Fusion Symposium, Signal Processing and Communications Symposium and Decision and Control Symposium. Proceedings (Cat. No.99EX251) : IEEE, 1999, S. 5–12
- [6] RAVEENDRANATHAN, Nikhil ; GALZARANO, Stefano ; LOSEU, Vitali ; GRAVINA, Raffaele ; GIANNANTONIO, Roberta ; SGROI, Marco ; JAFARI, Roozbeh ; FORTINO, Giancarlo: *From Modeling to Implementation of Virtual Sensors in Body Sensor Networks*. In: *IEEE Sensors Journal* 12 (2012), Nr. 3, S. 583–593

# Semantische Beschreibung von Normeninhalten am Beispiel eines Formelbausteins

**Dominik Ehring\*, Janosch Luttmer, Arun Nagarajah**

Institut für Produkt Engineering, Universität Duisburg-Essen  
Lotharstr. 1, 47057 Duisburg

E-Mail: dominik.ehring@uni-due.de; Internet: <https://www.uni-due.de/pep/>

**Inhalt:** Im Kontext fortschreitender Digitalisierung wird das Gesamtsystem Normung vor neue Herausforderungen gestellt. Prozesse sollen zukünftig durch Rechnerunterstützung autonom ablaufen. Eine notwendige Bedingung hierfür stellen die automatische Entnahme und Verarbeitung von Informationen aus Normen dar. Aktuell ist diese Voraussetzung – einer maschinenausführbaren Norm – nicht gegeben. Die heutige Arbeitsweise mit Normen ist durch eine manuelle Sichtung von Dokumenten charakterisiert, wobei Anwender die für sie relevanten Informationen suchen und diese in ihre Prozesse/ Methoden/ Tools überführen müssen. Hierbei wird die manuelle Suche durch einen hohen Zeit- und Kostenaufwand sowie Qualitätseinbußen gekennzeichnet [1, 2]. Ausgehend von einem entwickelten Framework zur Digitalisierung von Normen und der integrierten – konzeptionellen – Vorgehensweise zur automatisierten Überführung von Normeninhalten in eine maschinenausführbare Form [1] konnten Luttmer et al. am Beispiel von Formeln die Schritte „Extraktion“, „Modellierung“, „Fusion und Speicherung“ sowie „Bereitstellung“ und „Anwendung“ validieren [3]. Zurzeit begrenzen sich die Erkenntnisse auf die automatisierte Extraktion und Modellierung mathematischer Gleichungen und deren teilautomatisierte Anreicherung. Zur Gewährleistung von Produktkonformitäten reicht die Modellierung einzelner Normenelemente nicht aus. Es stellt sich die Frage, wie nicht nur einzelne Elemente, sondern inhaltlich abgeschlossene Einheiten inklusive semantischer Beziehungen maschinenausführbar modelliert werden können, um Sachzusammenhänge adäquat zu berücksichtigen. Auf Basis eines Wissensbausteins für Formeln – welcher nicht allein aus der mathematischen Gleichung besteht, sondern bspw. auch Anmerkungen und Randbedingungen umfasst – werden in einem Top-Down-Ansatz die Anforderungen an die Modellierung der einzelnen Bestandteile erhoben. In Abhängigkeit der Modellierungsvarianten innerhalb einer Ontologie können unterschiedliche Abfragen an die zu bildende Wissensbasis gestellt werden. Infolgedessen werden die Kernbestandteile eines Formelbausteins evaluiert, in einer Graphdatenbank umgesetzt und auf semantische Konformität geprüft. Die Zielsetzung besteht darin, einen generischen Formelbaustein als abgeschlossene inhaltliche Einheit unter Berücksichtigung semantischer Beziehung zu modellieren und hieraus eine allgemeine Vorgehensweise abzuleiten.

**Stichwörter:** Modellierung, Semantik, Formelbaustein

## 1 Problemstellung

Im Kontext fortschreitender Digitalisierung wird das Gesamtsystem Normung vor neue Herausforderungen gestellt. Prozesse sollen zukünftig durch Rechnerunterstützung autonom ablaufen. Eine notwendige Bedingung hierfür stellen die automatische Entnahme und Verarbeitung von Informationen aus Normen dar. Aktuell ist diese Voraussetzung – einer maschinenausführbaren Norm – nicht gegeben. Die heutige Arbeitsweise mit Normen ist durch eine manuelle Sichtung von Dokumenten charakterisiert, wobei Anwender die für sie relevanten Informationen suchen und diese in ihre Prozesse/ Methoden/ Tools überführen müssen. Gekennzeichnet wird die manuelle Suche durch einen hohen Zeit- und Kostenaufwand. Qualitätseinbußen durch fehlerbehaftete Übertragung in Anwendungssystemen sind ebenso die Folge, wie ein hoher Anpassungsaufwand bei Updates von Normen. [1, 2]

Ausgehend von einem entwickelten Framework zur Digitalisierung von Normen und der integrierten – konzeptionellen – Vorgehensweise zur automatisierten Überführung von Normeninhalten in eine maschinenausführbare Form [1] konnten Luttmer et al. am Beispiel von Formeln die Schritte „Extraktion“, „Modellierung“, „Fusion und Speicherung“ sowie „Bereitstellung“ und „Anwendung“ validieren [3]. Zurzeit begrenzen sich die Erkenntnisse auf die automatisierte Extraktion und Modellierung mathematischer Gleichungen und deren teilautomatisierte Anreicherung. Zur

Gewährleistung von Produktkonformitäten reicht die Modellierung einzelner Normenelemente nicht aus. Es stellt sich die Frage, wie nicht nur einzelne Elemente, sondern inhaltlich abgeschlossene Einheiten inklusive semantischer Beziehungen maschinenausführbar modelliert werden können, um Sachzusammenhänge adäquat zu berücksichtigen.

## 2 Stand der Wissenschaft

Normeninhalte können nach Loibl et al. in vier Beschreibungsformen „Text“, „Formel“, „Tabelle“ sowie „Abbildungen“ klassifiziert werden, wobei sie unterschiedliche Potenziale zur eindeutigen Überführung in eine maschinenausführbare Form aufweisen [4]. Luttmer et al. konkludiert, dass Formeln, aufgrund der strengen Normung von Schreibweise und Aufbau, das größte Potenzial zur Umwandlung besitzen, sodass sie eine aufbaufähige Grundlage zur Bildung einer abgeschlossenen inhaltlichen Einheit darstellen [4, 5]. Ein sogenannter Wissensbaustein für Formeln setzt sich aus der in Abbildung 1 ersichtlichen Bestandteile zusammen, welche als Konglomerat die semantischen Beziehungen abbilden. Hierbei stellt die Modellierung von Wissen kein neues Forschungsgebiet dar, allerdings stellen die Anforderungen seitens der Normung die Beschreibung der Zusammenhänge vor große technische Herausforderungen.

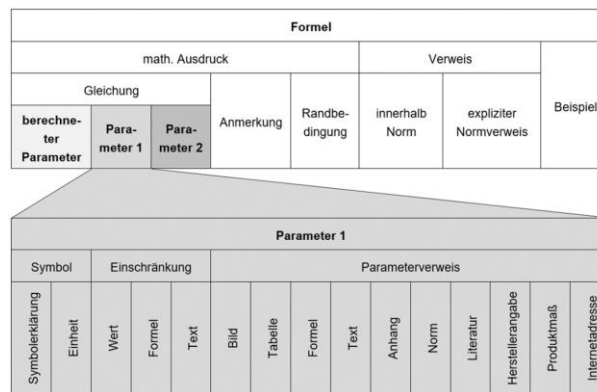


Abb. 1: Schematische Darstellung des Wissensbausteins im Kastendiagramm

## 3 Lösungsansatz

Auf Basis der theoretischen Erkenntnisse zur Bildung eines Wissensbausteins für Formeln werden in einem Top-Down-Ansatz die Anforderungen an die Modellierung der einzelnen Bestandteile erhoben. In Abhängigkeit der Modellierungsvariante innerhalb der Ontologie können unterschiedliche Abfragen an die zu bildende Wissensbasis gestellt werden. Infolgedessen werden die Kernbestandteile eines Formelbausteins, wie bspw. „Gleichung“ oder „Randbedingung“ in einer Graphdatenbank umgesetzt und auf semantische Konformität geprüft werden.

## Literatur

- [1] Ehring, D., Luttmer, J., Pluhnau, R., & Nagarajah, A. (2021). SMART standards-concept for the automated transfer of standard contents into a machine-actionable form. *Procedia CIRP*, 100, 163-168.
- [2] Blind K, Heß P. Deutsches Normungspanel – Indikatorenbericht 2018. Berlin: Deutscher Förderverein zur Stärkung der Forschung zur Normung und Standardisierung e.V. 2017. p. 21f.
- [3] Luttmer, J., Ehring, D., Pluhnau, R., Nagarajah, A. (2021). Representation and application of digital standards using knowledge graphs. ICED21. 23rd International Conference on Engineering Design.
- [4] Loibl A, Manoharan T, Nagarajah A. Procedure for the transfer of standards into machine-actionability. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*. 2020. 14. Jg., Nr. 2, S. JAMDSM0022-JAMDSM0022.
- [5] Luttmer, J., Kocks, C. (2021). Entwicklung und Validierung einer Vorgehensweise zur Beschreibung von Formeln in Normendokumenten. Bachelorarbeit am Lehrstuhl PEP.

# Vorgehen zur Erstellung eines Baukastens für die Konzeptentwicklung von Exoskeletten

**Tobias Drees, Steffen Kunnen, Arun Nagarajah**

Institut für Produkt Engineering, Universität Duisburg-Essen

Lotharstr. 1, 47057 Duisburg

Email: tobias.drees@uni-due.de; Internet: <https://www.uni-due.de/pep/>

***Inhalt:** Industrielle Exoskelette sind aufgrund der Neuheit des Forschungsgebietes und zum Teil noch unzureichend gelöster technologischer und ergonomischer Herausforderungen noch nicht im Massenmarkt angekommen. Entwicklungen verharren häufig im Prototypenstatus. Dieser Beitrag stellt eine Vorgehensweise vor, wie ein Produktbaukasten für Exoskelette entwickelt werden kann, der die Struktur des Entwicklungsprozesses und die Übertragbarkeit von Konzeptlösungen auf verschiedene Anwendungsfälle verbessert. So soll ein Eintritt der Exoskelett-Technologie in den Massenmarkt trotz notwendiger Individualisierung des Systems bezüglich Nutzer, Tätigkeit und Einsatzort gelingen.*

***Stichwörter:** Exoskelette, Produktbaukasten, Methodenentwicklung.*

## 1 Problemstellung und Stand der Technik

Die Entwicklung von Exoskeletten für den Einsatz an industriellen Arbeitsplätzen ist erst seit wenigen Jahren ein Forschungsschwerpunkt [1]. Diese ist aus mehreren Gründen noch komplex sowie zeit- und kostenintensiv. In die Entwicklung sind zum einen eine Vielzahl verschiedener Fachdisziplinen involviert und das Potential im Hinblick auf den industriellen Einsatz von Exoskeletten und der daraus resultierende Nutzen lässt sich nur schwierig messen und beziffern. Zum anderen fehlen Richtlinien und Vorgehensweisen für eine systematische Entwicklung [2]. Im Fokus der Exoskelettforschung liegen zudem noch unzureichend gelöste technologische, ökonomische, ergonomische und biomechanische Herausforderungen, wie z.B. die Verbesserung der Unterstützungsleistung bei verschiedenen Anwendungsfällen, die Erhöhung der Nutzerakzeptanz und -sicherheit durch Erzielen einer langfristig bequemen Nutzung, und das Ermöglichen von natürlichen Bewegungen mithilfe optimierter Freiheitsgradkonzepte [3, 4].

Dies führt dazu, dass aktuelle Exoskelette primär das Resultat einer Einzelentwicklung sind, die sich aus den Anforderungen, Bewegungsabläufen und Umgebungsvariablen eines Anwendungsfalls ergeben und damit eine Insellösung darstellen. Die Entwicklung folgt häufig einem iterativen Prototypenbau, bei der sehr früh im Entwicklungsprozess ein physischer Prototyp gebaut und durch einen Nutzer getestet wird (vgl. z.B. [5]). Die Erkenntnisse fließen dann in den Aufbau eines neuen physischen Prototyps ein, der wiederum getestet wird und neue Erkenntnisse liefert. Das Ergebnis ist ein spezialisiertes und teures Produkt, welches unzureichend übertragbar auf andere Anwendungsfälle und damit nicht massentauglich einsetzbar ist.

## 2 Zielsetzung

Es stellt sich daher die Frage, wie die Struktur des Entwicklungsprozesses und die Übertragbarkeit der resultierenden Lösung verbessert werden kann, um individuelle Exoskelett-Konzepte für den Massenmarkt zu entwickeln. Hierfür bietet sich die Nutzung eines Produktbaukastens an, der mit geringem Aufwand die Konzeption unterschiedlicher Produktvarianten aus standardisierten Modulen ermöglicht [6]. Aus einem ausgewählten Set an definierten Eingangsgrößen mit jeweils unterschiedlichen, aber festen Ausprägungen und Werten lässt sich durch Nutzung des Baukastens ein personenindividuelles und tätigkeitsspezifisches initiales Design (Konzept) eines Exoskelettes unter Berücksichtigung aller Umgebungseinflüsse entwickeln. Übergeordnete Eingangsgrößen stellen hierbei der individuelle Nutzer, die charakteristische Tätigkeit und die spezifische Umgebung/Einsatzort dar.

### 3 Vorgehensweise

Die zweckorientierte Vorgehensbeschreibung für die Nutzung des Baukastens ist von dessen Struktur abhängig und daher, wie der Inhalt des Baukastens selbst, noch unbekannt. Zum Ermitteln der Struktur müssen die funktionalen und gestalterischen Zusammenhänge aus spezifischen Entwicklungen und damit individuellen Anwendungsfällen mit jeweils einem festen Set an Ausprägungen der Eingangsgrößen abstrahiert werden. Dazu wird insgesamt ein Prozess aus drei Schritten vorgeschlagen, die nachfolgend erläutert werden: *Anwenden – Abstrahieren – Aufbauen*. Im ersten Schritt *Anwenden* werden Exoskelett-Konzepte für verschiedene Anwendungsfälle entwickelt, um grundlegende Zusammenhänge, Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu erkennen. Eine allgemeine Vorgehensweise für eine strukturierte Entwicklung bieten generische Konstruktionsmethodiken wie z.B. die VDI 2221, VDI 2206, das Münchener Vorgehensmodell oder der klassische Stage-Gate-Produktentstehungsprozess. Für deren Verwendung müssen neben einem konkreten Anwendungsfall bzw. einer zu unterstützenden Tätigkeit auch Quellen für Anforderungen an die Exoskelett-Entwicklung identifiziert sein. Anwendungsfallspezifische Bewegungen und technische Funktionen sowie deren Zusammenhänge müssen beschrieben werden. Ziel dieses Schrittes ist es, variantentreibende Bauteilmerkmale zu identifizieren.

Im zweiten Schritt, dem *Abstrahieren*, werden die Variantentreiber analysiert und die funktionalen und gestalterischen Zusammenhänge erkannt. An dieser Stelle kommen Methoden zum Aufbau von Funktions- und Produktstrukturen zum Einsatz. Aufgrund der Begrenztheit der menschlichen Bewegungen und damit einhergehend auch der gekoppelten technischen Funktionen soll z.B. eine Referenzfunktionsstruktur aufgebaut werden, die in eine funktionale Architektur überführt wird. Weitere Werkzeuge zur Analyse des Funktion-Gestalt-Zusammenhangs und dem Aufbau zugehöriger Morphologien auf der Ebene der Wirkprinzipien bilden zum Beispiel der Contact & Channel Approach (vgl. [7]).

Aus den gesammelten, analysierten und verknüpften Informationen wird im dritten Schritt – *Aufbauen* – die Logik und die Struktur des Baukastens erarbeitet. Der Baukasten beinhaltet damit sowohl abstrahierte, lösungsneutral funktionale als auch gestalterische Elemente, um eine effiziente individualisierte Konzeptentwicklung von Exoskeletten zu ermöglichen. Letztlich kann daraus die Vorgehensbeschreibung/Methodik für die Konzeptentwicklung individualisierter Lösungen für den Massenmarkt abgeleitet werden.

### Literatur

- [1] **Gull**, Muhammad Ahsan; Bai, Shaoping; Bak: *A Review on Design of Upper Limb Exoskeletons*. in *Robotics*, Jg. 9, Nr. 1, 2020 – doi: 10.3390/robotics9010016.
- [2] **Bostelman**, Roger; Messina, Elena; Fofou, Sebti: *Cross-industry standard test method developments: from manufacturing to wearable robots*. in *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, Jg. 18, Nr. 10, S. 1447–1457, 2017 – doi: 10.1631/FITEE.1601316
- [3] Kuo, Chia-Chen; Kung, Hui-Yi; Wu, Hsin-Chieh; Wang, Mao-Jiun: *Developing a hand sizing system for a hand exoskeleton device based on the Kansei Engineering method*. in *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2020, – doi: 10.1007/s12652-020-02354-8.
- [4] **Baniqued**, Paul Dominick; Baldovino, Renann; Bugtai, Nilo: *Design considerations in manufacturing cost-effective robotic exoskeletons for upper extremity rehabilitation*. in *2015 International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*, Cebu City, Philippines, 2015, S. 1–5.
- [5] **Hansen**, Clint; Gosselin, Florian; Ben Mansour, Khalil; Devos, Pierre; Marin, Frederic: *Design-validation of a hand exoskeleton using musculoskeletal modelling*. in *Applied Ergonomics*, Jg. 68, S. 283–288, 2018, – doi: 10.1016/j.apergo.2017.11.015.
- [6] **Feldhusen**, Jörg; Grote, Karl-Heinrich (Hg.): *Pahl/Beitz Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 8. Aufl. Berlin – Heidelberg: Springer Vieweg, 2013. ISBN 978-3-642-29568-3
- [7] **Drees**, Tobias; Pluhnau, Robin; Nagarajah, Arun: *Konzeptionierung einer Methodik zur effizienten Entwicklung von Exoskeletten*. in *18. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik 2020: Nachhaltige Produktentwicklung: KT 2020*, B. Corves et al., Hg., 2020, S. 187–198.

# Automatisierte Identifikation von Formeln und deren Bestandteilen in Normendokumenten

**Janosch Luttmer\*, Dominik Ehring, Arun Nagarajah**

Institut für Produkt Engineering, Universität Duisburg-Essen

Lotharstr. 1, 47057 Duisburg

Email: janosch.luttmer@uni-due.de; Internet: <https://www.uni-due.de/pep/>

**Inhalt:** Normen nehmen in der Produktentwicklung eine bedeutende Rolle ein, jedoch ist die heutige Arbeit mit Normen entgegen einem industrieweiten Trend zur stetigen Digitalisierung durch einen hohen manuellen Arbeitsanteil charakterisiert. Somit liegt der Fokus der Normungsinstitute auf der Publikation ihrer Dokumente außerhalb der üblichen, auf den Menschen als Lesenden zugeschnittenen Formate sowie der kontextsensitiven und zielgerichteten Bereitstellung von Informationen aus Normen. Als Grundlagentechnologie dient dabei das XML-Format. Ein Beispiel für die zielgerichtete Bereitstellung von Informationen aus Normen ist die Arbeit mit Formeln. Formeln bieten den Vorteil eines hohen Grads der Formalisierung und Eindeutigkeit, wobei zu beachten ist, dass zur semantisch eindeutigen Beschreibung der Formel nicht nur die mathematische Gleichung, sondern auch weitere Bestandteile beitragen. Während die Identifikation und Extraktion der mathematischen Gleichung in vorherigen Arbeiten bewiesen werden konnte, beschäftigt sich der im vorliegenden Beitrag beschriebene Forschungsansatz mit der automatisierten Identifikation der weiteren Formelbestandteile. Es werden auf Basis eines zuvor entwickelnden Wissensbausteins „Formel“ zum einen regelbasierte Ansätze unter Berücksichtigung von Auszeichnungselementen in XML-Normen und zum anderen Methoden des Text Minings und Natural Language Processings untersucht.

**Stichwörter:** Digitale Normen, Informationsextraktion, Text Mining, Formelbaustein.

## 1 Motivation und Problemstellung

Normen nehmen in der Produktentwicklung eine bedeutende Rolle ein, da sie durch die Vereinheitlichung von Prozessen, Produkten und Verfahren die Unternehmen beim Einhalten von Anforderungen, beim Senken von Kosten und insbesondere bei der Kommunikation zwischen Kunden und Herstellern unterstützen. Entgegen einem industrieweiten Trend zur stetigen Digitalisierung der Tätigkeiten ist die heutige Arbeit mit Normen durch einen hohen manuellen Arbeitsanteil charakterisiert. Hierbei müssen die Beschäftigten zuerst die für sie relevanten Normendokumente suchen, lesen und verstehen, um anschließend die notwendigen Informationen in unternehmensspezifische Prozesse und Tools zu überführen. Vor dem Hintergrund der fortschreitenden Digitalisierung haben die Normungsinstitute wie DIN oder ISO somit wachsendes Interesse, ihre Inhalte außerhalb der auf den Menschen als Lesenden zugeschnittenen Formate zu publizieren und die in den Normen enthaltenen Informationen kontextsensitiv und zielgerichtet bereitzustellen. [1, 2] Als Grundlagentechnologie soll hierbei das XML-Format dienen, welches bereits im Jahr 2018 für den gesamten Normenbestand von DIN umgesetzt wurde [3].

Ein Beispiel für die zielgerichtete Bereitstellung von Informationen aus Normen ist die Arbeit mit Formeln, welche den Vorteil eines hohen Grads der Formalisierung und Eindeutigkeit besitzen [1]. Während jedoch die mathematische Gleichung aufgrund der Auszeichnung in XML automatisch identifizierbar ist, sind die weiteren Bestandteile zur semantisch eindeutigen Beschreibung einer Formel bisher nicht explizit gekennzeichnet. Ziel der Arbeit ist somit die Entwicklung von Automatisierungsansätzen zur Identifikation von Formeln und deren Bestandteilen.

## 2 Stand der Wissenschaft

Auf Basis einer von [4] entwickelten Methode zur Überführung von Normeninhalten in eine maschinenausführbare Form wurde in [5] die automatische Extraktion, Modellierung, Fusion und Speicherung sowie Bereitstellung von Formeln belegt. Es sei jedoch darauf verwiesen, dass es sich lediglich um die Betrachtung der mathematischen Gleichung handelt.

Um Formeln semantisch eindeutig beschreiben zu können, müssen weitere Bestandteile inkludiert werden, die dem tieferen Verständnis dienen und in ihrer Aggregation als Wissensbaustein „Formel“ bezeichnet werden. Eine in diesem Zusammenhang durchgeführte Studie mit ca. 400 Normendokumenten lässt schlussfolgern, dass dies zum einen Bestandteile der Formelbeschreibung selbst wie z.B. Gleichung, Randbedingung und Verweise und zum anderen die Beschreibung der in der Formel angewandten Parameter sind. Letztere beinhaltet wiederum Elemente wie die Symbolerklärung oder Einschränkungen des Parameterwertes (siehe Abbildung 1). [6]

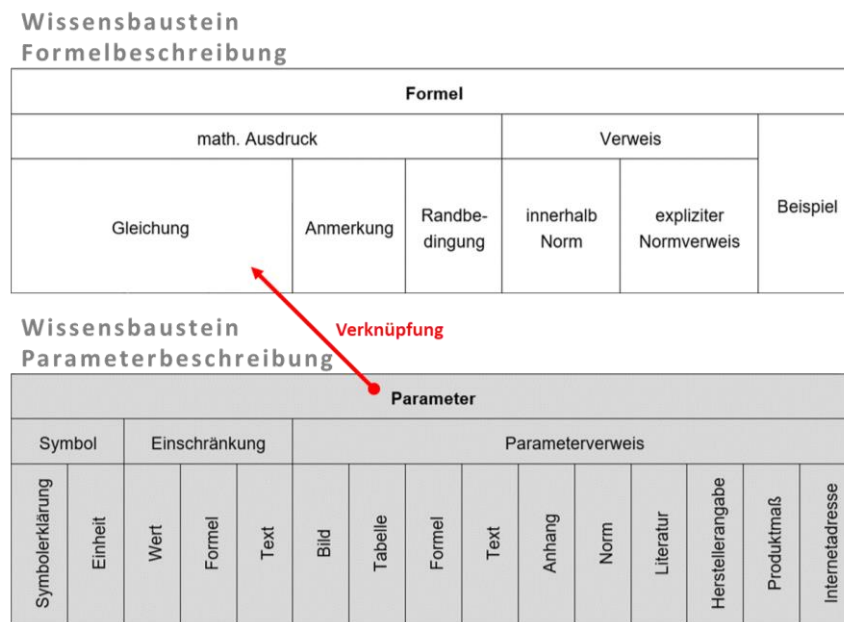


Abbildung 1: Darstellung des Wissensbausteins "Formel" [6].

### 3 Lösungsansatz

Der in Abbildung 1 dargestellte Wissensbaustein „Formel“ dient als Ausgangspunkt für die weiteren Betrachtungen. In diesem Zusammenhang werden die Bestandteile zunächst separat hinsichtlich ihrer Relevanz zum Verständnis der Formel analysiert, um etwaige Reduzierungen an dem Baustein vornehmen zu können. Anschließend wird für jeden Bestandteil das Potential zur automatisierten Identifikation in XML-Normen bewertet. Auf Basis der Potentialanalyse werden Automatisierungsansätze zur Identifikation der Bestandteile entwickelt. Hierzu werden zum einen regelbasierte Ansätze (z.B. durch die Identifikation von Auszeichnungselementen in XML-Normen, der Syntax oder typischen Gestaltungsmustern) berücksichtigt. Darüber hinaus werden Ansätze aus dem Bereich des Text Mining und Natural Language Processing wie die Nutzung von Klassifikationsalgorithmen oder Sprachmodellen zur Verarbeitung und Analyse von Texten untersucht.

### Literatur

- [1] Loibl, A.; Manoharan, T.; Nagarajah, A.: Procedure for the transfer of standards into machine-actionability. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol. 14 No. 2, 2020.
- [2] SAE International: Digital Standards Systems – An Integrated Approach to Engineering Standards Usage, 2020.
- [3] Schuch, W.; Wischhöfer, C.: Abschluss des Projekts XML100. DIN Mitteilungen, 2018.
- [4] Ehring, D.; Luttmer, J.; Pluhnau, R.; Nagarajah, A.: SMART standards – concept for the automated transfer of standard contents into a machine-actionable form. Procedia CIRP, Vol. 100, 2021.
- [5] Luttmer, J.; Ehring, D.; Pluhnau, R.; Nagarajah, A.: Representation and application of digital standards using knowledge graphs. 23<sup>rd</sup> International Conference on Engineering Design, 2021.
- [6] Kocks, C.; Luttmer, J.: Entwicklung und Validierung einer Vorgehensweise zur Beschreibung von Formeln in Normendokumenten. Bachelorarbeit, 2021.

## Modulares Konzept einer faltbaren Maschineneinhausung

Judith Ursula Merz\*<sup>1</sup>, Kevin Moreno Gata<sup>3</sup>, Malte Kaiser<sup>1</sup>, Stefan Stürmer<sup>2</sup>, Franziska Wieja<sup>2</sup>, Juan Musto<sup>3</sup>, Alex Seiter<sup>3</sup>, Martin Trautz<sup>3</sup>, Georg Jacobs<sup>2</sup>, Mathias Hüsing<sup>1</sup>, Burkhard Corves<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Getriebetechnik, Maschinendynamik und Robotik, RWTH Aachen  
Eilfschornsteinstraße 18, 52062 Aachen

[merz, kaiser, huesing, corves]@igmr.rwth-aachen.de; www.igmr.rwth-aachen.de/

<sup>2</sup>Lehrstuhl und Institut für Maschinenelemente und Systementwicklung, RWTH Aachen  
Eilfschornsteinstraße 18, 52062 Aachen

[stefan.stürmer, franziska.wieja, georg.jacobs]@imse.rwth-aachen.de; www.imse.rwth-aachen.de

<sup>3</sup>Lehrstuhl für Tragkonstruktionen, RWTH Aachen  
Schinkelstraße 1, 52062 Aachen

[morenogata, seiter, musto, trautz]@trako.arch.rwth-aachen.de; https://trako.arch.rwth-aachen.de

**Stichwörter:** *Produktentwicklung, technische Faltung, Wandelbarkeit.*

### 1 Ausgangssituation und Konzeptvorstellung

Intelligente und flexible Raumnutzungskonzepte, Ästhetik und Design, sowie Leichtbau und Miniaturisierung setzen auch in industrienahen Branchen neue Fokusse in der Gestaltung von Produkten. In diesem Zusammenhang bietet das Themenfeld der technischen, wandelbaren Faltungen – inspiriert durch die Strukturen und Muster der Origamikunst – neue Ideen und Möglichkeiten. Die Anwendungsbeispiele sind vielfältig: faltbare Schiffscontainer [1], faltbare Fassadenelemente zur Beschattung [2], faltbare, temporäre Gebäude wie Verkaufsstände [3], eine wandelbare Bühnenüberdachung [4], eine faltbare Solaranlage für die Weltraumanwendung [5], oder ein Origami Habitat [6], als faltbaren Unterschlupf für unterwegs, wurden entwickelt.

Parallel zur Origami-Papierkunst sind die Systeme der technischen, wandelbaren Faltungen aus plattenförmigen Elementen verbunden durch linienförmige Gelenke aufgebaut. Die Wandelbarkeit des Systems soll dabei vor allem durch die die Bewegung übertragenden Gelenke erzeugt werden. Plattendicke und Materialeigenschaften wie die Biegesteifigkeit haben einen großen Einfluss auf die Funktionalität und ziehen Zielkonflikte zwischen möglichen Faltwinkel und Systemsteifigkeit nach sich. Zusätzlich maßgebliche Faktoren der technischen Faltungen sind die Umgebungsanbindung, z.B. über ein Gestell, und die Antriebsintegration. Dies steht im Unterschied zur Origami-Papierkunst, ähnelt aber konventionellen Bewegungseinrichtungen wie Getrieben. Die Auslegung von Faltungen ist dabei aufgrund von komplexer kinematischer und dynamischer Abhängigkeiten herausfordernd [7]. Die technische Hürde für die Innovation Faltung ist hoch: Denn realisierte, wandelbare Faltstrukturen sind sowohl im Bauwesen als auch im Maschinenbau selten. Sie sind deshalb nicht im Bewusstsein potenzieller Auftraggeber, Planer und Nutzer verankert. Es haben sich wesentlich nur solche Anwendungen mit Faltlösungen als geeignet herausgestellt, die bereits eine Verwendung von Flächen implizieren und wobei die Flächen unverzichtbar für die Gesamtfunktion sind (im Unterschied z.B. zu bespannten Getrieben).

Im Rahmen des DFG geförderten Projektes Entwicklung und Entwurf wandelbarer Faltungen (E<sup>2</sup>F) ist eine beispielhafte Faltanwendung entstanden. Diese ergänzt die in [8] gezeigten Faltbeispiele um eine großmaßstäbliche Anwendung und wird interdisziplinär in einem Team aus Architekten, Bauingenieuren und Maschinenbauern bis ins Produktprototypenstadium entwickelt und konstruiert. Eine Aufgabe der fertigenden Industrie, die damit adressiert wird und die im Maschinenbau häufig auftritt, ist der Schutz vor mechanischen, akustischen, optischen oder umweltbedingten Einflüssen. Das ausgewählte Szenario sieht daher eine wandelbare Falteinhausung einer Maschine – in diesem Fall eines Industrieroboters – vor. Die Hülle eignet sich sowohl für den Inneneinsatz in Werkshallen, als auch für den Außeneinsatz und bietet zum einen Schutz vor der Maschine selbst, im Weiteren

aber auch gegen Umwelteinflüsse oder Diebstahl. Das System ist modular aufgebaut: Ein Modul besteht aus sechs Flächen, wobei nur zwei einfache Flächenformen (Dreieck und Viereck) verwendet werden. Das System lässt sich beliebig in Länge und Breite, sowie in der Höhe für den Anwendungsfall skalieren. So können individuelle Lösungen für unterschiedlichste Maschinen erstellt werden. Moderne, sogar schwer brennbare Verbundmaterialien wurden für die Flächen und Gelenke ausgewählt, sodass auch thermisch-emittierende Maschinen eingehaust werden können. Zudem ist die wandelbare Faltung kompaktier- und somit verstau- und lagerbar, sowie einfach zu (de)montieren. Bild 1 zeigt eine Systemskizze.



Bild 1: Konzeptskizze der wandelbaren Maschineneinhausung am Beispiel eines Industrieroboters (Kuka Roboter Modell: KR 10 R1420)

## Literatur

- [1] Konings, Rob; Thijs, Remmelt: Foldable Containers: a New Perspective on Reducing Container-Repositioning Costs, In: European journal of transport and infrastructure research EJTI, 1 (4), 2001, 10.18757/ejtir.2001.1.4.3503
- [2] Architect Team Aedas. "Al Bahar Towers Responsive Facade." In ArchDaily by Karen Cilento, 2012.
- [3] Architect Team Make. "Canary Wharf Kiosks", 2014, <https://www.makearchitects.com/projects/canary-wharf-kiosks/> zuletzt aufgerufen am 18.06.2021
- [4] Künstler, A.; Trautz, M.: „Wandelbare Faltungen aus biegesteifen Faltelementen“; In: Bautechnik, Heft 2-2011, S. 86-93
- [5] Zirbel, S. A.; Trease, B. P.; Thomson, M. W.; Lang, R. J., Magleby, S. P.; Howell, L. H.: "HanaFlex: a large solar array for space applications"; In: Proceedings Volume 9467, Micro- and Nanotechnology Sensors, Systems, and Applications VII; 94671C (2015); <https://doi.org/10.1117/12.2177730>
- [6] Architect Team Saga Space Architects: "The LUNARK habitat", 2021 <https://saga.dk/projects/lunark/habitat> zuletzt aufgerufen am 18.06.2021
- [7] Paris, J.; Merz, J.; Buffart, H.; Hoffmann, S.; Siebrecht, J.; Weigel, C.; Hüsing, M.; Trautz, M.; Corves, B.: "Kinematic and Kinetostatic Classification for Motion-Task-Oriented Synthesis of Folding Mechanisms"; In: Seventh International Meeting on Origami in Science, Mathematics, and Education, Oxford, 2018
- [8] Weigel, C.; Jacobs, G.; Katzwinkel, T.; Siebrecht, J.; Merz, J.; Paris, J.; Corves, B.; Buffart, H.; Hoffmann, S.; Trautz, M.: „Technische Faltung: ein praktischer Entwicklungsansatz“, In: 16. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik, 2018

# Ganzheitliche Getriebeauslegung mit der Software Mechanism Developer (MechDev)

**Mathias Hüsing\*, Vincent Bruenjes, Mario Müller,  
Agnes Beckermann, Burkhard Corves**

Institut für Getriebetechnik, Maschinendynamik und Robotik, RWTH Aachen University  
Eilfschornsteinstraße 18, 52062 Aachen  
Email: huesing@igmr.rwth-aachen.de; Internet: <https://www.igmr.rwth-aachen.de>

**Stichwörter:** *Getriebeanalyse und Synthese, Kurvengetriebe, gesteuerte Antriebe, Simulationen in der virtuellen Produktentwicklung.*

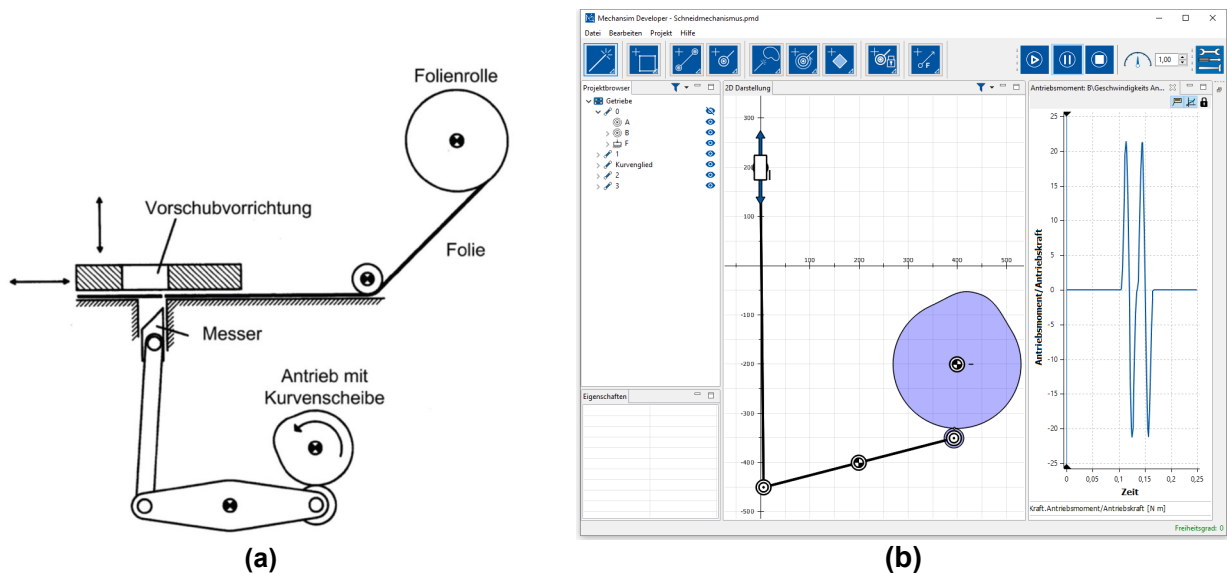
## 1 Kurzfassung

Das Institut für Getriebetechnik, Maschinendynamik und Robotik der RWTH Aachen University entwickelt aktuell die Software „Mechanism Developer“ (kurz MechDev) zur Analyse und Synthese ebener Manipulatoren mit einem sowie mehreren Freiheitsgraden. Fokus der Entwicklung ist die Schaffung eines leistungsfähigen Tools für Konstrukteure. Neben seinem Leistungsumfang zeichnet sich das Tool durch eine äußerst intuitive Bedienung. Bei der Entwicklung dieser Software ging es eigentlich nicht darum, was berechnet, dargestellt, eingegeben und verändert werden kann, sondern eher um das „wie“. Dadurch soll die Benutzung auch denjenigen zugänglich gemacht werden, die keinen tieferen getriebetechnischen Hintergrund besitzen.

In der Vergangenheit wurden bereits unterschiedliche Beiträge zur kinematischen Berechnung ebener Koppelgetriebe [2; 5] sowie der Synthese und Analyse von Kurvengetrieben [1; 3; 4; 7; 8] im Zusammenhang mit MechDev veröffentlicht. Der vorliegende Beitrag soll nun eine Anwendung der Software in den Vordergrund stellen. Dazu wird zunächst der aktuelle Funktionsumfang von MechDev zusammengefasst. Im Anschluss werden diese Funktionen anhand eines Beispielgetriebes validiert.

Der aktuelle Funktionsumfang umfasst die kinematische Analyse ebener Kurbelgetriebe bestehend aus Dreh- und Schubgelenken sowie die kinetostatische Analyse zur Berechnung der Antriebsmomente aufgrund von Massenkräften, externen Kräften und Feder-Dämpfer-Elementen. Eine Berücksichtigung von Gelenkreibung ist dabei ebenfalls möglich. Darüber hinaus bietet MechDev die Funktion, durch Vorgabe von Bewegungen auch komplexe Kurvengetriebe zu synthetisieren bzw. anhand einer importierten Kurvenscheibengeometrie das Kurvengetriebe zu analysieren. Die Bewegungsvorgabe, welche die Grundlage der Synthese von Kurvengetrieben darstellt, kann ebenso zum Bewegungsdesign von Servomotoren verwendet werden.

Die zuvor genannten Funktionen sowie weitere Features werden anhand eines Anwendungsfalls präsentiert. Der Anwendungsfall ist dabei das in [6] enthaltene und in Bild 1 (a) dargestellte Schneidgetriebe. Durch die unterschiedlichen Möglichkeiten der Interaktion mit der in Bild 1 (b) dargestellten Oberfläche von MechDev, ist es möglich, das Getriebe interaktiv zu optimieren. Der Beitrag beinhaltet den kompletten Prozess der Auslegung von der Definition des Getriebes in MechDev bis hin zur interaktiven Optimierung des Antriebsmoments.



**Bild 1:** Schneidgetriebe aus [6] (a) und Screenshot von der Software MechDev (b)

## 2 Literatur

- [1] Beckermann, A.; Müller, M.; Hüsing, M.; Corves, B., Analytical Kinematic Analysis of Cam Mechanisms in MechDev, In: Uhl, T. (Hrsg.), Advances in mechanism and machine science, Cham (Switzerland): Springer Nature Switzerland AG, 2019, ISBN 978-3-030-20130-2, S. 429–438.
- [2] Corves, B.; Huesing, M.; Müller, M., A Model-View-Controller based Software Approach for the Interactive Design of Planar Mechanisms, In: Zhang, X.; Wang, N.; Huang, Y. (Hrsg.), IFToMM Asian Mechanism and Machine Science, Bengaluru, India, 2018.
- [3] Corves, B.; Huesing, M.; Müller, M.; Beckermann, A., Analyse von Kurvengetrieben in MechDev, In: Gössner, S. (Hrsg.), Tagungsband 13. Kolloquium Getriebetechnik, Fachhochschule Dortmund, 18. - 20. September 2019, Berlin: Logos Berlin, 2018, ISBN 383254979X.
- [4] Müller, M.; Hüsing, M.; Beckermann, A.; Corves, B., Linkage and Cam Design with Mechanism Developer (MechDev), In: 25th Jc-IFToMM Symposium, Kanagawa, Japan, 2019.
- [5] Müller, M.; Mannheim, T.-P.; Hüsing, M.; Corves, B., MechDev – A new Software for Developing Planar Mechanisms, In: Kecskeméthy, A. et al. (Hrsg.), Third Conference on Interdisciplinary Applications in Kinematics, Lima, Peru, 2018, ISBN 978-3-030-16422-5, S. 151–158.
- [6] VDI 2142, Auslegung ebener Kurvengetriebe - Praxisbeispiele, Norm, Verein Deutscher Ingenieure, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2013.
- [7] Mannheim, T., Kombination analytischer und numerischer Berechnungsmethoden als Grundlage eines Softwaresystems zum Getriebeentwurf, Dissertation, RWTH Aachen University, 2015
- [8] Müller, M., Künstliche Intelligenz zur Struktur- und Maßsynthese ebener Führungs- und Übertragungsgetriebe, Dissertation, RWTH Aachen University, 2020

## **Gegenüberstellung von Stage-Gate, agilen und hybriden Managementansätzen in der Produktentwicklung**

**Lisa Rößler\*, Kilian Gericke**

Lehrstuhl für Produktentwicklung, Universität Rostock  
Albert-Einstein-Str. 2, 18059 Rostock

\*Korrespondenz: [lisa.roessler@uni-rostock.de](mailto:lisa.roessler@uni-rostock.de); Internet: <https://www.pe.uni-rostock.de/>

Die Entwicklung neuer Produkte ist für viele Unternehmen von besonderer Bedeutung, da sie vorrangig zu deren Erfolg beitragen und ihre Präsenz am Markt sicherstellen [1].

In einen Produktentwicklungsprozess sind verschiedene Personen involviert, die eine Vielzahl von Aktivitäten ausführen und durch das Erzielen von Ergebnissen wiederum neue Aktivitäten bedingen, die koordiniert und organisiert werden müssen. Entwicklungsprozesse sind in der Regel sehr umfangreich, komplex und einzigartig und sind aufgrund dessen schwer zu managen [2]. Um das Management zu unterstützen, existieren verschiedene Ansätze, die Methoden, Hilfsmittel und Anregungen enthalten [3]. Das Ziel solcher Konzepte besteht darin, die Arbeit effizienter zu gestalten, Kreativität zu rationalisieren, die Planung zu erleichtern und die Kommunikation zwischen Disziplinen zu verbessern [4].

Eines der am weitesten verbreiteten Konzepte ist das Stage-Gate-System, dessen Vorgehensweise bereits in verschiedenen Prozessmodellen umgesetzt wurde [5]. Es handelt sich dabei um ein problemorientiertes System [6], das sich durch definierte Aufgaben und vorgegebene Ergebnisse auszeichnet [7]. Das Stage-Gate-System verläuft linear und besteht, wie der Name sagt, aus einem Satz von „Stages“, also Phasen, in denen Aktivitäten ausgeführt werden und „Gates“, wo Entscheidungen getroffen werden. Die Darstellung erfolgt häufig in der Form eines Netzwerks [2, 5]. Diese Modelle werden bewusst abstrakt gestaltet, damit sie in verschiedenen Kontexten Anwendung finden und müssen an die jeweilige Organisation angepasst und für ein individuelles Projekt adaptiert werden [8]. Die Entwicklung von Produkten in der Form eines Stage-Gate-Prozesses beginnt mit einer detaillierten Planung und einer Sammlung von Informationen, um daraus vor Projektbeginn eine ausführliche Liste von Anforderungen ableiten zu können [4, 9]. Dies ermöglicht eine vorausschauende Planung weiterer Entwicklungsschritte, Stabilität und Sicherheit [9]. Der Fokus liegt dabei auf einer konstanten Einengung des Konstruktionsraumes und dem frühzeitigen Fällen von Entscheidungen [8]. Die „Gates“ ermöglichen eine Beurteilung des Projekts und bieten die Gelegenheit, abzuwägen, ob ein Projekt fortgeführt oder abgebrochen werden soll [10]. Eine solche stringente, methodische und strukturierte Vorgehensweise hat jedoch den Nachteil, dass eine Berücksichtigung von wechselnden Anforderungen nur langsam stattfinden kann, was wiederum zu Kosten- und Terminüberschreitungen führt [8, 9]. Der abstrakte Charakter solcher Modelle erfordert darüber hinaus Interpretation und Adaption, was zu Missverständnissen führen kann, da involvierte Personen den Prozess auf unterschiedliche Weise verstehen können. Die produktorientierte Herangehensweise vernachlässigt Aspekte des Projektmanagements und bietet nur wenige Hilfsmittel für die Ausführung und Konstruktion des Produkts [6].

Aufgrund der genannten Aspekte eignen sich Stage-Gate-Prozesse in erster Linie für die Entwicklung von Produkten, deren Anforderungen von Beginn an klar und beständig sind, weil der Markt stabil und voraussehbar bleibt oder von Produkten, die in ähnlicher Weise bereits produziert wurden und bei denen detaillierte Spezifikationen vorliegen [11, 12].

Der Trend am Markt geht jedoch hin zu immer komplexeren Produkten, bedingt durch die Integration von Elektronik und Sensorik und die Weiterentwicklung des „Internet of Things“, was dazu führt, dass unterschiedliche Disziplinen zusammenarbeiten müssen [3, 13]. Ein Managementansatz, der eine Berücksichtigung wechselnder Marktanforderungen und Nutzerbedürfnisse ermöglicht, verzeichnet in der Softwareindustrie große Erfolge: das agile Management [11]. Agiles Management zeichnet sich durch eine iterative, schrittweise Vorgehensweise aus, die auf der Zusammenarbeit

und intensiven Kommunikation mit Auftraggebern und Kunden beruht [9]. Eines der verbreitetsten agilen Methoden ist „Scrum“. Das Prinzip dieses Ansatzes beruht auf der Durchführung von „Sprints“ und „Scrum-Meetings“. Ein „Sprint“ dauert nur wenige Wochen, während derer Aktivitäten ausgeführt und Ergebnisse erzielt werden. Jeder „Sprint“ beginnt mit einer Definition von Anforderungen und Zielen für den jeweiligen „Sprint“ und endet mit der Präsentation eines Ergebnisses [14]. Die intensive Zusammenarbeit im Team und die gemeinsame Entwicklung des Produkts mit den Nutzern bewirkt ein verbessertes Verständnis und eine Priorisierung der Ziele, Aufgaben und Anforderungen, wodurch die Entwicklungszeit verkürzt werden kann. Die iterative Herangehensweise ermöglicht darüber hinaus Flexibilität und die schnelle Umsetzung von Änderungen. Dies führt dazu, dass die Produkte schneller am Markt erscheinen, die Produktivität und die Kundenzufriedenheit steigen [9, 15]. Eine erfolgreiche Implementierung von agilen Methoden in einem Unternehmen erfordert jedoch Training und eine fundamentale Veränderung der Arbeitsweise [11, 12]. Durch die kurzfristige Planung der „Sprints“ ist der Prozess nicht von Anfang an ersichtlich und das Management hat geringe Chancen zu entscheiden, ob ein Projekt überhaupt umsetzbar ist [10, 15]. Eine weitere Herausforderung besteht in der Bereitstellung von Ergebnissen nach Beendigung eines „Sprints“, die durch Nutzer bewertet werden können [16]. Während sich Zeilen eines Softwarecodes gut in Inkremente unterteilen lassen, die anschließend als funktionierendes Produkt präsentiert werden können, bieten mechanische Geräte weniger Spielraum für eine Aufteilung in funktionsfähige Einzelelemente. Aufgrund der genannten Aspekte lassen sich agile Managementansätze nicht ohne Weiteres auf die Entwicklung mechanischer Produkte übertragen [17].

Eine vielversprechende Lösungsvariante besteht in einer Hybridversion zwischen agilen und Stage-Gate-Prozessen. Der Wunsch besteht darin, die Vorzüge beider Ansätze in einem zu vereinen. Dabei ermöglicht das Stage-Gate-System Fokus, Struktur und Kontrolle, während die agile Herangehensweise innerhalb einer Phase Schnelligkeit, Flexibilität und Produktivität begünstigt [7]. Unternehmen, die bereits eine Hybridvariante aus Stage-Gate und Agile anwenden, konnten eine 30%ige Verkürzung der Zeit bis zum Markteintritt und eine 30%ige Steigerung der Produktivität sowie eine Reduzierung von Nachbearbeitungen um 20 % verzeichnen [7, 16]. Eine große Herausforderung besteht jedoch darin, die widersprüchlichen Betrachtungsweisen der beiden Prozessmodelle zu überwinden, da der fließenden die starre Produktdefinition und der kurzfristigen die langfristige Planung gegenüberstehen [7].

Abschließend ist zu bemerken, dass als eine der Hauptursachen für Probleme, die in Stage-Gate-Prozessen entstehen, ein unzureichendes Verständnis der Prozesse benannt wird [2, 6, 18], wohingegen Konflikte mit agilen Methoden häufig damit erklärt werden, dass die Beteiligten agile Methoden anwenden, sie jedoch nicht ausleben [19].

Nun gilt es herauszufinden, ob eine Hybridvariante die Ursachen der oben genannten Probleme beheben kann.

Weiterhin ist anzumerken, dass Vertreter des agilen Ansatzes großen Wert auf Teamarbeit legen und die Meinung vertreten, dass Teams am besten funktionieren, wenn sie sich selbstständig organisieren und Probleme gemeinsam lösen [11]. Da dies im agilen Management einen entscheidenden Faktor darstellt, ist zu prüfen, inwieweit dies in hybriden Modellen bisher umgesetzt wurde und inwiefern es relevant ist.

Langfristig besteht das Ziel darin, herauszufinden, ob die aufgeführten Managementansätze durch eine Anwendung unter verschiedenen Bedingungen koexistieren können oder ob die immer schnellere und komplexere Marktsituation ein gänzlich neues Konzept erfordert.

**Stichwörter:** *Produktentwicklung, Stage-Gate, Agile, Agile-Stage-Gate Hybrid, Projektmanagement, Prozessoptimierung*

## Literatur

- [1] B. Bender and S. Marion, "Dimensions of product development success," *Proc. Int. Des. Conf. Des.*, vol. DS 84, pp. 1455–1464, 2016.
- [2] T. R. Browning, "The many views of a process: Toward a process architecture framework for product development processes," *Syst. Eng.*, vol. 12, no. 1, pp. 69–90, Mar. 2009, doi: 10.1002/sys.20109.
- [3] L. Blessing, *Comparison of design models proposed in prescriptive literature*, no. February 1995. 1995.
- [4] B. Eisenbart, K. Gericke, and L. Blessing, "A framework for comparing design modelling approaches across disciplines," in *ICED 11 - 18th International Conference on Engineering Design - Impacting Society Through Engineering Design*, 2011, vol. 2.
- [5] R. G. Cooper, "What's next? After stage-gate," *Res. Technol. Manag.*, vol. 57, no. 1, 2014, doi: 10.5437/08956308X5606963.
- [6] K. Gericke and L. Blessing, "Comparisons of design methodologies and process models across disciplines: A literature review," in *ICED 11 - 18th International Conference on Engineering Design - Impacting Society Through Engineering Design*, 2011, vol. 1.
- [7] R. G. Cooper and A. F. Sommer, "Agile–Stage-Gate for Manufacturers," *Res. Manag.*, vol. 61, no. 2, 2018, doi: 10.1080/08956308.2018.1421380.
- [8] D. C. Wynn and P. J. Clarkson, "Process models in design and development," *Res. Eng. Des.*, vol. 29, no. 2, 2018, doi: 10.1007/s00163-017-0262-7.
- [9] J. Cho, "a Hybrid Software Development Method for Large-Scale Projects: Rational Unified Process With Scrum," *Issues Inf. Syst.*, pp. 340–348, 2009, doi: 10.48009/2\_iis\_2009\_340-348.
- [10] R. G. Cooper and A. F. Sommer, "Agile–Stage-Gate for Manufacturers - Changing the Way New Products Are Developed," *Res. Manag.*, vol. 61, no. 2, 2018.
- [11] D. K. Rigby, J. Sutherland, and H. Takeuchi, "Embracing agile," *Harvard Business Review*, vol. 2016, no. May. 2016.
- [12] A. F. Sommer, "Agile Transformation at LEGO Group," *Res. Manag.*, vol. 62, no. 5, 2019, doi: 10.1080/08956308.2019.1638486.
- [13] K. Gericke, M. Meißner, and K. Paetzold, "Understanding the context of product development," in *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, 2013, vol. 3 DS75-03.
- [14] H. F. Cervone, "Understanding agile project management methods using Scrum," *OCLC Systems and Services*, vol. 27, no. 1. 2011, doi: 10.1108/10650751111106528.
- [15] T. Gustavsson, "Benefits of agile project management in a non-software development context - A literature review," *Proj. Manag. Dev. – Pract. Perspect. Fifth Int. Sci. Conf. Proj. Manag. Balt. Contries April 14-15, Riga, Univ. Latv.*, no. April, 2016.
- [16] R. G. Cooper, "Agile-stage-gate hybrids," *Res. Technol. Manag.*, vol. 59, no. 1, 2016, doi: 10.1080/08956308.2016.1117317.
- [17] R. G. Cooper and A. F. Sommer, "The Agile–Stage-Gate Hybrid Model: A Promising New Approach and a New Research Opportunity," *J. Prod. Innov. Manag.*, vol. 33, no. 5, 2016, doi: 10.1111/jpim.12314.
- [18] B. Becker, "Re-Thinking the Stage-Gate Process - A Reply to the Critics," *Manag. Roundtable*, 2006.
- [19] D. K. Rigby, J. Sutherland, and A. Noble, "Agile at scale," *Harv. Bus. Rev.*, vol. May-June 2018, 2018.

# Steigerung kundenspezifischer Produktrelevanz durch die Integration von Gamification Methoden in Produktentwicklungsprozesse

David Kessing, Manuel Löwer

Fachgebiet Produktsicherheit und Qualität, Bergische Universität Wuppertal  
Gaußstr. 20, 42119 Wuppertal

Email: david.kessing@uni-wuppertal.de; Internet: <https://www.psq.uni-wuppertal.de>

Die „Verwendung von (Video-) Spielelementen in nicht-spielerischen Umgebungen“ beschreibt die Anwendung von „Gamification“ nach Deterding. Ziel von Gamification ist zumeist die extrinsische und intrinsische Motivationssteigerung verschiedener Stakeholder durch das Einbringen videospiegelbezogener Elemente in reale Situationen (Deterding 2011).

Für die praktische Anwendung von Gamification sei nachfolgend in Abb. 1 der „How-to-gamify“-Prozess nach Morschheuser dargestellt (Morschheuser et al. 2017).

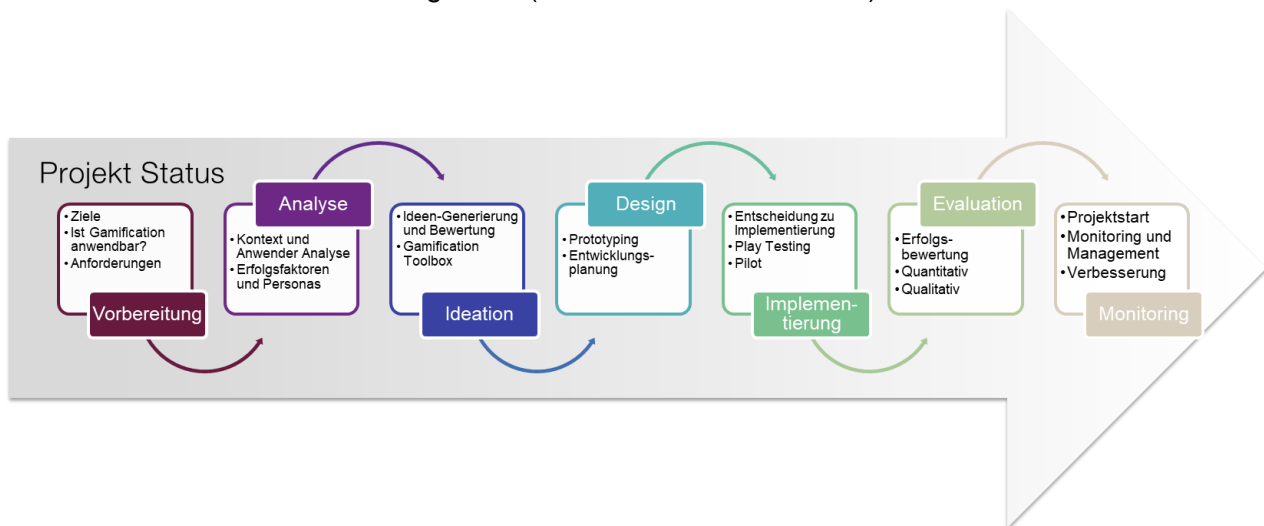


Bild 1: „How-to-Gamify“-Prozess nach Morschheuser et al.

Kern der Entwicklung sind insbesondere die Phasen Analyse, Ideation und Design:

Eine strukturierte Entwicklung von Gamification erfordert eine umfassende Analyse des nutzenden Menschen und des Nutzungsumfelds. Dabei wird die individuelle Motivation und der Nutzungsantrieb mit Gamification Frameworks ABSTRAHIERT und in Profilen visualisiert. Für die abstrahierten Probleme werden in der Ideation Phase mit Hilfe von Datenbanken und Kreativitätstechniken ALLGEMEINE LÖSUNGEN in Form von passenden Gamification Mechaniken gefunden.

Die allgemeinen Lösungen werden dann für den SPEZIELLEN ANWENDUNGSFALL designt. Die Umsetzungen sind in der Folge sehr nutzerzentriert und bieten durch die Übertragung von Ideen aus Videospiele moderne und unkonventionelle Ansätze für Produkte.



Bild 2: Abstraktions- und Fokussierungsebene von Entwicklungsprozessen

Das Vorgehen des Gamification Designs weist deutliche Parallelen zu klassischen Produktentwicklungsprozessen auf.

So finden sich neben den offensichtlich ähnlichen Phasen zu Design Thinking, sowohl in der Konstruktionsmethodik nach Koller, als auch in der TRIZ-Logik eine Abstraktions- und Fokussierungsebene (Pahl et al. 2007).

Trotz struktureller Ähnlichkeiten der Methoden aus der Gamification zu Produktentwicklungsprozessen, ist eine Integration bisher nicht Teil wissenschaftlicher Untersuchungen. Dies liegt mutmaßlich daran, dass Gamification grundsätzlich zur praktischen Anwendung in konkreten Motivations-Designs ausgelegt ist. So sind beispielsweise viele Studien vorhanden, welche sich mit der Motivationssteigerung von Teams in Scrum beschäftigen (Peripolli Souza et al. 2016). Eine Fremdverwendung der Gamification-Methoden zur Erweiterung vorhandener Prozesse ist jedoch eine *Forschungslücke*. Hier fehlt ein evaluierter Prozess zur effektiven Einbindung in die Produktentwicklung. Das Ziel dieser Forschung ist die Entwicklung und Evaluation des zuvor beschriebenen Prozesses zur Optimierung der kundenspezifischen Produktrelevanz durch eine gesteigerte Nutzerzentrierung in der Entwicklung.

Die Forschungsfrage lautet dementsprechend:

„Wie lassen sich Gamification-Methoden zur Steigerung der kundenspezifischen Produktrelevanz strukturiert in Produktentwicklungsprozesse integrieren?“

Prospektives Ziel ist die Entwicklung einer Vorgehensweise analog zur Koller-Konstruktions-systematik mit einem Prozess zur Orientierung, einem Analysewerkzeug zur Erzeugung von Gamification-Profilen, einer hinterlegten Datenbank mit Gamification-Mechaniken, einer Zuordnungslogik für individuelle Problemstellungen und einer Design-Guideline zu Umsetzung der Mechaniken in Produkte.

Ein besonderes Augenmerk liegt auf der objektiven Bewertbarkeit von Gamification Mechaniken für den entsprechenden Anwendungsfall. Auf Basis von durchgeführten Gamification Anwendungen in Wissenschaft und Praxis, wie beispielhaft in der Literaturanalyse „Does Gamification work?“ beschrieben, soll eine Datenbank mit Studien erstellt werden, welche die jeweiligen Anwendungsfälle mit den verwendeten Mechaniken und der Einfluss-/Erfolgsquote in einen Zusammenhang setzt (Hamari et al. 2014).

Anhand des durchgeführten Projekts „Gamification-Strategien zur Steigerung der Teilungsbereitschaft von positiven Covid-19 Testergebnissen über die Corona-Warn-App“ in Zusammenarbeit mit SAP und dem RKI kann die Integration von Gamification-Methoden in eine reale Produktentwicklung praktisch evaluiert werden.

## Literatur

- [1] **Deterding**, Sebastian; Dixon, Dan; Khaled, Rilla; Nacke, Lennart E.: *From Game Design Elements to Gamefulness: Defining "Gamification"*. New York, NY: ACM. 2007. Online verfügbar unter <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2181037>
- [2] **Hamari**, Juhoo; Koivisto, Jenna; Sarsa, Harri: *Does Gamification Work? -- A Literature Review of Empirical Studies on Gamification*. 2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences. 2014. pp. 3025-3034, doi: 10.1109/HICSS.2014.377.
- [3] **Morschheuser**, Benedikt; Hamari, Juhoo; Werder, Karl; Abe, Julian: *How to Gamify? A Method For Designing Gamification*. In: Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences. Hawaii International Conference on System Sciences 2017. Online verfügbar unter [https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/102729/how\\_to\\_gamify\\_2017.pdf?sequence=1](https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/102729/how_to_gamify_2017.pdf?sequence=1)
- [4] **Pahl**, Gerhard; Beitz, Wolfgang; Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich: *Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung; Methoden und Anwendung*. 7. Aufl. Berlin: Springer, 2007. – ISBN 978-3-540-34060-7
- [5] **Peripolli Souza**, Jamila; Zavan, André Ricardo; Eloise Flôr, Daniela: *Scrum Hero: Gamifying the Scrum Framework*. In: Silva da Silva T., Estácio B., Kroll J., Mantovani Fontana R. (eds) Agile Methods. WBMA 2016. Communications in Computer and Information Science, vol 680. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-55907-0\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-55907-0_12)

# Entwicklung einer methodischen Unterstützung zur Systemmodellierung mit variierenden Systemanforderungen

**Merlin Krüger, Kilian Gericke**

Lehrstuhl für Produktentwicklung, Universität Rostock

Albert-Einstein-Straße 2, 18059 Rostock

Email: merlin.krueger@uni-rostock.de; Internet: <https://www.pe.uni-rostock.de>

**Inhalt:** *In der Produktentwicklung ist der Umgang mit den Anforderungen maßgeblich für den Projekterfolg. Bisher ist es oft eine Herausforderung, die mit dem Projekt verbundenen Anforderungen über den Produktentstehungsprozess durch verschiedene Modelle hindurch kontinuierlich konkretisieren und nachverfolgen zu können. Die Konsequenzen durch Änderungen von Anforderungen lassen sich nur schwer nachvollziehen. Das folgende Projekt befasst sich mit dem Zusammenhang zwischen Anforderungsmodellierung und Funktionsmodellierung von technischen Systemen und die daran gebundene Entwicklung einer geeigneten Methode zur Modellierung über verschiedene Entwicklungszustände der Produktentwicklung.*

**Stichwörter:** *Systemmodellierung, Anforderungen, Entwicklungszustände, Integrierte Funktionsmodellierung*

In der Produktentwicklung sind Modelle ein wichtiges Mittel für Entwickler und werden für die Darstellung von Informationen sowie zur Kommunikation mit anderen Teammitgliedern verwendet. [5] Hierbei ist der Umgang mit Anforderungen und Funktionen über viele Fachbereiche in diversen Entwicklungszuständen der Produktentwicklung präsent, wie eine Übersicht über die „Behandlung von Entwicklungszuständen durch unterschiedliche Methoden in verschiedenen Fachbereichen“ nach Eisenbart [5] verdeutlicht. Für die Entwickler kommen in diesen Fachbereichen unterschiedliche Methoden und Hilfsmittel zum Einsatz. Der Austausch von Informationen zwischen den interdisziplinären Fachbereichen und den einzelnen Entwicklungszuständen wird durch diese nicht einheitliche und nicht standardisierte Verwendung von Modellen erschwert. Aus diesem Grund wird der Zusammenhang zwischen Anforderungen und Funktionen zunehmend undurchsichtiger bei fortschreitender Betrachtung der Entwicklungszustände. Die Anforderungsmodellierung erfolgt üblicherweise in einer frühen Phase des Produktentwicklungsprozesses und wird zunächst anhand von Lasten-/Pflichtenheft, Anforderungslisten, etc. erarbeitet. „Auf dem Markt existiert eine Vielzahl von spezifischen Software Tools, die das Arbeiten mit Anforderungen unterstützen. Ihnen ist gemein, dass die Einzelanforderungen in einer Datenbank abgelegt werden und Dokumente wie das Lastenheft für ein bestimmtes Bauteil bzw. System mittels Export aus der Datenbank erstellt werden können.“ [1] Bei der Funktionsmodellierung hat sich das Bilden von Funktionsstrukturen als probates Mittel etabliert. [1] Es ist jedoch zu beobachten, dass die Anforderungen und deren Bezug auf das System häufig nicht in den Modellen der verschiedenen Entwicklungszustände dargestellt werden. Dadurch wird auch die Nachverfolgbarkeit von Informationen und Informationszusammenhängen zwischen den Anforderungen und anderen Merkmalen des Systems gehemmt.

Für die Funktionsmodellierung technischer Systeme wurde das „Integrated Function Modelling (IFM) Framework“ entwickelt, welches an der von Eisenbart [5] gezeigten fachbereichsübergreifenden Präsenz der Funktionen anknüpft und die Funktionsweise eines Systems auf der Grundlage von „Design Structure Matrices“ (DSM) systematisch in einem umfangreichen Modell abbildet (Bild 1). Durch das Verknüpfen verschiedener Ansichten wird ein Informationsfluss innerhalb des Modells geschaffen, welcher den Bearbeiter bei der Analyse und Kontrolle unterstützt. Bei bisherigen Auswertungen von Applikationen des IFM Frameworks in Theorie und Praxis [2, 3, 4] hat sich dieses generell als zweckdienliches Mittel der Funktionsmodellierung bewährt. Für den universalen Gebrauch dieser Methode sind jedoch weitere Anpassungen [3] notwendig, wie sich durch die Evaluierungen [3] gezeigt hat. Aus Unternehmenssicht ist der Zeitaufwand zur Erstellung eines solchen Schaubilds aufgrund der Informationsbeschaffung ebenfalls hoch, auch wenn das Verhältnis zum technischen Verständnis im Vergleich zur beschriebenen Vorgehensweise mittels

Funktionsstruktur deutlich gesteigert wird. [3] Das Erarbeiten des Schaubilds unterliegt einem iterativen Prozess, wobei die Methode selbst den Bearbeiter bei der Informationsbeschaffung und der Erarbeitung des Schaubilds teilweise anleitet.

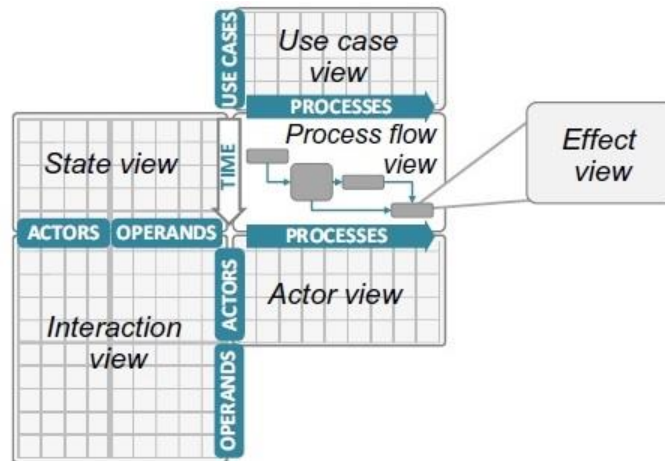


Bild 1: Integrated Function Modelling framework [2]

Ziel dieser Forschungsarbeit ist es, eine direkte Verbindung zwischen Anforderungsmodellierung und Funktionsmodellierung zu schaffen. Die Förderung der Durchgängigkeit von Entwicklungszuständen soll helfen, Änderungsprozesse zu unterstützen. Die Funktionsmodellierung unter Verwendung des IFM Frameworks soll um eine Möglichkeit der Anforderungsmodellierung erweitert werden. Ferner könnte die Methode in diesem Zusammenhang als ein Hilfsmittel für Simulationen dienen, da die Funktionsmodellierung eine Nachverfolgung von Konsequenzen durch Änderungen von Anforderungen ermöglicht. Weitere Ziele für die Methode sind:

- Universelle Einsetzbarkeit für technische Systeme
- Anpassung an entsprechende Randbedingungen der jeweiligen Systeme
- Umfangreicher Einblick und präzises Verständnis für ein betrachtetes System bei angemessenem Zeitaufwand in der Bearbeitung
- Leicht verständlich und nachvollziehbar in Aufbau und Funktionsweise
- Durch Software oder Vorlage gestützt

Für die Weiterentwicklung des IFM Frameworks werden Wesensmerkmale und Grundsätze von technischen Systemen zusammengestellt, um die Methode bei ihrer Anwendung systematisch an die gegebenen Randbedingungen des betrachteten Systems anpassen zu können. Zu den Wesensmerkmalen zählen unter anderem Besonderheiten, wie spezielle Prozessabfolgen, die Festlegung der Systemgrenze, Interaktionen mit dem Bediener oder anderem, die Bestimmung des Hauptflusses (Stoff, Signal, Energie) oder dem Neuheitsgrad des betrachteten Systems (Neukonstruktion, Anpassungskonstruktion).

Zum Einbinden der Anforderungen in das Modell werden zusätzliche Ansichten erarbeitet, welche ergänzend oder ersetzend in das Framework integriert werden.

Eine Optimierung der Zustandsansicht durch die Gegenüberstellung von „Ist- und Sollzustand“ wird ebenfalls mit einbezogen sowie ein optionales Zoom-in und Zoom-out. [3]

Der Zeitaufwand der Erarbeitung soll vor allem über eine gezielte Führung durch die Methode während der verschiedenen Bearbeitungsschritte innerhalb der Ansichten des Modells minimiert werden. Die Einfachheit der Methode soll dabei den Klärungsbedarf zum Verständnis des Modells und der Vorgehensweise in der Bearbeitung geringhalten.

## Literatur

- [1] Pahl, Gerhard; Beitz, Wolfgang; Bender, Beate; Gericke, Kilian: *Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 9. Aufl. Berlin: Springer, 2021. – ISBN 978-3-662-57302-0
- [2] Eisenbart, B., Gericke, K., & Blessing, L.T.M. (2016). *A DSM-based framework for integrated function modeling: concept, application and evaluation*. *Research in Engineering Design* 28(1), 25–51.
- [3] Krüger, M., Zorn, S., Wichmann, R., Gericke, K. (2020). *The Application of the IFM Framework and FIDD Method on an Industrial Cigarette Filter Maker*. 22nd International Dependency and Structure Modeling Conference, DSM 2020
- [4] Gericke, K., Eisenbart, B. (2017). *The integrated function modeling framework and its relation to function structures*. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, Vol. 31 No. 4, pp. 436-457
- [5] Eisenbart, B., Gericke, K., Blessing, L. (2011): *A framework for comparing design modelling approaches across disciplines*. *International Conference on Engineering Design - ICED*, 2011

# Methodische Unterstützung von Entwicklern bei der Ausnutzung der Potentiale additiver Fertigung

Pascal Schmitt, Kilian Gericke

Universität Rostock, Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik, Lehrstuhl für Produktentwicklung  
Albert-Einstein-Straße 2, D-18059 Rostock

Email: pascal.schmitt@uni-rostock.de; Internet: <https://www.pe.uni-rostock.de/>

**Stichwörter:** Additive Fertigung, Potentiale, DfAM, Systemarchitektur, Produktarchitektur.

## 1 Problemstellung

Additive Fertigung führt zu neuen Freiheitsgraden und Möglichkeiten, die in vielen Anwendungsbereichen einen Vorteil gegenüber konventionellen Verfahren darstellen [1]. Im Vergleich zu diesen, sind additive Fertigungsverfahren jedoch meist noch nicht in den produzierenden Unternehmen etabliert. Dennoch wird der additiven Fertigung eine hohe Bedeutung zugesprochen und nicht selten wird AM als eine der Schlüsselkompetenzen angesehen, um künftig wettbewerbsfähig zu bleiben [2].

Dies spiegelt sich auch in der Forschungsaktivität und der Zahl der Patente in dem Bereich wieder, welche in den letzten Jahrzehnten einen erheblichen Zuwachs zu verzeichnen haben [3].

Dennoch bleiben Potentiale häufig ungenutzt, insbesondere wenn diese mit einer Anpassung der Produktarchitektur einhergehen [4]. Die Entscheidungen dafür werden in der Regel relativ früh im Entwicklungsprozess getroffen werden, um Zielstellungen wie „Gewichtersparnis“, „Funktionsintegration“ und „Anpassbarkeit“ besonders wirksam verfolgt zu können [5].

In dieser Forschungsarbeit soll herausgearbeitet werden, wie Entwickler besser dabei unterstützt werden können, die additive Fertigung optimal in die Produktentwicklung zu integrieren.

## 2 Stand der Technik

Die Forschungsaktivität der beiden letzten Jahrzehnte in diesem dynamischen Forschungs- und Anwendungsgebiet wurde mittels einer Literaturstudie analysiert. Bei der Vielzahl der Forschungsaktivitäten lassen sich vier große Bereiche ausmachen, die sich mit den folgenden Themen befassen: Prozesse und Maschinen (1); Materialien (2); Digitale Prozesskette (3); Methodik (4). Herausforderungen und Trends in den verschiedenen Rubriken wurden dabei teils quantitativ, teils qualitativ durch Auswertung relevanter Forschungsbeiträge identifiziert. Während sich Themen einzelnen Rubriken zuweisen lassen, bedingen andere die Aktivität verschiedener Rubriken. So geht die Entwicklung neuer druckbarer Materialien, wie beispielsweise zeitabhängiger Materialien (4D-Printing), mit der Anpassung von Prozessen und Maschinen einher.

Weiter vorangetrieben wird der Fortschritt im Bereich AM durch die Einbindung *technologischer Enabler* wie virtuelle Realität oder KI [6]. Die genannten Beispiele könnte man als *technologischen push* bezeichnen.

Um die technologische Errungenschaften im Bereich AM jedoch nutzbar zu machen, bedingt es Schnittstellen für Entwickler. Diese werden in dieser Unterteilung von der digitalen Prozesskette (z.B. Generative Design) abgegrenzt. Im Vordergrund dabei steht die Unterstützung von Entwicklern, bewusste Entscheidungen in Hinblick auf AM zu treffen. Diese werden unter dem Begriff DfAM (Design for Additive Manufacturing) zusammengefasst und beinhalten beispielsweise AM Guidelines, AM Prinzipien oder Spezifikationen [7]. Trotz dieser Ansätze, wird das mangelnde Wissen als Hauptgrund dafür genannt, dass die Potentiale der additiven Fertigung teilweise nicht genutzt werden [2], [8]. Eine Erkenntnis der Analyse besteht darin, dass Unklarheiten der Benennung und unterschiedliche Definitionen den Zugang zur methodischen Unterstützung für Entwickler zusätzlich erschweren. Außerdem sind diese Ansätze häufig generell gehalten oder von Fallbeispielen abgeleitet und daher nicht unbedingt in der Lage, Unsicherheiten der Entwickler in Bezug auf den Einsatz von AM zu lösen.

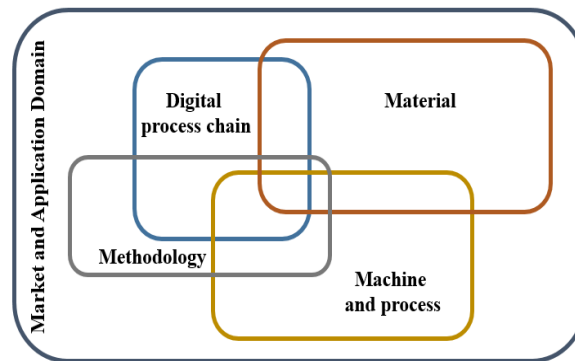


Abbildung 1: Forschungslandschaft im Bereich der additiven Fertigung [3]

### 3 Forschungsschwerpunkt

Das Forschungsvorhaben wird geleitet von der Frage: „Wie können Entwickler besser dabei unterstützt werden, das Potential additiver Fertigung auszuschöpfen?“. Schwerpunkt liegt dabei in den Potentialen, die sich aus der methodischen Anpassung technischer Systeme auf die additive Fertigung, ergeben.

Die Vorgehensweise orientiert sich dabei an dem Ablauf der *Design Research Methodology* [9]. In der Phase der *RC* (Klärung der Aufgabe) wurden Barrieren, Potentiale und Trends additiver Fertigung analysiert. In einer weiteren Literaturstudie konnten Erkenntnisse über die Rolle von AM für die Zielstellungen des Leichtbaus gewonnen werden.

Bei den Ergebnissen beider Untersuchungen hat sich gezeigt, dass der Systemarchitektur eine besondere Bedeutung zukommt. Es wird erwartet, mittels gezielter Anpassung der Systemarchitektur, die Potentiale der additiven Fertigung besser nutzbar zu machen. Für die erweiterten Erkenntnisse darüber, welchen Bedarf Entwickler an eine methodische Unterstützung haben, sind im nächsten Schritt (Phase *DS-I*) empirische Studien durchzuführen.

### Literatur

- [1] I. Gibson, D. W. Rosen, and B. Stucker, *Additive manufacturing technologies: Rapid prototyping to direct digital manufacturing*. 2010.
- [2] O. Borgue, J. Müller, A. Leicht, M. Panarotto, and O. Isaksson, „Constraint replacement-based design for additive manufacturing of satellite components: Ensuring design manufacturability through tailored test artefacts,“ *Aerospace*, vol. 6, no. 11, 2019.
- [3] K. Schmitt, P. Zorn, S. Gericke, „Additive Manufacturing Research Landscape: a Literature Review,“ in *Additive Manufacturing Research Landscape: a Literature Review*, 2021.
- [4] B. Durakovic, „Design for Additive Manufacturing: Benefits, Trends and Challenges,“ vol. 6, no. 2, pp. 179–191, 2018.
- [5] P. Schmitt and K. Gericke, „FACTORS INFLUENCING THE DECISION OF CONVENTIONAL/HYBRID LIGHTWEIGHT DESIGN STRATEGIES AND THEIR EFFECT ON THE DESIGN PROCESS,“ *Proc. Des. Soc. Des. Conf.*, vol. 1, pp. 1095–1104, May 2020.
- [6] E. T. Tyflopoulos, „State of the art of generative design and topology optimization and potential research needs / The Design Society,“ *DS 91: Proceedings of NordDesign 2018, Linköping, Sweden, 14th - 17th August 2018*, 2018. [Online]. Available: <https://www.designsociety.org/publication/40924/State+of+the+art+of+generative+design+and+topology+optimization+and+potential+research+needs>. [Accessed: 24-Jun-2021].
- [7] A. Wiberg, J. Persson, and J. Ölvander, „Design for additive manufacturing – a review of available design methods and software,“ *Rapid Prototyping Journal*, vol. 25, no. 6. Emerald Group Holdings Ltd., pp. 1080–1094, 21-Aug-2019.
- [8] O. Abdulhameed, A. Al-Ahmari, W. Ameen, and S. H. Mian, „Additive manufacturing: Challenges, trends, and applications,“ *Adv. Mech. Eng.*, vol. 11, no. 2, pp. 1–27, Feb. 2019.
- [9] L. T. M. Blessing and A. Chakrabarti, „DRM: A Design Research Methodology,“ in *DRM, a Design Research Methodology*, Springer London, 2009, pp. 13–42.

UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

*Offen im Denken*