GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

BETREUT VOM
PTKA Projektträger Karlsruhe
im Karlsruher Institut für Technologie

**Produktentwicklung, Simulation, Planung**

# Lean Innovation

## Effizienzsteigerung bei der Entwicklung fluidtechnisch-mechatronischer Systeme

**G. Schuh, H. Baum, M. Lenders, J. Müller**

*Aufgrund der engen Vernetzung verschiedener Disziplinen und der resultierenden komplexen Strukturen kommt einer integrativen Entwicklungsumgebung beispielsweise für fluidtechnisch-mechatronische Systeme eine entscheidende Bedeutung zu. Im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts „Fluidtronic" wurde dementsprechend eine solche Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme konzipiert und umgesetzt.*

***Lean Innovation – Developing fluid technical mechatronic systems with increased efficiency***

*An integrated development environment for fluid technical mechatronic systems has a significant relevance due to the collaboration of different disciplines and the resulting complex system structures. Therefore, such an integrated development environment for fluid technical mechatronic systems was developed and implemented within the BMBF project "Fluidtronic".*

### 1 Herausforderungen

Innovationen entstehen heute in vielen technischen Branchen nicht mehr als Einzelinnovation, sondern vielmehr „systemisch" – also durch das intelligente Zusammenspiel der beteiligten Disziplinen. Dies trifft in besonderem Maße auf fluidtechnisch-mechatronische Systeme zu. Vor allem die Elektronik- und Softwareanteile steigen kontinuierlich. Resultierend ergibt sich in den letzten Jahren eine immer stärkere Zunahme der zu beherrschenden Komplexität in der Produktentwicklung [1].

Zur besseren Beherrschung der Komplexität bei gleichzeitiger Forderung nach zunehmend geringerer Time-to-Market wird größeres Augenmerk auf die intelligente Strukturierung der „frühen Phase" des Entwicklungsprozesses gerichtet [2]. Bereits hier gilt es, die beteiligten Disziplinen eng zu vernetzen sowie einen interdisziplinär optimierten und abgestimmten Systementwurf bereitzustellen. Um diese Anforderung umsetzen zu können, wurde im Projekt „Fluidtronic" eine integrative Entwicklungsumgebung konzipiert, die alle Disziplinen und Aktivitäten im Entwicklungsprozess einbindet und eingesetzte Methoden, Simulationsmodelle sowie die zugehörenden Produkt- und Prozessinformationen von der Anforderungserfassung bis zur Inbetriebnahme integriert (**Bild 1**).

Solche Entwicklungsumgebungen übernehmen eine Referenz-Funktion für die Auslegung unternehmensspezifischer Umgebungen und helfen damit, die Komplexität des Entwicklungsprozesses zu beherrschen [3]. Nur so kann die interdisziplinäre Zusammenarbeit bei der Entwicklung innovativer, fluidtechnisch-mechatronischer Systeme ihre Innovationswirkung voll entfalten [4].

### 2 „Lean Innovation" – Leitlinien einer effizienten und effektiven Produktentwicklung

Insbesondere im Zusammenspiel der Disziplinen bei der Entwicklung fluidtechnisch-mechatronischer Produkte tritt Verschwendung im Entwicklungsprozess in Form von Iterationen, Wartezeiten oder suboptimalen technischen Gesamtlösungen auf. Das Verständnis des Lean Managements, alle Aktivitäten auf Wert aus Kundensicht zu fokussieren und Verschwendung zu eliminieren, ist heute in der Produktentwicklung noch deutlich unterrepräsentiert: Eine Befragung der Autoren unter 143 Unternehmen zeigte, dass erst ein Drittel begonnen hat, Verschwendung in der Produktentwicklung systematisch zu identifizieren [5].

Lean Innovation überträgt die Grundsätze des Lean Managements systematisch auf die Produktentwicklung. Die „Lean Innovation-Champions" unter den Unternehmen erzielen einen im Branchenvergleich auffällig hohen Innovationsgrad je F&E (Forschung und Entwicklung)-Ressource. Die

Prof. Dr.-Ing. Günther Schuh
Dr.-Ing. Michael Lenders
Dipl.-Ing. Jochen Müller
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen
Steinbachstr. 19, D-52074 Aachen
Tel. +49 (0)241 / 80-27436 oder -27591
Fax +49 (0)711 / 80-627436 oder -627591
E-Mail: m.lenders@wzl.rwth-aachen.de
oder j.mueller@wzl.rwth-aachen.de
Internet: www.wzl.rwth-aachen.de

Dr. Heiko Baum
Fluidon – Gesellschaft für Fluidtechnik mbH
Jülicher Str. 336, D-52070 Aachen
Tel. +49 (0)241 / 960-9260
Fax +49 (0)241 / 960-9262
E-Mail: heiko.baum@fluidon.com
Internet: www.fluidon.com


Alle Rechte vorbehalten. Copyright Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG, Düsseldorf

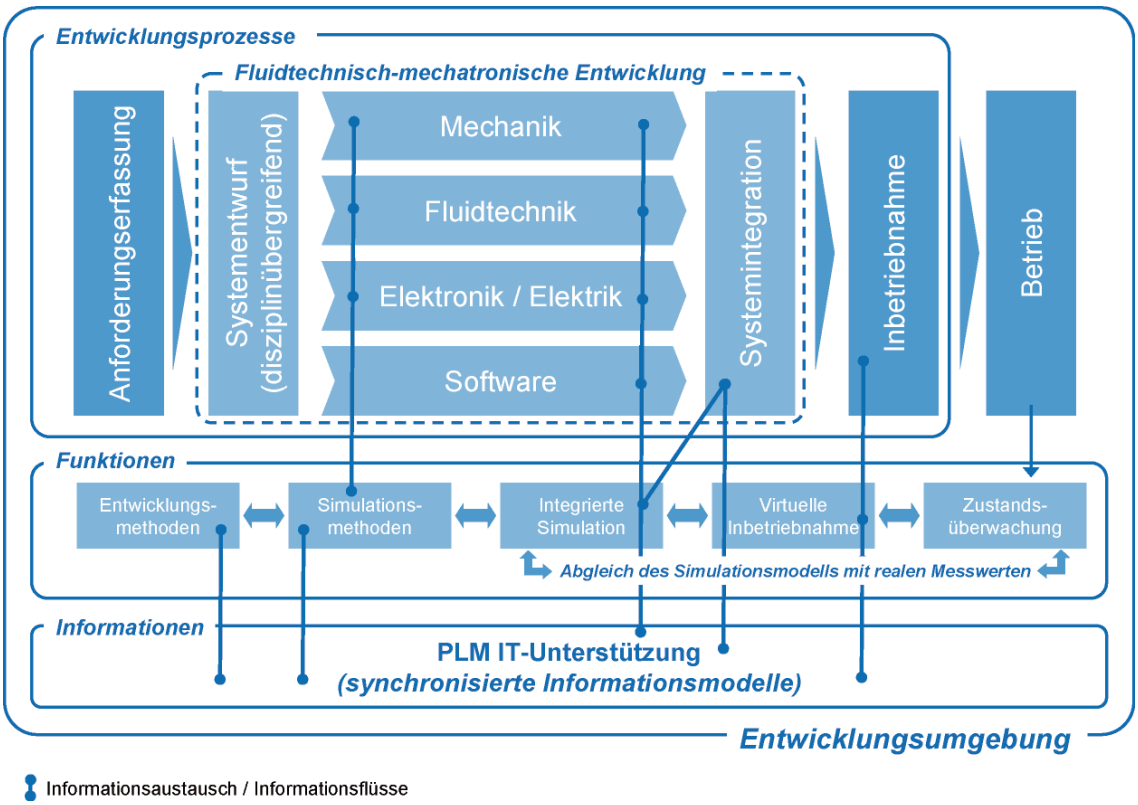


**Bild 1. Fluidtechnisch-mechatronische Entwicklungsumgebung**

Untersuchungen zeigen, dass diese Unternehmen bestimmte Grundsätze besonders gut beherrschen. Aus diesen Grundsätzen leiten sich die vier Leitlinien von Lean Innovation ab.

### 2.1 Innovationsaktivitäten strategisch positionieren

Innovationsaktivitäten werden strategisch klar positioniert, um sich nicht in der Vielzahl möglicher Optionen zu verzetteln. Die Umsetzung der strategischen Positionierung beginnt in der Produktentwicklung mit der Formulierung einfach kommunizierbarer Vorteile des Produkts aus Kundensicht. Zielkonflikte werden frühzeitig transparent gemacht und im Sinne des Kundenwertes priorisiert. Diese Zielhierarchisierung ist die Basis für die integrative Produktentwicklung.

### 2.2 Entwicklungsprojekte früh strukturieren

Entwicklungsprojekte werden früh strukturiert, um die Produktentwicklung in die „richtigen Bahnen" zu leiten. Dazu gehört ein systematisches Lösungsraum-Management, das dafür sorgt, den interdisziplinären Lösungsraum wichtiger Produktfunktionen vollständig zu erkennen. Der disziplinübergreifende Systementwurf dient der Beschreibung der Produktarchitektur bereits zu einem frühen Zeitpunkt im Projekt. Die Praxis zeigt, dass in den meisten Fällen intelligent strukturierte, modulare Produktbaukästen hier noch signifikante Potentiale bergen.

### 2.3 Entwicklungsprozesse einfach synchronisieren

Wie in einem „Sinfonie-Orchester" gilt es in der Entwicklung für fluidtechnisch-mechatronischer Produkte, das Zusammenspiel von Künstlern verschiedener Disziplinen zu synchronisieren. Gerät eine Disziplin aus dem Takt, ist der Projekterfolg in Gefahr. Die Vielzahl der Prozesse wird daher durch einen gemeinsamen, disziplin-übergreifenden Takt synchronisiert. Die einzelnen Prozesse werden durch Wertstromoptimierung auf minimale Durchlaufzeiten ausgelegt.

### 2.4 Innovationsmanagement sicher adaptieren

Innovationsmanagement endet nicht mit der Markteinführung von Produkten. Oft entscheiden vermeintliche „Kleinigkeiten", beispielsweise Elektronik-Features, über den Markterfolg nach einigen Jahren am Markt. Ein systematisches Release-Engineering maximiert mit vergleichsweise kleinen Maßnahmen den Lebenszyklus-Umsatz.

## 3 Lösungsraum-Management beschleunigt die Produktentwicklung

Die Aufgabe eines systematischen Lösungsraum-Managements ist es, je Produktfunktion die Größe des zu untersuchenden Lösungsraumes und die Konvergenz der Lösungsraum-Eingrenzung über der Zeit zu planen und im Projekt systematisch zu steuern [6]. Kritisch ist eine zu frühe Eingrenzung des Lösungsraumes und eine daraus resultierende, späte Aufweitung des Lösungsraumes mit hohen Aufwänden (**Bild 2**). Ein systematisches Lösungsraum-Management ermöglicht die kontinuierliche Eingrenzung des Lösungsraumes. Dies erfolgt durch eine Validierung auf Basis definierter Meilenstein-Reviews, die in unterschiedlichen Phasen des Entwicklungsprozesses stattfinden und ein unkoordiniertes Vorgehen einzelner Disziplinen verhindern(**Bild 3**).

In den Phasen von der Machbarkeitsprüfung bis zur virtuellen Inbetriebnahme gilt es, eine frühzeitige Analyse verschiedener Lösungsalternativen durchzuführen und Entwicklungsschritte kontinuierlich zu validieren. Dazu ist ein

Alle Rechte vorbehalten. Copyright Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG, Düsseldorf

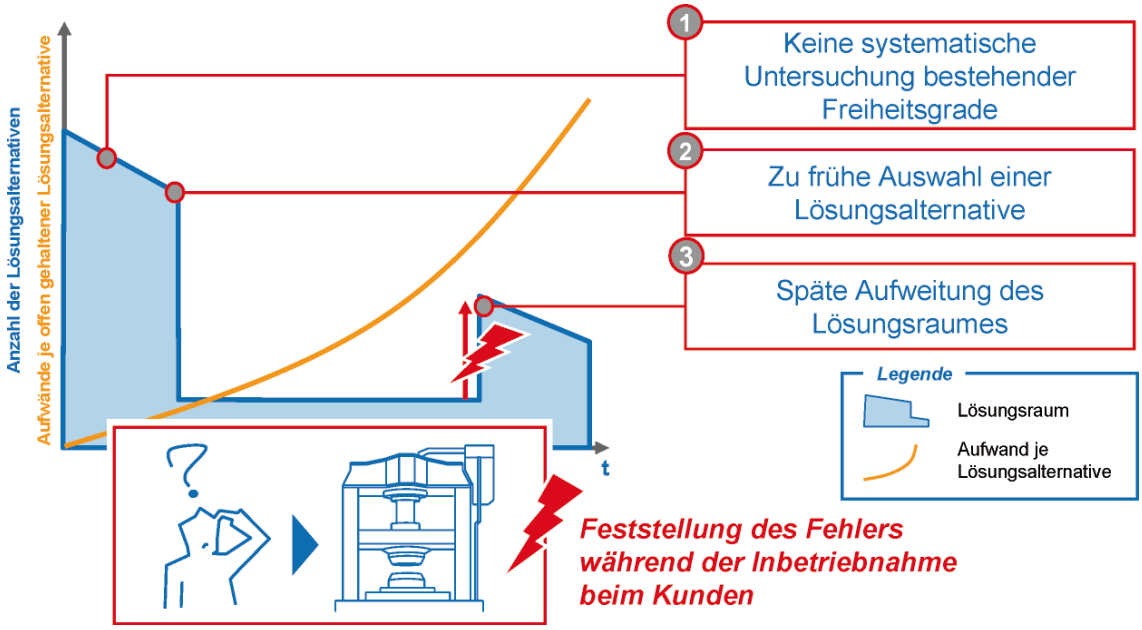


**Bild 2. Späte Aufweitung des Lösungsraumes zu hohen Kosten infolge zu früher Eingrenzung**

durchgängiger Informationsaustausch zwischen den Entwicklungspartnern erforderlich, der über eine gemeinsame, serverbasierte Plattform stattfindet. Der Ablauf des Informationsaustausches wird beispielhaft in **Bild 4** gezeigt.

Anhand dieses Beispiels hat der OEM (Original Equipment Manufacturer) im Systementwurf das Produktkonzept definiert und mit der Entwurfssimulation „DSHplus" validiert. Die Anforderungen wurden in Komponenten übersetzt, denen nun die Projektierungsinformationen hinterlegt werden. Dazu wird das erste Projektierungs-Dokument des OEM, in dem die Zieleigenschaften der Komponenten hinterlegt sind, den Zulieferern übermittelt. Dies geschieht auch mit dem DSHplus-Schaltplan als grobem Simulationsmodell des OEM. Um den Know-how-Schutz beim Austausch der Projektierungsdaten zu gewährleisten, werden den verschiedenen Zulieferern die Komponenten, die sie nicht direkt betreffen, als „Gesamt-Blackbox" zusammengefasst übermittelt. Lediglich das vom Zulieferer zu entwickelnde Modul bleibt editierbar [7]. Sobald der Zulieferer eine technische Lösung erarbeitet hat, ergänzt er die Daten um die zusätzlichen Projektierungsinformationen und Simulationsergebnisse auf der Plattform, wo der OEM sie abruft. In der Integration führt der OEM die detaillierten Teilprojektierungsschaltpläne in einen Gesamtschaltplan mit allen relevanten Parametern zusammen. Diesen Gesamtschalt-

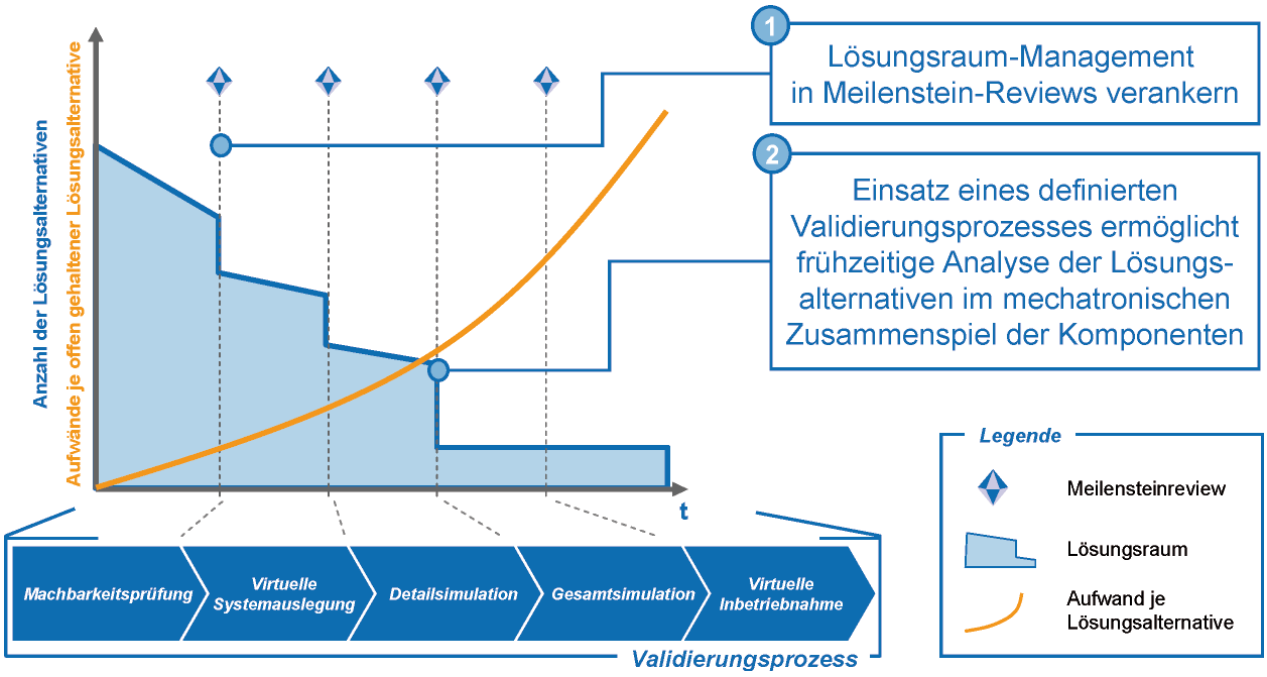


**Bild 3. Kontinuierliche Eingrenzung des Lösungsraumes durch einen systematischen Validierungsprozess**


Alle Rechte vorbehalten. Copyright Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG, Düsseldorf

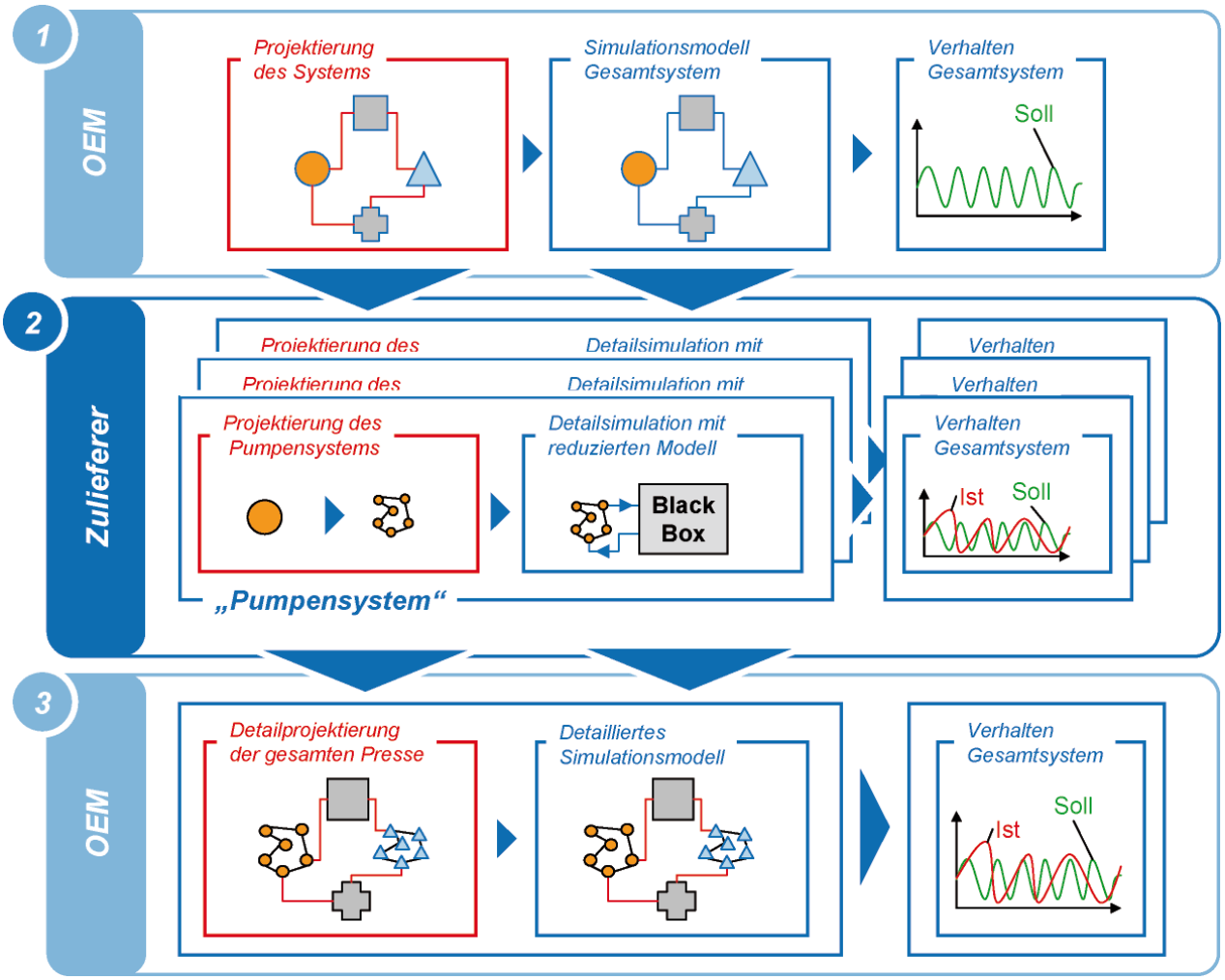


**Bild 4. Ablauf des Informationsaustauschs zwischen OEM (Original Equipment Manufacturer) und Zulieferern**

plan überführt der OEM in ein Simulationsmodell, an dem das Zusammenspiel der Komponenten simuliert wird. So werden nicht vorhergesehene Wechselwirkungen zwischen den Komponenten früh erkannt. Über mehrere Iterationsschleifen entsteht nun die ausdetaillierte Gesamtanlage [7]. Durch diese effiziente Zusammenarbeit zwischen Kunden, OEM und Zulieferern in der Simulationsumgebung ist es möglich, robustere Produkte in kürzerer Zeit zu entwickeln [8].

## 4 Disziplin-übergreifender Systementwurf als Voraussetzung einer ganzheitlichen Sichtweise

Ein fluidtechnisch-mechatronisches System besteht aus Komponenten unterschiedlicher Fachdisziplinen. Aufgrund fachgebundener Sichtweisen dieser Disziplinen auf das Gesamtsystem resultiert oft ein mangelhaftes Verständnis für das Zusammenspiel der Komponenten. Jede Disziplin spricht eine andere „Sprache“, die eine frühe Abstimmung über die Disziplingrenzen hinweg in der Praxis erschwert. Es fehlt ein disziplin-übergreifender Systementwurf (vergleiche **Bild 5**). In einem solchen disziplin-übergreifenden Systementwurf für das Gesamtsystem werden die Schnittstellen der Disziplinen transparent. Ausgangspunkt sind die Anforderungen an das Gesamtsystem. Die Anforderungen werden disziplin-übergreifend in Funktionen übersetzt. Die funktionale Sichtweise dient als Ausgangspunkt für disziplin-übergreifendes Verständnis (**Bild 6**).

Produktfunktionen sind an keine Disziplin gebunden. Disziplin-übergreifend werden den Funktionen nun mögliche Wirkprinzipien zugeordnet. Jedes Wirkprinzip lässt sich einer einzelnen Disziplin zuordnen. Die Wirkprinzipien werden in Wirkstrukturen zusammengefasst; an dieser Stelle entsteht die Kombination verschiedener Disziplinen. Diese gilt es anschließend in technische Komponenten umzusetzen. Mit der Gegenüberstellung der einzelnen Bauteile wird das Ziel, Schnittstellen zwischen den Bauteilen zu ermitteln und gemeinsam zu definieren, erreicht. So kann bereits zu einem frühen Zeitpunkt im Entwicklungsprozess eine gemeinsame Grundlage geschaffen werden, indem die disziplin-übergreifenden Randbedingungen und Schnittstellen im System festgelegt werden und ein disziplin-übergreifendes Verständnis der Abhängigkeiten ermöglicht wird.

## 5 Integratives Prozessmodell für die Entwicklung fluidtechnisch-mechatronischer Systeme

Die Basis der Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme ist ein integratives Prozessmodell. Das Prozessmodell baut auf bereits bestehenden Entwicklungsmodellen auf und unterstützt den idealtypischen,

Alle Rechte vorbehalten. Copyright Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG, Düsseldorf

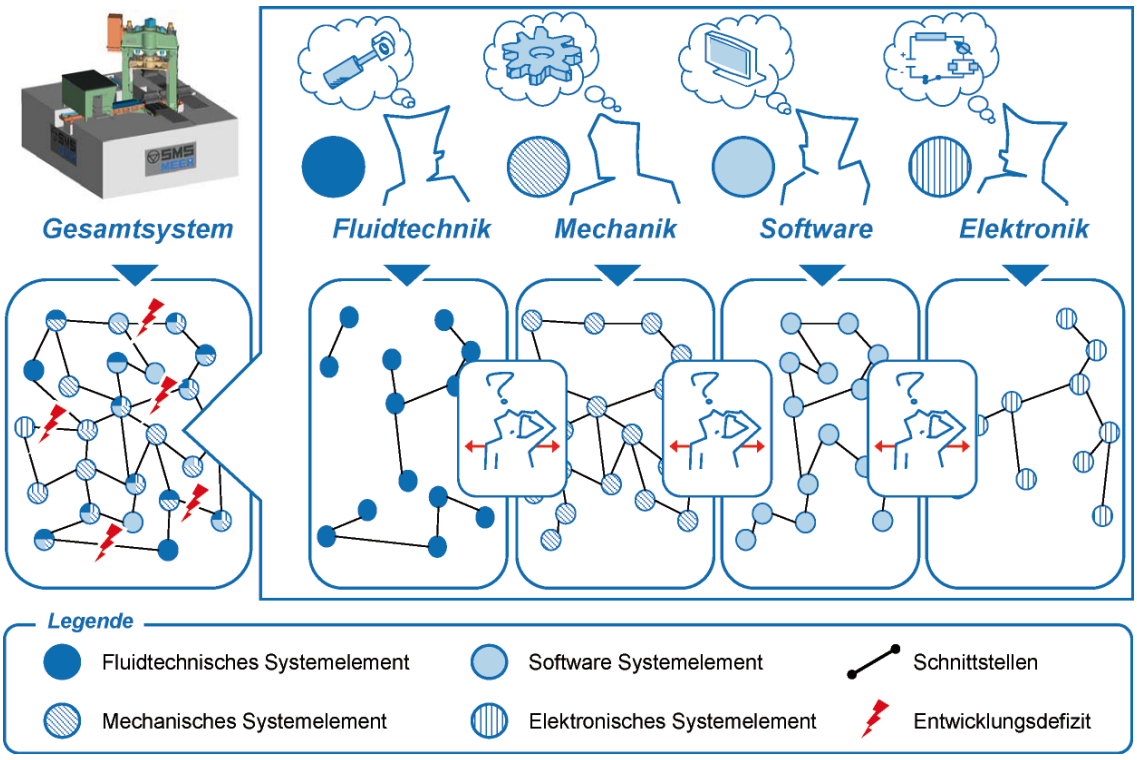


**Bild 5. Mangelndes Verständnis für Systemwechselwirkungen aufgrund fachgebundener Sichtweisen auf das Gesamtsystem**

disziplin-übergreifenden Prozessverlauf bei der Entwicklung fluidtechnisch-mechatronischer Systeme.

Die betrachteten Entwicklungsmodelle haben gemeinsam, dass sie entweder eine Validierung der Ergebnisse erst nach der Entwicklung vorsehen oder eine begleitende Validierung anhand von Modellen zwar erwähnen, aber nur unzureichend berücksichtigen. Da jedoch durch eine begleitende Validierung insbesondere Iterationen im Entwicklungsprozess vermieden werden können, kommt diesem Aspekt in dem Prozessmodell eine besondere Bedeutung zu. Von Beginn an werden die Ergebnisse überprüft und die Entwicklungsschritte durch Modelle unterstützt. Weiterhin wird zur Beschleunigung und Vereinfachung der realen Inbetriebnahme, die vor allem bei größeren Anlagen (beispielsweise einer Presse) einen erheblichen Zeit- und Kostenaufwand darstellt, eine virtuelle Inbetriebnahme genutzt. Hier wird zum Beispiel die „Hardware-in-the-Loop-Simulation" als Ansatz zur verein-

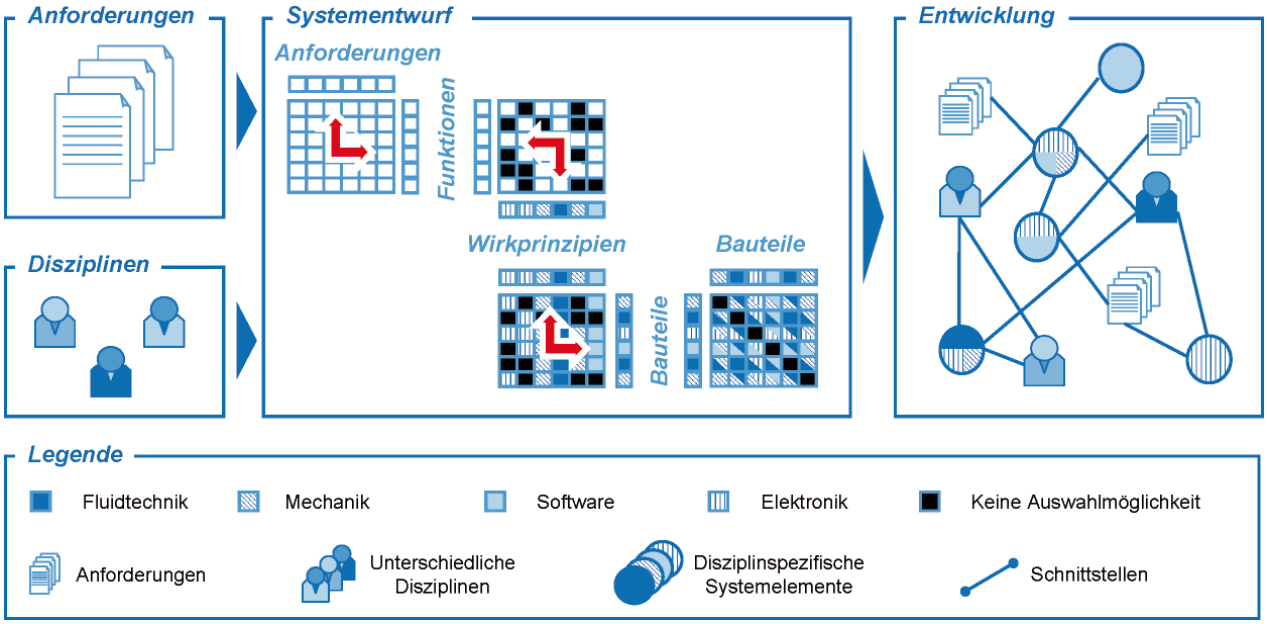


**Bild 6. Funktionale Sichtweise dient als lösungsneutrale Ausgangsbasis für einen disziplin-übergreifenden Systementwurf**


Alle Rechte vorbehalten. Copyright Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG, Düsseldorf

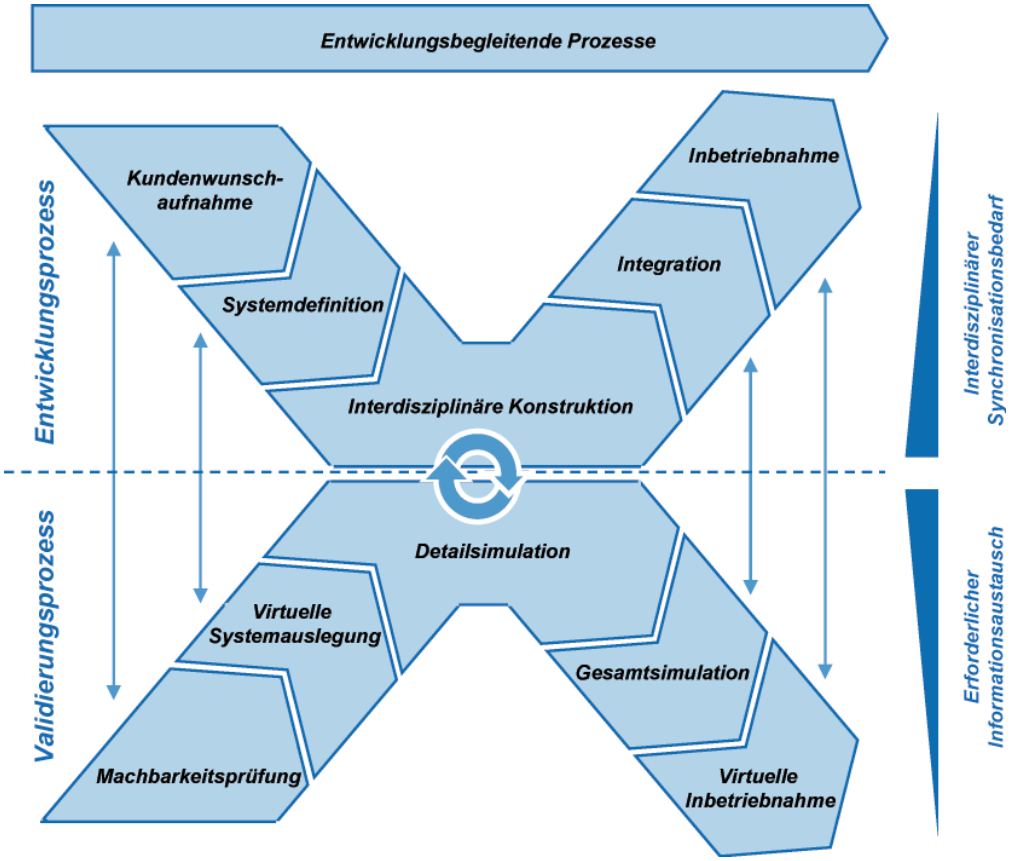


**Bild 7. Integratives Prozessmodell einer Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme**

fachten Reglerabstimmung mit dem Ziel einer beschleunigten Inbetriebnahme eingesetzt.

Insgesamt ergibt sich, wie in **Bild 7** dargestellt, eine dreigeteilte Struktur des Prozessmodells, wobei der Entwicklungs- und der Validierungsprozess im Zentrum stehen. Darüber stehen die entwicklungsbegleitenden Prozesse, die planende, überwachende, koordinierende und steuernde Funktionen einnehmen. Das Prozessmodell wird von links nach rechts durchschritten. Je weiter man sich nach rechts bewegt, desto höher ist der Reifegrad des zu entwickelnden Systems.

Betrachtet man den Entwicklungsprozess, so beginnt dieser mit der Aufnahme der Anforderungen, die mit dem Kunden und anderen „Stakeholdern" erarbeitet werden. Dann folgt der Systementwurf, in dessen Rahmen die verschiedenen am Entwicklungsprozess beteiligten Disziplinen gemeinsam ein Gesamtlösungskonzept für das System aufstellen. Ist dies geschehen, findet der disziplin-spezifische Entwurf statt und der Prozess teilt sich an dieser Stelle in die fluidtechnische, mechanische, softwaretechnische und elektrische Entwicklung auf. Bei dieser Aufteilung findet weiterhin ein regelmäßiger Ergebnisaustausch zwischen den einzelnen Disziplinen statt. Liegen die Einzelergebnisse vor, so werden die Entwicklungsstränge wieder vereint und die Ergebnisse in ein Gesamtkonzept integriert. Zuletzt findet die Inbetriebnahme des Systems statt. Je näher die Prozesselemente der Entwicklung der Mittellinie kommen, desto höher wird der Synchronisationsbedarf. Dies wird deutlich, wenn man sich vor Augen führt, dass Grenzen zwischen den Disziplinen immer schärfer werden, je weiter man sich der Mitte nähert und immer weiter verschwimmen, je weiter man sich von ihr entfernt.

Jedem der Schritte im Entwicklungsprozess steht im Validierungsprozess ein Element gegenüber, das diese absichert. Zunächst wird im Rahmen einer Machbarkeitsstudie die generelle Umsetzbarkeit eines Entwicklungsvorhabens geprüft. Darüber hinaus kommt zur Absicherung des Systementwurfs die Entwurfssimulation zum Einsatz, wobei grobe Konzepte auf die Anforderungserfüllung und Machbarkeit hin untersucht werden. Dann folgt die Detailsimulation zur Unterstützung der disziplin-spezifischen Entwürfe, die vor allem in Werkzeugen der jeweiligen Fachdisziplin durchgeführt wird. Hierbei kommt es vor allem auf den Austausch der Simulationsergebnisse der Disziplinen an, weshalb aufgrund der vielen unterschiedlichen Werkzeuge der Übersetzungsbedarf der Ergebnisse besonders hoch ist. Wurden die Einzelentwicklungsergebnisse integriert, so findet eine Gesamtsimulation zur abschließenden Validierung des Gesamtentwicklungsergebnisses statt. Zuletzt soll, wie oben erwähnt, durch eine virtuelle Inbetriebnahme die reale unterstützt werden.

Die Pfeile zwischen den jeweiligen Elementen der Entwicklung und Validierung verdeutlichen, dass es zwischen diesen zu einer Iteration kommen kann. So kann die Entwicklung einen Entwurf simulieren, um daraufhin noch einmal Verbesserungen an diesem vorzunehmen, welche dann wiederum auf ihre Wirkung hin in der Simulation überprüft werden.

Eine ausführliche Dokumentation des Prozessmodells mit einer detaillierten Darstellung von Teilprozessen und des Methodenbaukastens ist im hierzu entstandenen Leitfaden verfügbar, der unter www.fluidtronic.de im Internet heruntergeladen werden kann.

Alle Rechte vorbehalten. Copyright Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG, Düsseldorf

## 6 Zusammenfassung

Eine weiter fortschreitende Integration der Disziplinen Mechanik, Fluidtechnik, Elektronik und Informationstechnik haben die Komplexität fluidtechnisch-mechatronischer Systeme in den letzten Jahren erheblich gesteigert. Dies äußert sich in einer erhöhten Anzahl von Defiziten in der Entwicklung und einer Unzuverlässigkeit der entwickelten Systeme.

Da die steigende Interdisziplinarität neue Möglichkeiten sowohl bei den realisierbaren Funktionen als auch bei der Miniaturisierung der Bauteile schafft, besteht „Einigkeit [...] darüber, dass eine Abgrenzung zwischen den einzelnen Fachdisziplinen nicht mehr möglich ist und die sich bietenden Potentiale nur durch einen domänen-übergreifenden Entwicklungsansatz erschlossen werden können“ [9]. Demnach ist es von großer Bedeutung, die bestehenden Entwicklungsmethoden mittels einer durchgängig interdisziplinären Entwicklungsmethodik zu ergänzen.

In diesem Zusammenhang ist eine Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Produkte eine wichtige Unterstützung. Sie erlaubt, die Zusammenarbeit der Disziplinen zu koordinieren und hilft Unternehmen, Schwachstellen in den eigenen Prozessen zu erkennen und zu beseitigen. Zudem bietet sie durch konfigurierbare Prozessbausteine ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Standardisierung und Flexibilität in den einzelnen Phasen des Entwicklungsprozesses. □

**Ansprechpartner für weitere Informationen**

Dr.-Ing. Michael Lenders (Kontaktdaten siehe vorne)

Dr.-Ing. Matthias Gebauer
Karlsruher Institut für Technologie
Projektträger Karlsruhe
Produktion und Fertigungstechnologien (PTKA-PFT)
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Tel. +49 (0)7247 / 82 52 89, Fax +49 (0)7247 / 82 54 56
E-Mail: matthias.gebauer@kit.edu
Internet: www.produktionsforschung.de

## Literatur

[1] Eigner, M.: Mechatronik – Die Herausforderung an Integration im Produktentstehungsprozess. Dissertation, Lehrstuhl fur Virtuelle Produktentwicklung, Technische Universität Kaiserslautern, 2008

[2] Jackson, C. K.: The Mechatronics System Design Benchmark Report – Coordinating Engineering Disciplines. Boston: The Aberdeen Group 2006

[3] Gausemeier, J.; Frank, U.: Stand und Perspektiven der Entwicklung mechatronischer Systeme. In: Gausemeier, J. u.a. (Hrsg.): Entwurf mechatronischer Systeme. HNI-Verlagsschriftreihe, Paderborn, 2006

[4] Feldmann, K.; Goth, C.; Kunze, A.: Interdisziplinäre Zusammenarbeit zur spezifischen Förderung der MID-Technologie. ZWF 102 (2007) Nr. 9, S. 558–562

[5] Schuh, G.; Lender, M.; Hieber. S.: Lean Innovation – Introducing value systems to product development. PICMET 2008, Proceedings, Cape Town, South Africa, 27.07.–31.07.2008

[6] Lenders, M.: Beschleunigung der Produktentwicklung durch Lösungsraummanagement. Aachen: Shaker-Verlag 2009

[7] Baum, H.; Dombrowski. R. von: Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme. SIMPEP – Kongress zur Simulation im Produktentstehungsprozess, Veitshöchheim, 2009

[8] Schuh, G.; Müller, J.; Nussbaum, C. Fluidtronic – Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme. 6. gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik, Aachen, 2008

[9] Winzer, P. et al.: Ansatz zur Strukturierung verschiedener Konstruktions- und Entwicklungsprozesse für mechatronische Systeme. 1. Kolloquium des SFB-696: Forderungsgerechte Auslegung von intralogistischen Systemen – Logistics on Demand Nr. 1. Crostack, H.-A.; ten Hompel, M. (Hrsg.). Dortmund: Verlag Praxiswissen 2007, S. 99–119


Alle Rechte vorbehalten. Copyright Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG, Düsseldorf