

"Integratives Prozessmodell einer Entwicklungsumgebung"

Günther Schuh, Michael Lenders, Jochen Müller, Christopher Nussbaum

Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

Steinbachstr.19, 52074 Aachen

Tel. 0241 - 80 275 91, Fax. 0241 - 80 6275 91

j.mueller@wzl.rwth-aachen.de

Zusammenfassung

Aufgrund der engen Vernetzung verschiedener Disziplinen und der resultierenden komplexen Strukturen kommt einer integrierten Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme eine entscheidende Bedeutung zu. [GF06], [NFS+99] Innerhalb einer solchen Entwicklungsumgebung werden die Integration sowie die disziplinübergreifende Zusammenarbeit immer weiter in frühere Phasen des Entwicklungsprozesses verschoben werden. [Jac06] Bei der Entwicklung eines fluidtechnisch-mechatronischen Systems muss allerdings beachtet werden, dass nicht zuletzt durch die Konzentration auf die Kernkompetenzen und das zunehmend enger definierte Kerngeschäft komplexe Entwicklungsprojekte kaum mehr vollständig in einem Unternehmen durchgeführt werden können. Dies führt dazu, dass auch die interdisziplinäre Zusammenarbeit kooperierender Unternehmen bei der Entwicklung innovativer Systeme immer mehr an Bedeutung gewinnt. Im Rahmen der im BMBF Verbundprojekt Fluidtronic entstandenen Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme wurde daher ein integratives Prozessmodell entwickelt, welches den Fokus speziell auf eine hohe Interdisziplinarität und Vernetzung der Einzelprozesse und Ingenieursdisziplinen auf allen Hierarchieebenen mit einer Vielzahl von Wechselwirkungen legt.

Schlüsselwörter

Mechatronik, Fluidtechnik, Entwicklungsumgebung, Prozessmodell, Simulation

1 Ausgangssituation

Heutige technische Systeme zeichnen sich durch die Integration von Komponenten verschiedener Fachdisziplinen aus. Dies trifft aufgrund der hohen Anzahl zusammenhängender Elemente und der Beteiligung einer Vielzahl von verschiedenen Disziplinen im besonderen Maße auf mechatronische Systeme im Allgemeinen und fluidtechnisch-mechatronische Systeme im Speziellen zu. Vor allem der Elektronik- und Softwareanteil steigen hier ständig und liegen z.B. im

Fahrzeugbau momentan wertmäßig bei ca. 40%, Tendenz steigend. Hinzu kommt eine gestiegene, „multi-market“-fähige Systemvielfalt, die sich in einer Vielzahl von Varianten und Systemderivaten auf einer gemeinsamen Plattform ausdrückt. Aus der steigenden Interdisziplinarität und Variantenvielfalt ergibt sich in den letzten Jahren eine immer stärkere Zunahme der Systemkomplexität. [Eig08]

Dies hat besonders hohe Auswirkungen auf die Entwicklung. Früher wurden die Teilentwicklungsergebnisse der verschiedenen Disziplinen durch einige Iterationen an Prototypen integriert, was jedoch inzwischen aufgrund der immer kürzeren Time-to-Market Anforderungen unmöglich wird. So wird die Integration immer mehr in frühere Phasen des Entwicklungsprozesses verschoben. [Jac09] Daher zeichnet sich der gesamte Entwicklungsprozess durch eine hohe Interdisziplinarität und Vernetzung der Einzelprozesse und Ingenieursdisziplinen auf allen Hierarchieebenen mit einer Vielzahl von Wechselwirkungen aus. Aufgrund dieser engen Vernetzung und der komplexen Strukturen kommt der Absicherung der Systemzuverlässigkeit und einer integrierten Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme eine entscheidende Bedeutung zu.

Diese integrierte Entwicklungsumgebung fasst alle Disziplinen und Aktivitäten im Prozess der Systementwicklung, die eingesetzten Methoden, Werkzeuge und IT (Informationstechnologie)- Systeme sowie die zugehörigen Produkt- und Prozessinformationen vom Systementwurf bis zur Inbetriebnahme während des gesamten Lebenszyklus zusammen. (Siehe Abbildung 1)

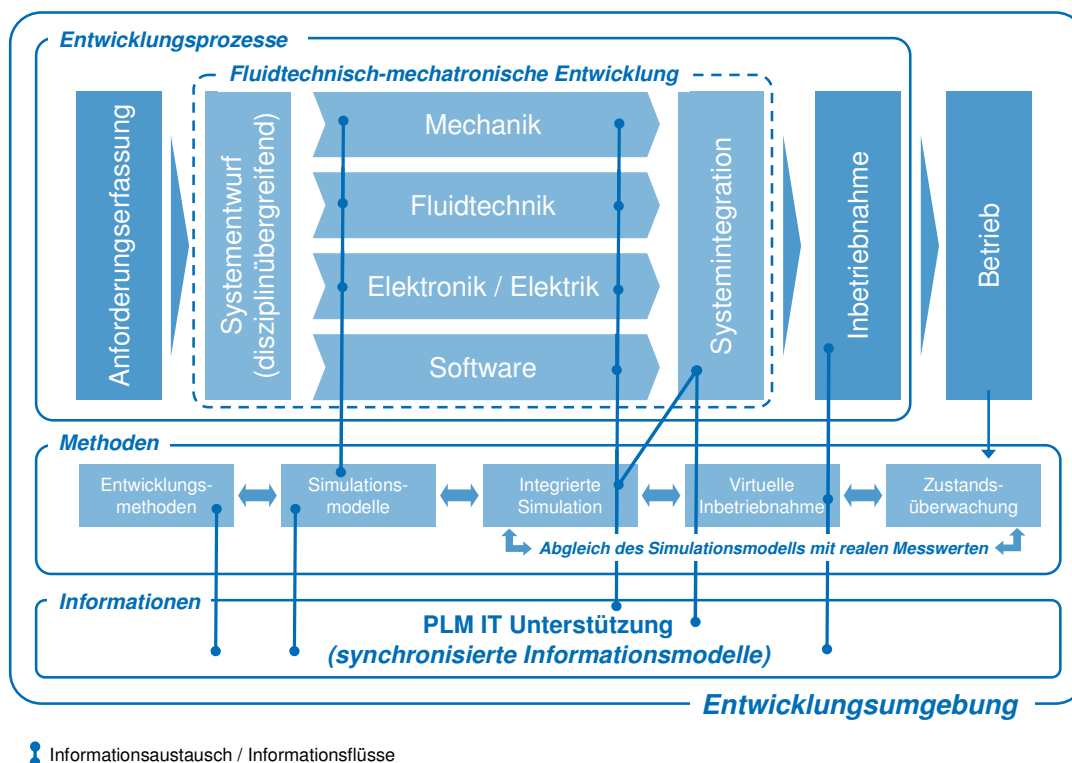


Abbildung 1: Fluidtechnisch-mechatronische Entwicklungsumgebung

Solche Entwicklungsumgebungen übernehmen in der Entwicklung eine steuernde und koordinierende Funktion und helfen damit, die Komplexität des Entwicklungsprozesses zu beherrschen. [GF06]

Nicht zuletzt durch die Konzentration auf die Kernkompetenzen und das zunehmend enger definierte Kerngeschäft können umfangreiche interdisziplinäre Entwicklungsprojekte kaum mehr vollständig in einem Unternehmen durchgeführt werden. Dies führt dazu, dass die interdisziplinäre Zusammenarbeit kooperierender Unternehmen bei der Entwicklung innovativer Systeme immer bedeutender wird. [FGK07] Dadurch wird die Problematik noch verschärft, denn nun müssen nicht mehr nur Grenzen zwischen Disziplinen, sondern auch zwischen Unternehmen überwunden werden.

Die heutigen disziplinspezifischen Entwicklungsmethoden und –werkzeuge der Praxis erfüllen die besonders hohen Anforderungen des fluidtechnisch-mechatronischen Entwicklungsprozesses nur unzureichend. So wird die wichtige frühe Fehlervermeidung und Entwicklung fehlertoleranter Systeme kaum unterstützt, es werden Wechselwirkungen nicht berücksichtigt und die Kundenanforderungen werden nur unvollständig in das System übersetzt. Aufgrund dessen kommt es zu zahlreichen Iterationen im Entwicklungsprozess und Fehler werden erst anhand von Prototypen oder beim Kunden erkannt. [Eig08] So steigt z.B. die Anzahl von Rückrufaktionen in der Kfz-Industrie trotz rückgängiger Neuzulassungen stetig an, was zu großen Teilen auf die Zunahme der genutzten mechatronischen (Sub-)Systeme, bei nicht klar beherrschten und/oder bekannten Wechselwirkungen, zurück zu führen ist. [SRW09]

Dort, wo Software zum Einsatz kommt, um den Entwicklungsprozess zu verbessern, werden fast ausschließlich disziplingebundene Werkzeuge eingesetzt. Die verschiedenen disziplingebundenen Werkzeuge besitzen den Nachteil, dass ein Datenaustausch zwischen einzelnen Anwendungen nur unzureichend umgesetzt ist. Zwischen den zum Einsatz kommenden Softwarewerkzeugen existieren Informationsbrüche, die es erfordern, Produktdaten manuell auszutauschen. So hat jede Disziplin ihre eigene Sichtweise auf den zu entwickelnden Teil des Systems und nutzt darüber hinaus eigene Entwicklungsstrukturen und -programme. Noch hinzu kommt der Umstand, dass die Werkzeuge im Verlauf der Entwicklung immer detaillierter und somit auch komplexer werden. Dementsprechend wird mit zunehmendem Entwicklungsfortschritt auch der Austausch zwischen den Disziplinen immer problematischer. Hierdurch kapseln sich die Disziplinen im Verlauf der Entwicklung mehr und mehr voneinander ab und eine disziplinübergreifende Systementwicklung wird zunehmend erschwert.

Um die Zykluszeiten und Kosten des Entwicklungsprozesses zu senken, wurden die interdisziplinären Entwicklungsprozesse in letzter Zeit in vielen Unternehmen einem Re-Engineering unterzogen, wobei die unterschiedlichen Prozessketten

identifiziert und optimiert wurden. Diese Optimierung wurde jedoch meist unabhängig von den Entwicklungsprozessen der anderen Disziplinen durchgeführt, ohne die starken Abhängigkeiten zu berücksichtigen. Entsprechend wird oft weiterhin getrennt in den involvierten Domänen entwickelt, die durch eigene Denkweisen, Begriffswelten und Erfahrungen geprägt sind. So werden Wechselwirkungen und Schnittstellen vernachlässigt, was zu einem Gesamtentwicklungsprozess mit vielen Schwachstellen führt. [VDI04], [NFS+99] Dies wird zudem noch dadurch verstärkt, dass der Entwicklungsprozess in der industriellen Fluidtechnik heute noch stark durch die mechanische Disziplin geprägt ist und dadurch die zeitliche Einbindung der weiteren Disziplinen, dem oben genannten Trend zum Trotz, erst sehr spät erfolgt.

Die Systementwicklung in den Unternehmen ist aufgrund von gewachsenen Strukturen immer noch durch eine sequentielle Bearbeitung gekennzeichnet. Die sequentiell organisierten Entwicklungsprozesse hemmen den Informationsaustausch zwischen den beteiligten Fachleuten und die Interaktionen zwischen den Disziplinen.

Weitere Schwachstellen sind die unzureichende Berücksichtigung des Einlaufverhaltens der hydraulischen Achsen, eine zeitaufwendige Inbetriebnahme sowie eine unstrukturierte Rückkopplung der Betriebsdaten in den Entwicklungsprozess. Die derzeitigen Simulationen berücksichtigen nur Teilaspekte eines fluidtechnisch-mechatronischen Systems und werden zudem nicht durchgängig eingesetzt. Da die Zuverlässigkeit des Systems so kaum über eine Simulation abgesichert werden kann, kommt es häufig zu einer Überdimensionierung von Komponenten, um die geforderte Zuverlässigkeit dennoch sicher zu erreichen.

2 Anforderungen an die Entwicklungsumgebung

Anhand der beschriebenen Schwachstellen eines fluidtechnisch-mechatronischen Entwicklungsprozesses lassen sich inhaltliche Anforderungen an die Entwicklungsumgebung ableiten. Hersteller fluidtechnisch-mechatronischer Systeme sehen sich einem hochkomplexen und stark interdisziplinären System gegenüber, das es in immer kürzerer Zeit zu entwickeln gilt. [MDV09] Daher benötigen sie eine Entwicklungsumgebung, die es ihnen ermöglicht, die verschiedenen am Entwicklungsprozess beteiligten Disziplinen mit ihren individuellen Methoden und Werkzeugen in die Entwicklung zu integrieren. Dabei müssen bereits sehr früh die Wechselwirkungen und Abstimmungsbedarfe zwischen den beteiligten Disziplinen erkannt und die nötige Kommunikation und Abstimmung unterstützt werden, um so in möglichst kurzer Zeit ein optimales, in der Zuverlässigkeit verbessertes System zu entwickeln und Iterationen weitestgehend zu vermeiden.

Vor diesem Hintergrund ist es eine Anforderung an die Entwicklungsumgebung, gut dokumentierte, konfigurierbare Prozessbausteine bereitzustellen, die den Ent-

wicklungsprozess besser strukturierbar und beherrschbar machen. Dabei muss eine Berücksichtigung des interdisziplinären Charakters gewährleistet sein. Weiter muss die Entwicklungsumgebung den gesamten Prozess durch eine kontinuierliche Validierung der gewonnenen Ergebnisse unterstützen und hierfür eine durchgängige Softwareunterstützung und Integration der disziplinspezifischen Lösungen, vor allem für die Simulation, gewährleisten. Hierbei muss auch der Austausch der Ergebnisse unter den verschiedenen Disziplinen und ggf. Entwicklungspartnern vereinfacht werden.

Aufbauend auf den Prozessbausteinen soll die Entwicklungsumgebung die flexible Konfiguration des Entwicklungsprozesses entsprechend dem Neuigkeitsgrad des zu entwickelnden Systems unterstützen. So kann Mehraufwand vermieden werden, da Anpassungskonstruktionen nicht den gleichen Entwicklungsaufwand und damit Entwicklungsprozess wie Neukonstruktionen benötigen.

Da häufig eine konsequente Umsetzung der Kundenanforderungen in Systeme fehlt, ist ein weiterer Anspruch an die Entwicklungsumgebung, dass sie das Unternehmen bei deren ganzheitlicher Aufnahme und Übersetzung in Systeme sowie bei der frühen Aufdeckung, Priorisierung und Auflösung relevanter Zielkonflikte unterstützt. Hier müssen neben Kunden auch unternehmensinterne Interessensgruppen berücksichtigt werden. [Dum08], [Sch02]

Da es aufgrund der unterschiedlichen beteiligten Disziplinen besonders wichtig ist, vor Beginn der Ausdetaillierung in der Entwicklung ein disziplinübergreifendes Konzept für das zu entwickelnde System festzulegen, muss die Entwicklungsumgebung einen frühen Systementwurf fördern. Dessen Ergebnis ist ein abgesichertes Konzept des fluidtechnisch-mechatronischen Systems. [VDI04] In dieser frühen Phase der Systementwicklung ist es zudem bereits entscheidend interdisziplinäre Wechselwirkungen aufzudecken, um von vornherein Abstimmungsbedarfe klar zu erkennen.

Eine weitere Anforderung ist die Unterstützung der planerischen Tätigkeiten während des Projektes. Aufgrund der hohen Komplexität der Entwicklung wird ein umfassendes Projektmanagement für die Koordination, Terminplanung, Ressourcenverwaltung und Projektüberwachung benötigt. Weiter ist es ein Ziel der Entwicklungsumgebung den Unternehmen ein durchgängiges Datenmanagement bereitzustellen, welches den Austausch von Dokumenten erleichtert und beschleunigt und ein Änderungs- und Konfigurationsmanagement sowie eine Wissensdatenbank mit bereits vorhandenen Lösungen enthalten soll.

3 Nutzenpotenziale einer integrativen Entwicklungsumgebung

Das größte Nutzenpotenzial einer integrativen Entwicklungsumgebung für fluid-technisch-mechatronische Systeme birgt die frühe Erkennung und explizite Berücksichtigung von Wechselwirkungen zusammen mit der systematischen Steuerung der Zusammenarbeit der Disziplinen. Hierdurch werden Fehler durch unbekannte Wechselwirkungen vermieden, indem die betroffenen Entwickler sich frühzeitig abstimmen und das System bzw. die Teilsysteme entsprechend den Erkenntnissen gestalten. Dadurch wird die Systemzuverlässigkeit deutlich gesteigert. [MDV09] Durch eine frühzeitige Absprache noch in der Konzeptionsphase, auch hinsichtlich von Entwicklungsproblemen, können zusätzlich durch noch stärkere Integration der Disziplinen neue Lösungen gefunden und im Entwurf berücksichtigt werden. Auf diesem Wege lässt sich der Kundennutzen noch weiter steigern indem z.B. eine noch bessere oder günstigere Lösung gefunden wird, die damit auch die Marktposition des entwickelnden Unternehmens stärkt.

Eine positive Wirkung auf die Systemqualität hat auch die durchgängige Validierung der gewonnenen Ergebnisse, vor allem durch Simulation. So können die Systeme schon vor dem eigentlichen Bau des ersten Prototypen im Hinblick auf ihre Funktionserfüllung und Zuverlässigkeit getestet werden. Probleme werden früh erkannt und können behoben werden, wodurch die Qualität des ausgelieferten Systems und damit die Kundenzufriedenheit steigen. [GF06]

Um die Anforderungen des Kunden zu erfüllen und damit das Entwicklungsziel zu erreichen, ist das Anforderungsmanagement ein wichtiges Hilfsmittel. Durch gekonntes Anforderungsmanagement werden aus den Anforderungen an das Gesamtsystem klar die Anforderungen auf der Einzelkomponentenebene abgeleitet. So wird sicher gestellt, dass alle Komponenten die Spezifikationen besitzen, die eine maximale Befriedigung der Kundenanforderungen bewirken.

Durch eine Lösung, die Informationsbrüche zwischen den disziplinspezifischen Softwaretools und die damit verbundene manuelle Datenübertragung vermeidet, wird die Gefahr des Verlustes oder der Verfälschung von Informationen deutlich vermindert. Auf diesem Wege werden Qualitätsprobleme vermieden, die sonst aus diesen Fehlern entstehen können [Doh02] und die Systemqualität und damit auch die Effektivität werden gesteigert.

Auch für die Effizienz der Entwicklung hat die frühe Aufdeckung und gezielte Berücksichtigung von Wechselwirkungen einen großen Nutzen. In Kombination mit einer systematischen Koordination und Kommunikation der Disziplinen und der frühen Festlegung des Systemkonzeptes im Systementwurf kann sie Fehler und Missverständnisse, die zu Iterationen führen würden, verhindern und damit Zeitverluste und zusätzliche Kosten vermeiden.

Auch die ständige Validierung der Ergebnisse durch Simulation kann durch ein frühzeitiges Erkennen von Entwicklungsfehlern zeitaufwendige Rücksprünge verhindern. Zusätzlich können durch virtuelle Testläufe bisher benötigte Prototypen überflüssig werden. Da in der Regel ein Test durch Simulation deutlich günstiger als ein Test an einem realen Prototypen ist, werden auf diesem Wege Kosten eingespart. [VDI04], [MDV09] Weiterhin werden durch Insellösungen bei den Entwicklungs- und Simulationstools die Entwicklungsgeschwindigkeit und die Entwicklungskosten erhöht. Daher kann der ergänzende vereinfachte Ergebnisaustausch zwischen den verschiedenen Entwicklungstools durch ein geeignetes Datenmanagement zu einer weiteren Zeit- und Kostenersparnis führen. [Doh02]

Das bisherige nicht integrierte sequentielle Vorgehen führt zu teilloptimierten Systemen mit teilweise inkompatiblen Schnittstellen, die zeit- und kostenaufwendige Iterationen nach sich ziehen. [VDI04], [GF06] Durch die integrierte und parallelierte Vorgehensweise der angestrebten Entwicklungsumgebung im Sinne eines Concurrent Engineerings können damit große Zeit- und Kostenpotenziale gehiebt und Prozessqualität und -beherrschung deutlich gesteigert werden.

4 Integratives Prozessmodell der Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme

Basis der Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme bildet ein integratives Prozessmodell. Das Prozessmodell baut dabei auf bereits bestehenden Entwicklungsmodellen auf und unterstützt den idealtypischen disziplinübergreifenden Prozessverlauf bei der Entwicklung fluidtechnisch-mechatronischer Systeme.

Hinsichtlich des integrativen Prozessmodells stellt die VDI-Richtlinie 2206 [VDI04] ein erstes Modell bereit, mit dessen Hilfe sich ganz allgemein die Entwicklung mechatronischer Systeme grob strukturieren lässt. Insbesondere berücksichtigt sie explizit die Erstellung eines Systementwurfes, wobei an dieser Stelle des Modells weiterer Entwicklungsbedarf dahingehend besteht, Wechselwirkungen, insbesondere aufgrund der Fluidtechnik als vierter zu berücksichtigende Disziplin, konkret aufzudecken. Ist der Systementwurf erstellt, teilt sich der Entwicklungsprozess in die einzelnen Disziplinen auf. Diese parallele Entwicklung in den unterschiedlichen Disziplinen im Sinne eines Concurrent Engineering ist auch für den Entwurf fluidtechnisch-mechatronischer Systeme besonders sinnvoll, da eine sequentielle Entwicklung zu teilloptimierten Systemen sowie zeit- und kostenaufwendigen Iterationen führen würde. In dieser Entwicklungsphase bietet sich eine Erweiterung des Modells um feste Abstimmungspunkte und eine gezieltere Kommunikation zwischen den Disziplinen an. Aufgrund der parallelen Entwicklung werden die Ergebnisse in einem nächsten Schritt gezielt zusammenge-

führt/integriert, um zu einer Gesamtlösung zu kommen. Neben diesen Entwicklungsschritten beinhaltet die Richtlinie einen Baustein Modellbildung und -analyse, welcher eine Unterstützung der Entwicklung durch Simulation beinhaltet. Aufgrund der Allgemeingültigkeit des Ansatzes für alle mechatronischen Systeme geht er jedoch nicht auf spezielle Entwicklungstools oder eine konkrete Lösung für den wichtigen Austausch von Ergebnissen ein. Die einzelnen Teilschritte in der Entwicklung können an die jeweilige Entwicklungsaufgabe angepasst angeordnet werden. Sie stellen also konfigurierbare Prozessbausteine dar, die ein wesentlicher Bestandteil des Prozessmodells sind. Hier besteht zusätzlicher Entwicklungsbedarf, um den konfigurierbaren Prozessbausteinen eine Konfigurationslogik zur Seite zu stellen. Zusammenfassend bietet die VDI-Richtlinie 2206 eine generische Vorgehensweise, die auf das integrative Prozessmodell übertragen wird. Aufgrund des höheren Detaillierungsgrades des hier angestrebten Prozessmodells wird sie jedoch weiter spezifiziert und erweitert.

Im Rahmen der interdisziplinären Entwicklung nimmt die Koordination des Prozesses eine besonders wichtige Stellung ein. Hier bietet die VDI-Richtlinie (s.o.) Erweiterungspotenziale, die im integrativen Prozessmodell durch das Quality Gate Konzept gedeckt wird, welches auch im Rahmen des Systems Engineerings eingesetzt wird. Diese Methodik ermöglicht es, den Entwicklungsprozess in Projektphasen einzuteilen, Ergebnisse zu vereinbaren, die Aufgaben innerhalb eines Abschnittes festzulegen, den Fortschritt zu synchronisieren und die Entwicklungsqualität zu kontrollieren. [PS03] Solche unterstützenden Methoden werden im integrativen Prozessmodell, wiederum in Anlehnung an das Systems Engineering, parallel zum eigentlichen Entwicklungsprozess in einem Projektmanagement zusammengefasst. Dieses übernimmt im Gesamtprozess eine planende, überwachende, koordinierende und steuernde Funktion. [HDH02]

In dem Prozessmodell ist zudem ein Anforderungsmanagement, wie es z.B. als Baustein im V-Modell XT – einem Entwicklungsmodell aus der Softwareentwicklung [RBH+08] – vorgesehen ist und auch im Systems Engineering genutzt wird, fest integriert. Hier wird zunächst sicher gestellt, dass alle Anforderungen systematisch erfasst werden, um sie in einem nächsten Schritt in den einzelnen Systemkomponenten abzubilden und so die Nachverfolgbarkeit der Umsetzung der einzelnen Anforderungen zu ermöglichen.

Die bei der Gestaltung des Prozessmodells 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, welche vor allem bei größeren Anlagen, wie z.B. einer Presse, einen nicht unerheblichen Zeit- und Kostenaufwand darstellt, eine virtuelle Inbetriebnahme genutzt. Hier wird z.B. die Hardware-in-the-Loop Simulation als Ansatz zur vereinfachten Reglerabstimmung mit dem Ziel einer beschleunigten Inbetriebnahme eingesetzt.

Insgesamt ergibt sich so eine dreigeteilte Struktur des Prozessmodells, wobei die eigentliche Entwicklung im Sinne der Problemlösung zusammen mit der Validierung im Zentrum steht. Diese beiden Prozessstränge ergänzen sich. Darüber stehen die entwicklungsbegleitenden Prozesse, welche planende, überwachende, koordinierende und steuernde Funktionen einnehmen. Das entstehende Prozessmodell wird in Abbildung 2 veranschaulicht.

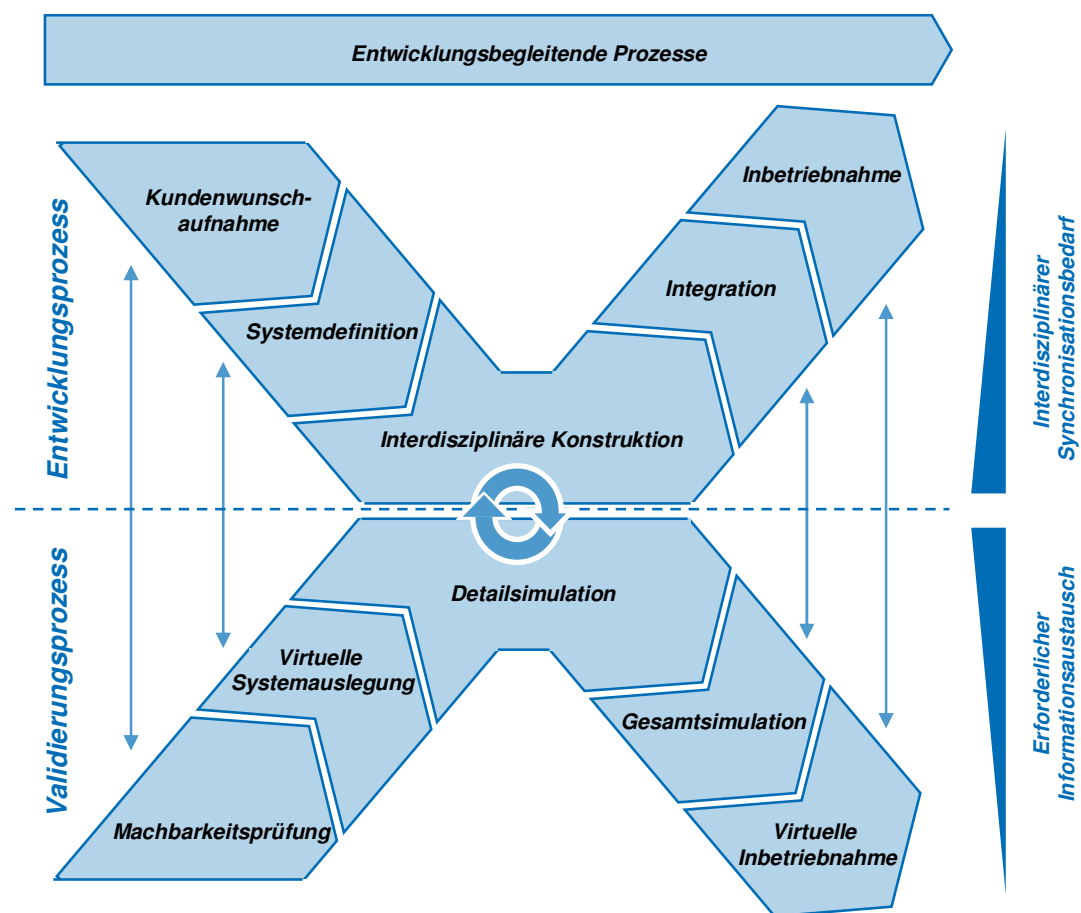


Abbildung 2: Integratives Prozessmodell einer Entwicklungsumgebung für fluid-technisch-mechatronische Systeme

Das Prozessmodell wird dabei von links nach rechts durchschritten. Je weiter man sich nach rechts bewegt, desto mehr nimmt der Reifegrad des zu entwickelnden Systems zu.

Betrachtet man den Entwicklungsprozess, so beginnt er mit der Aufnahme der Anforderungen, welche 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 so findet der disziplinspezifische Entwurf statt und die Entwicklung teilt sich an dieser Stelle in eine fluidtechnische, eine mechanische, eine softwaretechnische und eine elektrische Entwicklung auf. Trotz dieser Aufteilung finden weiterhin ein regelmäßiger Ergebnisaustausch und feste Meetings 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 mehr verschwimmen, desto weiter man sich von ihr entfernt. Dort wo die Grenzen kaum existent sind, arbeiten die verschiedenen Disziplinen sehr eng zusammen. Somit synchronisiert sich der Prozess an diesen Stellen fast eigenständig.

Jedem der Entwicklungselemente steht im Validierungsprozess ein weiteres Element gegenüber, welches dieses absichert. Zunächst wird hier im Rahmen einer Machbarkeitsstudie, die generelle Umsetzbarkeit eines Entwicklungsvorhabens geprüft. Weiter wird zur Absicherung des Systementwurfs die Entwurfssimulation eingesetzt, wobei hier grobe Konzepte auf die Anforderungserfüllung und Machbarkeit hin untersucht werden. Dann folgt die Detailsimulation zur Unterstützung der disziplinspezifischen Entwürfe, welche vor allem in Tools der jeweiligen Fachdisziplin durchgeführt wird. Hier kommt es vor allem auf den Austausch der Simulationsergebnisse der Disziplinen an, weshalb aufgrund der vielen unterschiedlichen Tools hier 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.

5 Resümee und Ausblick

Im Rahmen des BMBF Verbundprojektes Fluidtronic wurde eine Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme entwickelt. Das vorgestellte integrative Prozessmodell bildet dafür die Basis. Da das integrative Prozessmodell einen Teil einer umfassenden Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme darstellt und stark von ihren Zielen und Anforderungen abhängt, wurde diese zu Beginn vorgestellt. Dabei wurde sowohl auf die derzeitigen Defizite in der Praxis, sowie auf die an die Entwicklungsumgebung gestellten Anforderungen als auch auf ihre Nutzenpotentiale und ihre Struktur näher eingegangen.

Eine immer weiter fortschreitende Integration der Disziplinen Mechanik, Fluidtechnik, Elektronik und Informationstechnik, haben die Komplexität fluidtechnisch-mechatronischer Systeme in den letzten Jahren erheblich gesteigert. Im gleichen Maße stiegen die Herausforderungen im Rahmen der Systementstehung. 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 Potenziale nur durch einen domänenübergreifenden Entwicklungsansatz erschlossen werden können.“ [WKG+07] Demnach ist es von großer Bedeutung die bestehenden Entwicklungsmethoden durch ein durchgängiges interdisziplinäres Denken zu erneuern um sich der neuen Situation anzupassen.

In diesem Zusammenhang sind fluidtechnisch-mechatronische Entwicklungsprozesse eine wichtige Unterstützung. Sie ermöglichen es die Zusammenarbeit der Disziplinen zu koordinieren und zu steuern und helfen den Unternehmen Schwachstellen in den eigenen Prozessen aufzudecken. Zudem bieten sie durch konfigurierbare Prozessbausteine eine gewisse Standardisierung bei gleichzeitig erhaltener Prozessflexibilität. Dabei besteht ein Forschungsbedarf hinsichtlich einer Einführungsmethodik, mit der die Referenzprozesse möglichst kontrolliert in die Unternehmensprozesse integriert werden können. [SR07]

Ausblickend ist festzuhalten, dass es auf dem Weg zu einem domänenübergreifenden Entwicklungsansatz vor allem die Bestrebungen zu einer Kopplung der disziplinspezifischen Simulationsprogramme weiter zu forcieren gilt, um den Entwicklern eine Simulation der Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Subsystemen zu ermöglichen. Nur so kann das volle Potenzial der virtuellen Systementwicklung genutzt werden. Derartige Bestrebungen existieren für mechatronische Anwendungen bereits in größerer Anzahl, was die Aktualität dieses Themas verdeutlicht. Fluidtechnisch-mechatronische Systeme jedoch benötigen ein

weiteres Simulationsmodul, welches die Abbildung hydraulischer und pneumatischer Subsysteme ermöglicht. Gerade auf diesem Gebiet ist weitere Forschung notwendig.

Literatur

- [Boe88] BOEHM, B., A Spiral Model of Software Development and Enhancement, in: IEEE Computer, 21. Jg., 1988, Nr. 5, S. 61-72.
- [Doh02] DOHMEN, W., Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme, München: Herbert Utz Verlag 2002.
- [Dum08] DUMITRESCU, R., Herausforderungen bei der Entwicklung mechatronischer Systeme und ihre Lösung, in: Eigner, M. (Hrsg.): Mechatronik - Die Herausforderung an Integration im Produktentstehungsprozess, Techn. Univ., Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung: Kaiserslautern, 2008, S. 227-245.
- [Eig08] EIGNER, M.: Mechatronik - Die Herausforderung an Integration im Produktentstehungsprozess. Tagungsband - Jahrestagung 2008, Berliner Kreis, Wissenschaftliches Forum für Produktentwicklung e.V., 2008
- [FGK07] FELDMANN, K., GOTH, C., KUNZE, A.: Interdisziplinäre Zusammenarbeit zur spezifischen Förderung der MID-Technologie. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 102. Jg., 2007
- [GF06] GAUSEMEIER, J.; FRANK, U.: Stand und Perspektiven der Entwicklung mechatronischer Systeme. Carl Hanser Verlag, München, 2006
- [HDH02] HABERFELLNER, R. ET AL., Systems engineering : Methodik und Praxis, hrsg. v. Daenzer, W. F., Huber, F., 11. Aufl., Zürich: Verl. Industrielle Organisation 2002.
- [Jac09] JACKSON, C. K., The Mechatronics System Design Benchmark Report: Coordinating Engineering Disciplines, Aberdeen Group, 2006: Abruf am 12.08.2009.
- [MDV09] MURRENHOFF, H., VON DOMBROWSKI, R., VERKOYEN, T., Fluidtronic : Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme in: wt Werkstattstechnik online, 99. Jg., 2009, Nr. 1/2, S. 67-75.
- [NFS+99] NEGELE, H., FRICKE, E., SCHREPFER, L.: Modeling of Integrated Product Development Processes. Proceedings of the 9th Annual Int. Symposium of INCOSE Systems Engineering: Sharing the Future, 1999
- [PS03] PFEIFER, T., SCHMIDT, R., Das Quality-Gate-Konzept: Entwicklungsprojekte softwareintensiver Systeme verlässlich planen, synchronisieren und absichern, in: Industrie Management, 2003, Nr. 5, S. 21-24.
- [RBH08] RAUSCH, A. B., M.; HÖHN, R.; BERGNER, K.; HÖPPNER, S., Das V-Modell XT : Grundlagen. Methodik und Anwendungen, Springer 2008.
- [Sch02] SCHIENMANN, B., Kontinuierliches Anforderungsmanagement: Prozesse, Techniken, Werkzeuge, München [u.a.]: Addison-Wesley 2002.
- [SR07] SCHMITT, R.; RAUCHENBERGER, J.: Qualitätsmanagement bei der Entwicklung software-intensiver technischer Produkte. In: Masing, W.; Pfeifer, T.; Schmitt, R. (Hrsg.): Masing Handbuch Qualitätsmanagement. 5. Aufl., München: Hanser, 2007, S. 847-940. (Zitat S. 875.)

- [SRW09] SCHLUND, S., RIEKHOF, F., WINZER, P., Probleme bei der Entwicklung mechatronischer Systeme, in: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 104. Jg., 2009, Nr. 1-2, S. 54-59.
- [VDI04] VDI, Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, Berlin: Beuth 2004.
- [WKG+07] WINZER, P. ET AL., Ansatz zur Strukturierung verschiedener Konstruktions- und Entwicklungsprozesse für mechatronische Systeme, in: Crostack, H.-A., Ten Hompel, M. (Hrsg.): 1. Kolloquium des SFB-696: Forderungsgerechte Auslegung von intralogistischen Systemen - Logistics on Demand Nr. 1, Verl. Praxiswissen: Dortmund, 2007, S. 99-119.