

Erweiterte Systemmodellierung - Integration impliziter Wissens Elemente in die Erstellung technischer Systemmodelle

Enhanced System Modelling - Integration of Tacit Knowledge Elements into the Creation of Technical System Models

Fabian Wilking^{1*}, Leonie Walter¹, Benjamin Schleich¹, Sandro Wartzack¹

¹ Engineering Design, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

* Korrespondierender Autor:

Fabian Wilking
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk)
Martensstraße 9
91058, Erlangen
Telefon: +49 (0) 9131 / 85-27988
Mail: wilking@mfk.fau.de

Abstract

The increasing complexity of technical consumer products has led to the integration of Model-Based Systems Engineering (MBSE) approaches into sectors that are not viewed as classic users of Systems Engineering. The approach helps grasping the complexity and keeping costs at a low level. However, many companies struggle with the implementation of the approach into their processes. A regularly mentioned reason for this is a missing visibility of a clear benefit. Especially smaller enterprises are facing these problems within the value chain. This paper presents an approach to contribute towards the enhancement of MBSE accessibility. It shows different strategies for the integration of tacit knowledge into system models and discusses their feasibility and contribution towards this enhancement.

Keywords

Systems Engineering, Model-Based Systems Engineering, System Model, Knowledge Management, Tacit Knowledge

1. Einleitung

1.1. Motivation

Die steigende Komplexität technischer Systeme, die notwendig für die Erreichung eines höheren Produktnutzens ist, zwingt Unternehmen dazu, nach neuen Möglichkeiten zu suchen, diese Komplexität beherrschbar zu machen. Besonders im Konsumentenbereich ist diese Entwicklung zu immer komplexeren Produkten zu beobachten, z.B. im Rahmen des autonomen Fahrens oder der zunehmenden Vernetzung. Mit dem Modellbasierten Systems Engineering (MBSE) wurde ein Ansatz geschaffen, diese Komplexität in das entwicklungsmethodische Vorgehen durch die Erstellung von Systemmodellen zu integrieren [1], welche der funktionalen und dadurch einfacheren und zugänglicheren Darstellung von Struktur und Verhalten technischer Systeme dienen [2].

Dennoch haben viele Unternehmen, die nicht aus den klassischen Industriesektoren des Systems Engineering, also nicht aus der Rüstung oder Luft- und Raumfahrttechnik stammen, Schwierigkeiten damit, diesen Ansatz für sich vorteilhaft nutzbar zu machen [3, 4]. Oft genannte Kritikpunkte sind dabei die fehlende Sichtbarkeit klarer Vorteile durch MBSE, ein erhöhter Aufwand durch die zusätzliche Erstellung von Systemmodellen sowie Probleme und Schwierigkeiten bei der Ein- und Durchführung eines modellbasierten Vorgehens in der Entwicklung. Diese neuen Sektoren, die versuchen, MBSE für sich nutzbar zu machen, sind dabei regelmäßig mit anderen Herausforderungen und im Konsumentenbereich zudem mit gänzlich unterschiedlichen Märkten konfrontiert. Darüber hinaus ist es möglich, dass sie sich mit ihrer Produktkomplexität genau an der Schwelle zur wirtschaftlichen, aber auch technischen Sinnhaftigkeit für die Anwendung des MBSE befinden [5, 6].

Eine weitere neue Betrachtung in der MBSE-Forschung liegt dabei zudem auf Zulieferern von Unternehmen, die das MBSE bereits in ihre Entwicklung integriert haben oder eine Integration anstreben [6]. Diese Zulieferer bekommen von ihren Kunden oktroyiert, zu ihren MBSE-Ansätzen, z.B. in Form von Modellen, beizutragen, ohne dass diese dabei selbst davon profitieren, da ihre Produkte weit unter der Schwelle zur notwendigen Produktkomplexität liegen. Sie sind daher in einem erhöhten Maße von den Aufwänden für MBSE betroffen, während sie zugleich nicht von der Anwendung und den daraus resultierenden Vorteilen profitieren. Dieses Erkenntnis führt zu der Aufgabe für die MBSE-Forschung, eine sukzessive Steigerung des Nutzens von MBSE herbeizuführen und dabei vor allem die neuen Industriesektoren sowie nicht-primäre Anwender und KMUs zu involvieren. Für die Umsetzung dieses Vorhabens ist die Betrachtung anderer Probleme, mit welchen KMUs und Zulieferer regelmäßig konfrontiert sind, notwendig. Dabei wird besonders der Transfer von implizitem Wissen als Herausforderung deutlich [6]. Vor allem im Zuge des demographischen Wandels wird dieses implizite Wissen, das als Expertenwissen durch die noch im Unternehmen arbeitenden Mitarbeiter zur Verfügung steht, nicht ausreichend in eine explizite Form umgewandelt und hinreichend unternehmensintern gespeichert. Ein Verlust der Mitarbeiter kann daher zu einem nachhaltigen Verlust von Wissen und Know-How im Unternehmen führen.

1.2. Forschungsziel

Systemmodelle, auf deren Grundlage das MBSE aufbaut, bieten als Lösungsansatz zur partiellen Dokumentation des Expertenwissens die funktionale Darstellung des Know-Hows, welches in die Produkte übergeht [7]. Diese Darstellung ist zumeist aber sehr abstrakt und besonders implizites Wissen nicht ausreichend unmittelbar für den Betrachter ableitbar. Daraus ergibt sich folgende Forschungsfrage: *Wie lassen sich implizite Wissens Elemente nutzbar in Systemmodelle und deren Erstellung integrieren, sodass für die Anwender bei der Verwendung von MBSE Vorteile entstehen?*

Aufgrund der Anwendungsprobleme sowie Schwierigkeiten einer Nutzenbeurteilung des MBSE ist diese Arbeit somit als Teil eines Ansatzes zu sehen, der sich der Frage nach einer sukzessiven Steigerung des MBSE-Nutzens für Anwender stellt, die an der Schwelle der Amortisation stehen bzw. ihren Beitrag zum Ansatz oktroyiert bekommen. Dafür werden im Folgenden drei Konzepte vorgestellt, die eine Adaption bzw. Verknüpfung von Systemmodellen beschreiben und implizites Wissen in explizites Wissen umwandeln und dokumentieren, sowie sich mit dem System und einzelnen Elementen verbinden lassen.

1.3. Vorgehensweise

Zur Erreichung des Forschungsziels werden zunächst die Grundlagen des MBSE dargestellt und Aufwände sowie Vorteile besprochen. Als zweite Komponente für die Grundlagen zu dieser Arbeit werden Ansätze aus dem Wissensmanagement vorgestellt, die sich mit der Speicherung und Transformation von implizitem Wissen auseinandersetzen. Darauf folgend werden Potenziale aufgezeigt, die sich aus der Verknüpfung von Systemmodellen mit Konzepten zur Wissensspeicherung ergeben. Aus diesen werden drei verschiedene Ansätze für eine potenzielle Umsetzung abgeleitet und diese anschließend hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit und Vorteile aber auch ihrer Nachteile diskutiert. Abschließend wird ein Ausblick auf weitere Potenziale sowie Herausforderungen gegeben, die sich inhaltlich an dieses Forschungsthema anschließen.

2. Stand der Forschung

2.1. Model-Based Systems Engineering - Potenziale und Aufwand

Model-Based Systems Engineering beschreibt einen Ansatz zur Entwicklung von technischen Systemen mit zusammenhängenden Modellen statt einzelner Dokumente. Durch diesen Ansatz wird der Kern des Systems Engineering, das Systemdenken, anwendbar gemacht. Die Nutzung des MBSE ergibt folgende Vorteile [8–10]:

1. **Systemverständnis:** Die Verknüpfung der Modelle sowie die Darstellung funktionaler Zusammenhänge ermöglichen es, das System im Gesamtkontext zu sehen und Abhängigkeiten sowie Wechselwirkungen zwischen Elementen zu identifizieren.
2. **Disziplinen- und stakeholderübergreifende Kommunikation:** Standardisierte Notationen, z.B. in der SysML, schaffen eine konsistente Grundlage für das Systemverständnis. Dadurch ist es möglich, dass Ingenieure aus unterschiedlichen Disziplinen und Domänen oder verschiedene Stakeholder aus ihrer Perspektive heraus dasselbe System betrachten können.
3. **Rückverfolgbarkeit und Transparenz:** Entwicklungen sind zumeist von Iterationen und Entscheidungen geprägt. Modellbasierte Ansätze ermöglichen es, diese Entscheidungen zurückzuverfolgen und nachvollziehbar zu machen.
4. **Konsistenz:** Verbundene Modelle schaffen eine konsistente Grundlage und verhindern veraltete Informationen. Das Systemmodell bildet dabei die primäre Informationsquelle über das System als sogenannte "Single Source of Truth".

Die Anwendung von MBSE ist jedoch von zahlreichen Problemen geprägt, mit denen Unternehmen konfrontiert werden. Diese Hindernisse, welche die erfolgreiche Anwendung von MBSE in der eigenen Entwicklung be- oder verhindern, sind u.a. fehlende Methoden, nicht quantifizierbare Vorteile durch den Ansatz sowie Schwierigkeiten, den passenden Anwendungsgrad zu finden. Zudem hat sich gezeigt, dass es unterschiedliche Motivationen für die Anwendung von MBSE-Ansätzen geben kann:

- **Intrinsische Motivation:** Die Unternehmen profitieren unmittelbar von der Anwendung des MBSE-Konzeptes, da ihre Produkte die notwendige Schwelle an Komplexität erreichen.
- **Extrinsische Motivation:** Unternehmen bekommen als Zulieferer eines Herstellers komplexer Systeme die Aufwände, z.B. die Erstellung von Modellen, oktroyiert, die für eine Umsetzung des MBSE-Konzeptes notwendig sind.

Besonders bei der extrinsischen Motivation wird deutlich, dass Unternehmen, die selbst nicht oder kaum vom MBSE profitieren, einem erhöhten Aufwand ausgesetzt sind. Besonders für diese Unternehmen ist es daher notwendig, weitere Vorteile aus dem MBSE-Ansatz zu schaffen und somit den zusätzlichen Aufwand zu kompensieren [6].

2.2. Wissensmanagement & implizites Wissen

Die Nutzbarmachung von Wissen ist im industriellen, wie auch im gesellschaftlichen Kontext eine essenzielle Komponente zur Erreichung neuer Ziele und folglich unabdingbar für die Generierung von Innovationen und die Entwicklung neuer Produkte [11]. Die ökonomische Prägung der wertschöpfenden Industrie verhindert jedoch aus der eigenen Natur heraus eine gezielte, öffentlich zugängliche Wissensdokumentation, da eine solche Wettbewerbsvorteile auflösen würde. Wissensmanagement beschreibt daher Ansätze, die vor allem unternehmensspezifisch gesehen werden müssen. Sie verfolgen im Kern die eigene Nutzbarmachung des im Unternehmen gehaltenen Wissens. Dieses gehaltene Wissen wird dabei in zwei Formen unterschieden [12]:

- **Explizites Wissen:** Diese Form des Wissens lässt sich eindeutig identifizieren, sie ist für den Betrachter verständlich und lässt sich formell ausdrücken. Dies können beispielhaft Werte aus Tabellenbüchern sein, die dem Ingenieur bei der Auslegung von Bauteilen unterstützen.
- **Implizites Wissen:** Gegenteilig zum expliziten Wissen ist implizites Wissen nicht unmittelbar zugänglich. Im industriellen Kontext werden damit meist Erfahrungswerte oder persönliche Fähigkeiten beschrieben. Es beinhaltet daher nicht nur noch nicht ausgesprochenes Wissen, sondern im gleichen Maße auch in dieser Form nicht aussprechbares Wissen.

Für Dokumentationszwecke eignet sich das explizite Wissen besonders. Gerade spezialisierte Unternehmen besitzen jedoch meist vermehrt implizites Wissen, aus welchem sie neue Produkte entwickeln. Um den Verlust dieses Wissens zu vermeiden, muss es in explizites Wissen umgewandelt und dokumentiert werden. Dabei ist implizites Wissen von subjektiven Einflüssen des Trägers beeinflusst und mit diesen verknüpft. Der Versuch der Überführung in explizites Wissen kann also zum Verlust von Informationen führen oder aufgrund unterschiedlicher Wahrnehmungen falsch aufgefasst werden. Erkenntnisse der Wissensforschung zeigen, dass die Modellbildung diese Transformation unterstützt und das Risiko des Informationsverlustes bei der Entäußerung von implizitem zu explizitem Wissen vermindert [11]. Wissensmanagement hat daher die Aufgabe, unternehmensintern Wissen zu speichern und im Bedarfsfall wieder verfügbar zu machen [13].

3. Integration von implizitem Wissen in Systemmodelle

3.1. Potenziale der Systemmodellierung

Modelle eines Systems können in unterschiedlicher Ausprägung vorliegen. Dabei enthält jedes Systemmodell implizites Wissen, welches in die Ausgestaltung des Modells

übergegangen ist. Hohe Relevanz für komplexe technische Systeme haben funktionale Modelle, wie z.B. SysML-Diagramme. Diese beschreiben die funktionalen Zusammenhänge in der Struktur und das Verhalten eines Systems. Nachfolgend wird unter dem Begriff des Systemmodells dieses Metamodell verstanden, welches in drei Bereichen die Entwicklung unterstützt:

1. **Visualisierung:** Komplexe Systeme erfordern ein tiefgreifendes Verständnis. Modellhafte Visualisierungen tragen dazu bei, Zusammenhänge unter dem Aspekt des Systemdenkens zu erschließen. Dadurch lässt sich die Komplexität des Systems greifbarer machen.
2. **Dokumentation:** Durch die funktionale Modellierung lassen sich Modellelemente miteinander verknüpfen. Auch Anforderungen lassen sich unmittelbar mit physischen Teilen oder Subsystemen verbinden, sodass Wechselwirkungen nachvollziehbar dokumentiert sind.
3. **Technische Nutzbarmachung:** Funktionale Modellierung ermöglicht zudem die technische Nutzbarmachung von Verknüpfungen zwischen den Elementen bzw. deren Verhaltensweisen. Zusammenhänge können dazu genutzt werden, schnell Produktalternativen zu generieren oder Verhaltensweisen, z.B. für den Digitalen Zwilling, festzulegen [14, 15]. Die maschinelle Auslesbarkeit von funktionalen Modellen, z.B. über eine offene Schnittstelle als XML-Format, ermöglicht eine vielfältige technische Verwendung der zugrundeliegenden Daten.

Diese Aspekte für die Nutzung funktionaler Modelle im MBSE ermöglicht nachfolgend eine Betrachtung des Nutzens und den damit einhergehenden Herausforderungen für die Integration von Wissen in diese Modelle.

3.2. Vorteile durch und Herausforderungen für die Integration

Die in 3.1 dargestellten Nutzungskategorien funktionaler Modelle lassen sich gleichsam auf die Integration von Wissen anwenden, um deren Potenziale zu identifizieren. So beschreiben beispielsweise SysML-Diagramme zwar Zusammenhänge zwischen einzelnen Elementen und ihre Eigenschaften, eine Begründung für ihre Existenz ist i.d.R. allerdings nicht ableitbar. Es lässt sich daher erklären, wieso ein System und auf welche Weise es funktioniert, nicht aber warum ein bestimmtes Element gewählt wurde. Einzelne Elemente lassen sich mit expliziten Anforderungen verbinden, sodass dadurch die Erfüllung der Anforderung durch das Element aufgezeigt wird, jedoch betrifft dies ausschließlich Elemente des Systems, für welche eine solche explizite Anforderung vorliegt. Das eigentliche Know-How des Unternehmens wird dadurch nur partiell dargestellt. Dabei lassen sich in allen drei Nutzungskategorien Potenziale für die Integration impliziter Wissens Elemente feststellen:

1. **Visualisierung:** Für die konzeptionelle Darstellung von Systemen als ein Anwendungsbereich funktionaler Modellierung kann die Integration von implizitem Wissen dazu beitragen, ein homogenes Systemverständnis für alle Nutzer zu schaffen. Betrachter unterschiedlicher Disziplinen erhalten dadurch, wenn notwendig, ein tiefgreifendes Verständnis für Entwicklungsentscheidungen. Auch für weitere Entwicklungsarbeiten kann dieses einheitliche Verständnis Inkonsistenzen aufgrund verschiedener Auffassungen vermeiden.
2. **Dokumentation:** Die Integration von Wissen in die Modellierung ermöglicht es, Systemmodelle nahezu vollständig zu dokumentieren. Gründe für Design-Entscheidungen und die Auswahl von Komponenten sind dokumentiert und mit den zugehörigen Elementen verbunden. Dadurch lässt sich vorhandene und entstandene

Erfahrung unmittelbar im Zusammenhang mit der technischen Ausgestaltung konservieren.

3. **Technische Nutzbarmachung:** Eine aktuelle Nutzbarmachung dieser Wissensspeicherung ist in Form von Mitarbeiterschulungen möglich. Diese können beispielsweise die dokumentierten Erfahrungswerte aus alten Projekten und Systemen für eigene Entscheidungsfindungen heranziehen. In Kapitel 4 wird eine weitere Möglichkeit der zukünftigen Nutzbarmachung vorgestellt.

Neben diesen Vorteilen, implizites Wissen in eine explizite Ausprägung umzuwandeln und unmittelbar mit dem technischen System zu verbinden, gehen mit einem solchen Ansatz auch Herausforderungen einher. Der zusätzliche Modellierungsaufwand für einen solchen Ansatz darf nicht unterschätzt werden und muss von der zentralen Frage für Unternehmen begleitet werden, welche Methoden des MBSE das Unternehmen für die Erfüllung der Tätigkeiten benötigt. Besonders bei der Betrachtung eines oktroyierten MBSE-Aufwandes muss abgewogen werden, inwiefern diese zusätzliche Modellierung für das beliefernde Unternehmen einen Mehrwert oder lediglich einen Aufwand darstellt. Eine weitere Herausforderung ist die konkrete Ausgestaltung der Entäußerung von implizitem zu explizitem Wissen. Zwar wird das implizite Wissen durch die Modellierung explizit, es muss jedoch sichergestellt sein, dass der notwendige Informationsgrad erhalten bleibt und nicht durch die individuelle Subjektivität, die mit dem impliziten Wissen und seiner Träger einhergeht, beeinflusst wird. Die menschliche Sprache bietet dafür einen großen Interpretationsspielraum. Für die maschinelle Auslesbarkeit muss eine konsistente und eindeutige Formulierung sichergestellt sein.

Nachfolgend werden drei Ansätze vorgestellt, die eine praktische Umsetzung der Integration impliziter Wissens Elemente in die Systemmodelle ermöglichen. Für eine zugängliche Darstellung wird ein einheitliches Beispiel verwendet, welches die Verbindung zweier Bleche durch eine Schweißnaht darstellt und vor allem Wissen auf Komponentenebene repräsentiert. Dieses sehr einfache Beispiel dient ausschließlich der besseren Verständlichkeit der Konzepte. Eine funktionale Modellierung, z.B. mit SysML, ist auf dieser Ebene meist nicht sinnvoll. Für größere Systeme allerdings ergeben sich auf höheren Betrachtungsebenen durch eine solche Wissensintegration weitere Potenziale auf Systemebene.

3.3. Ansätze für die Integration von Wissens Elementen in Systemmodelle

3.3.1. Ansatz I: Textuelle Implementierung

Für den ersten Ansatz werden die Elemente eines Systems im Modell mit zusätzlichen Eigenschaften in textueller Form versehen. Funktionale Modelle stellen zwar das einzelne Element im Kontext dar, ermöglichen jedoch nur bedingt eine Einsicht in den Grund für das Vorhandensein der Elemente. Im Beispiel (s. Bild 2) können Textfelder zeigen, warum eine Schweißverbindung statt einer anderen Verbindung gewählt wurde. Aus den Anforderungen muss nicht hervorgehen, ob diese Umsetzung tatsächlich notwendig ist oder eine andere Verbindung, wie z.B. die Verschraubung der Bleche, ebenfalls möglich wäre. Die Entscheidung für eine solche Verbindung kann auf die Erfahrungswerte des Konstrukteurs zurückgeführt werden, der das gezeigte Bauteil auch im Kontext der Umgebung sieht und auf dieser Grundlage die Entscheidung für eine Schweißverbindung getroffen hat. Aus dem ursprünglichen Modell, welches lediglich die Verbindung zeigt, wäre zwar hervorgegangen, in welcher Art eine solche Verbindung vorliegt. Der eigentliche Grund und das konstruktionstechnische Know-How hätten sich jedoch nicht ergeben.

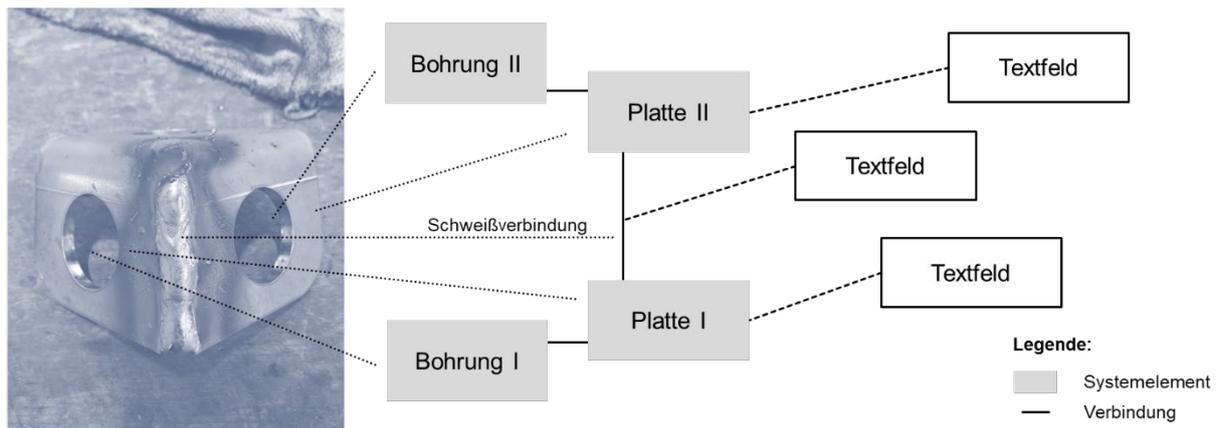


Bild 1: Ansatz I - Textuelle Implementierung

Für diese textuelle Implementierung ergeben sich mehrere Vorteile. So sind sie unmittelbar mit dem betreffenden Element verknüpft und für den Betrachter dadurch beim Begutachten des Systems zugänglich. Weiterhin ermöglichen einige der bereits bestehenden Software-Lösungen eine Integration von ergänzendem Text. Dadurch ist eine Umsetzung dieses Ansatzes bereits mit vorhandenen Tools möglich und bedarf keiner zusätzlichen Investitionen. Darüber hinaus lassen sich diese Textfelder ohne besonderen Aufwand oder zusätzliche Hilfsmittel auslesen und in der Folge auch außerhalb des Modells weiterverwenden. Dieser Ansatz ist vor allem auf eine schnelle Implementierung fokussiert. Dennoch ergeben sich auch Nachteile aus dieser Lösung. Das Wissen kann innerhalb der Textfelder nicht übersichtlich dargestellt werden, da Fließtext zu wenig strukturierende Elemente aufweist. Für eine strukturierte Dokumentation wären also mehrere Textfelder pro Element notwendig. Die Übersichtlichkeit hinsichtlich der Strukturierung des Wissens leidet allerdings bereits bei mehr als einem Wissensselement pro Systemelement. Zudem erfordert eine textuelle Darstellung auch einen Konsens hinsichtlich der Bezeichnung. Sprache ist immer von einem subjektiven Verständnis abhängig. Explizites Wissen muss in dieser Form also eindeutig und zugänglich für den Betrachter sein. Da die Systemmodelle im Kontext der Wertschöpfungskette an den Kunden für dessen MBSE-Konzept weitergegeben werden, muss weiterhin eine Filterung dieser Wissensselemente erfolgen, sodass das gespeicherte Wissen nicht weitergegeben wird.

3.3.2. Ansatz II: Wissensdiagramme

Eine wichtige Erweiterung der SysML gegenüber der UML für die Modellierung technischer Systeme ist die Verwendung von Anforderungsdiagrammen. Dadurch lassen sich Abhängigkeits- und Erfüllungsbeziehungen unmittelbar im Modell darstellen. In einem gewissen Rahmen können diese Anforderungsdiagramme bereits als "Wissensdiagramme" gesehen werden, da sie durch die Erfüllungsbeziehung Aufschluss über die Existenz eines Elementes geben. Dieser Ansatz beschreibt jedoch die Implementierung von eigenen Wissensdiagrammen als Erweiterung des Systemmodells. Die Wissensdiagramme können dabei als Datenbank für das im Modell verankerte Wissen verwendet und mit den zugehörigen Systemelementen bzw. den Verbindungen zwischen diesen verknüpft werden. Bild 3 zeigt exemplarisch den Aufbau eines solchen Wissensdiagrammes und eine mögliche Verbindung innerhalb des Strukturdiagrammes.

Die dadurch entstehenden Diagramme haben den großen Vorteil gegenüber der textuellen Lösung, dass sie unabhängig vom spezifischen System entstehen können. Das darin gespeicherte Wissen lässt sich gliedern und für andere Produkte nutzen. Dennoch ermöglicht es die unmittelbare Verknüpfung zu einem expliziten System und beschreibt dadurch die praktische Umsetzung des Wissens. Eine solche Erweiterung der Sprachen für die funktionale Systemmodellierung erfordert jedoch eine umfangreiche Validierung der sprachinternen

Konsistenz, also die Eindeutigkeit der Notation, sowie die Erarbeitung von Vorgehensmodellen hinsichtlich einer integrierten Modellierung von Wissen. Gleichsam wie für die textuelle Lösung erfordert der Ansatz eine standardisierte Formulierung des Wissens auf Basis einer klar definierten Sprache. Zwar ergeben sich Verbindungen und Zusammenhänge aus der logischen Struktur der Diagramme, der Kern, also das Wissen selbst, muss jedoch weiterhin in einer verständlichen Formulierung integriert werden. Auch hier ergibt sich der Nachteil, dass das Wissen nur textbasiert wiedergegeben wird, was gegenüber bspw. Bildern oder Skizzen eine Reduzierung des Informationsgehaltes zur Folge hat. Da die Diagramme zwar verknüpft, aber unabhängig vom Systemmodell entstehen, ist eine einfache Abtrennung von internen Modellen und Modellen als Vertragsbestandteil möglich.

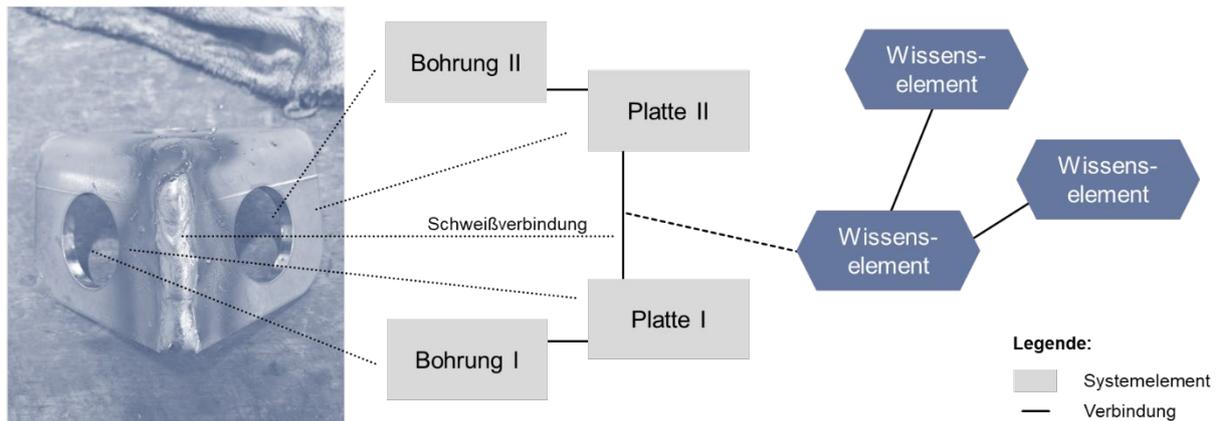


Bild 2: Ansatz II - Wissensdiagramme

3.3.3. Ansatz III: Verknüpfte Wissensdatenbanken

Als dritter Ansatz ist eine externe Abspeicherung von Wissen denkbar. Dieser Ansatz unterscheidet sich daher grundsätzlich von den anderen beiden Ansätzen. Dabei wird nicht Wissen im Systemmodell abgespeichert, sondern das Systemmodell mit einer bestehenden Wissensdatenbank in eine andere Softwarelösung verknüpft (s. Bild 4)

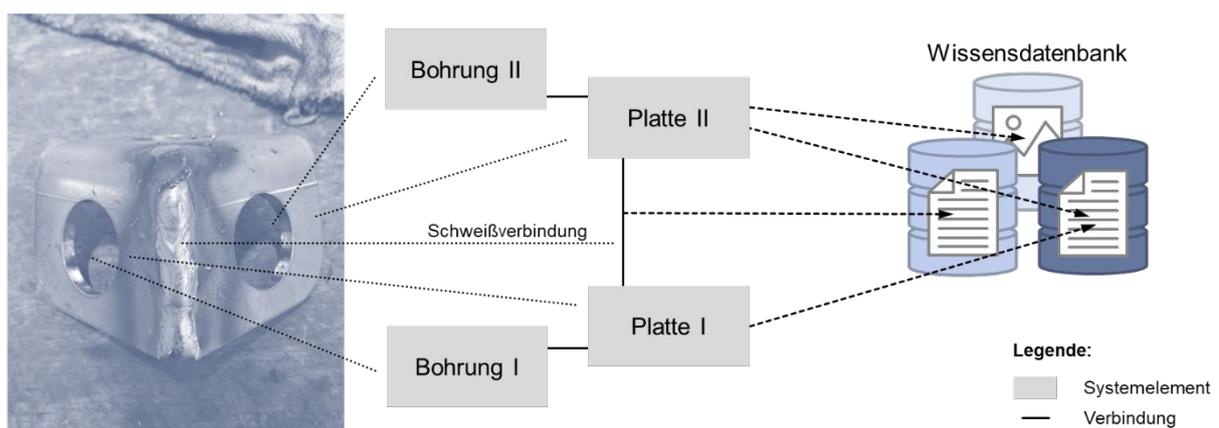


Bild 3: Ansatz III - Verknüpfte Wissensdatenbanken

Der größte Vorteil dieses Ansatzes ist die Integration eines unter Umständen schon bestehenden Konzeptes für Wissensmanagement im Unternehmen. Dadurch ergeben sich vor allem Möglichkeiten hinsichtlich des Anpassungsgrades für das Unternehmen. Außerdem kann das implizite Wissen, zusätzlich zur bereits vorgestellten textuellen Darstellung, in beliebiger Form, beispielsweise Bildern oder Skizzen, dokumentiert werden. Dieses Wissen

kann auch wie im zweiten Ansatz für beliebige Systeme weiterverwendete werden. Allerdings erfordern diese Verknüpfungen einen erheblichen Mehraufwand zur Anpassung an die Infrastruktur der Unternehmen, welcher sich für jedes einzelne Unternehmen erneut ergibt. Zusätzlich besteht dabei die Gefahr, dass Änderungen am Wissensmanagementsystem zu Schnittstellenkonflikten führen können. Außerdem kann durch den Schritt aus dem Systemmodell heraus in das Wissensmanagementsystem hinein der Bezug zum Systemelement verloren gehen. Gerade hinsichtlich des Vorteils der Wissensspeicherung im Kontext von KMUs und Systemlieferanten ist dieser Aufwand zur Implementierung nicht zu vernachlässigen. Eine Begrenzung der Wissensweitergabe lässt sich jedoch relativ einfach realisieren.

3.4. Beurteilung und Vergleich der Konzepte

Die vorgestellten Konzepte zeigen, dass es unterschiedliche Herangehensweisen gibt, um implizites Wissen in Systemmodelle zu überführen und dadurch in explizites und eindeutig dokumentiertes Wissen umzuwandeln. Für die komparative Beurteilung der Ansätze sollten diese hinsichtlich der Integrationsmöglichkeit, ihrer Übersichtlichkeit und der Möglichkeit zur Granularität in der Systembetrachtung beurteilt werden. Zudem müssen der notwendige Zusatzaufwand sowie die Unterschiede der Wissensdarstellung betrachtet werden. Ein Vergleich ist in Tabelle 1 dargestellt. Bei der komparativen Betrachtung der dargestellten Ansätze kann festgestellt werden, dass jeder Ansatz seine eigenen Vorteile mit sich bringt und für bestimmte Anwendungsgebiete besser geeignet ist als die anderen. Besonders jedoch Ansatz II ermöglicht die Speicherung von Wissen auf einer höheren Systemebene und ist im Kontext des MBSE zu präferieren, da die Modellierung auf dieser Ebene stattfindet.

Tabelle 1: Eigenschaften der vorgestellten Konzepte

	Übersichtlichkeit	Darstellungsform	Aufwand	Granularität
Ansatz I	Unübersichtlich	Textuelle Verknüpfung	Gering	Komponentenebene
Ansatz II	Logisch strukturiert	Eigene Diagramme zur Wissensdarstellung	Mittel	Komponenten- und Systemebene
Ansatz III	Nicht direkt verbunden	Verknüpfte Datenbank	Hoch	Komponenten- und Systemebene

4. Resümee & Ausblick

Die Betrachtung des zusätzlichen Aufwands für MBSE-Umsetzungen und in einem erhöhten Maße für oktroyierten Aufwand diesbezüglich hat gezeigt, dass Überlegungen hinsichtlich einer Aufwandskompensation notwendig sind. Zusätzlich ist es besonders für viele kleinere Unternehmen wichtig, dass ihr über die Jahre angesammeltes Know-How auch über eine Generation von Mitarbeitern erhalten bleibt. In diesem Beitrag wurden drei Ansätze vorgestellt, wie eine solche Dokumentation und Visualisierung entstehen kann, die sich die Vorteile der Systemmodelle aus dem MBSE zu Nutze macht. Nichtsdestotrotz muss hinterfragt werden, ob der zusätzliche Aufwand, der mit diesen Konzepten einhergeht, letztlich in einem angemessenen Verhältnis zum Nutzen dazu steht. Die stark strategische Ausrichtung des Wissensmanagements lässt sich nur schwierig quantitativ beurteilen und der Nutzen ergibt sich nur, wenn das bereits bestehende Wissen noch einmal benötigt wird, aber nicht unmittelbar z.B. durch einen Mitarbeiter zur Verfügung steht.

Wurden mit den drei Ansätzen bisher nur die ersten beiden MBSE-Anwendungsbereiche, Visualisierung und Dokumentation, einbezogen, können die Weiterentwicklungen im Bereich des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz (KI) auf einen weiteren Anwendungsbereich, den der technischen Nutzbarmachung, zurückgreifen. Durch die Überführung des impliziten in explizites Wissen können KIs diese Erweiterung der

Systemmodelle nutzen, um z.B. Produktalternativen unter Implikation des unternehmensinternen Know-Hows zu generieren. Diese Zukunftsvision erfordert jedoch, neben dem großen Baustein der Weiterentwicklung der Methoden künstlicher Intelligenz, viele weitere Anpassungen im Rahmen der Wissensmodellierung. Dazu gehört die angesprochene maschinelle Auslesbarkeit des Wissens sowie die Schaffung einer konsistenten logischen Struktur für die Modellierung. Zudem muss eine Vorgehensweise für die Unternehmen geschaffen werden, ihr eigenes Know-How in Modelle zu übertragen. In diesem Beitrag wurde aufgezeigt, welche verschiedenen Möglichkeiten es für eine solche Erweiterung gibt, welche Vorteile und Schwächen diese mit sich bringen, und welche weiteren Herausforderungen und Aufgaben damit einhergehen.

Danksagung

Diese Forschungsarbeit ist Teil des Projekts “Optimierungsbasierte Entwurfsmethodik in der frühen Phase der mechatronischen Produktentwicklung” und wird vom Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (ERDF/OptMePro) gefördert.



Europäische Union

Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

Literaturverzeichnis

- [1] VANEMAN, Warren K. ; CARLSON, Ronald: Model-Based Systems Engineering Implementation Considerations. In: *2019 IEEE International Systems Conference (SysCon)* : IEEE, 2019 - 2019, S. 1–6
- [2] WEILKIENS, Tim: *Systems engineering mit SysML/UML : Anforderungen, analyse, architektur*. 3., überarbeitete und aktualisierte Auflage (Online-ausg.). Heidelberg, Germany : Dpunkt.verlag, 2014
- [3] FRESEMAN, C. ; STARK, R. ; SAUER C. ; SCHLEICH, B. ; WARTZACK, S.: *Lücken und Herausforderungen bei der praktischen Umsetzung des Model-Based Systems Engineering*. In: *Konstruktion* (2019), Nr. 71, S. 81–83
- [4] FRESEMAN, C. ; WILKING, F. ; SCHLEICH, B. ; WARTZACK, S. ; STARK, R.: Gaps and Challenges Applying Model Based Systems Engineering. In: *The 27th International Conference on Transdisciplinary Engineering (TE2020)*, 2020
- [5] HONOUR, Eric C.: *Systems Engineering Return on Investment*. University of South Australia, Defence and Systems Institute. Dissertation. 2013
- [6] WILKING, F. ; SCHLEICH, B. ; WARTZACK, S.: MBSE along the Value Chain – An Approach for the Compensation of additional Effort. In: *15th Annual System of Systems Engineering Conference*, 2020
- [7] STEVENS, Robert: Concept Design Using Model Based Systems Engineering. In: *2019 IEEE Aerospace Conference* : IEEE, 2019 - 2019, S. 1–7
- [8] WAGNER, Christian ; MEYER, Jan: Erfahrung mit modellbasiertem Systementwurf am Beispiel des automobilien Steuergerätes Battery Management System (BMS). In: *Tag des Systems Engineering*, S. 213–224
- [9] EIGNER, M. ; HUWIG, C. ; DICKOPF, T.: Cost-Benefit Analysis in Model-Based Systems Engineering: State of the Art and Future Potentials. In: *Christian Weber, Stephan Husung, Gaetano Cascini, Marco Cantamessa, Dorian Marjanovic, Frederico Rotini (Hg.) 2015 – Proceedings of the 20th International*, S. 227–236
- [10] WALDEN, David D. (Hrsg.): *Systems Engineering Handbook : A guide for system life cycle processes and activities*. Fourth edition. Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons Inc, 2015
- [11] CAIRÓ BATTISTUTTI, Osvaldo ; BORK, Dominik: *Tacit to explicit knowledge conversion*. In: *Cognitive processing* 18 (2017), Nr. 4, S. 461–477
- [12] NONAKA, Ikujiro ; KROGH, Georg von: *Perspective—Tacit Knowledge and Knowledge Conversion: Controversy and Advancement in Organizational Knowledge Creation Theory*. In: *Organization Science* 20 (2009), Nr. 3, S. 635–652
- [13] NORTH, Klaus ; KUMTA, Gita: *Knowledge management : Value creation through organizational learning*. Second edition. Cham, Switzerland : Springer, 2018 (Springer texts in business and economics)
- [14] DWORSCHAK, Fabian ; ZIRNGIBL, Christoph ; SCHLEICH, Benjamin ; WARTZACK, Sandro: Konzept für den MBSE-Einsatz zur automatisierten Individualisierung von komplexen Produkten. In: *DFX 2019: Proceedings of the 30th Symposium Design for X, 18-19 September 2019, Jesteburg, Germany* : The Design Society, 09192019
- [15] ZIMMERMANN, Thomas C. ; MASUHR, Christian ; STARK, Rainer: *MBSE-Entwicklungsfähigkeit für Digitale Zwillinge*. In: *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 115 (2020), special, S. 51–54