Klassifikation und Handhabung von Unsicherheiten zur entwicklungsbegleitenden Erfassung des Produktreifegrades

Thomas Luft und Sandro Wartzack

1 Motivation und Zielsetzung

Das heutige Unternehmensumfeld ist besonders gekennzeichnet durch eine hohe Komplexität und Dynamik, bedingt durch den zunehmenden technologischen Fort-schritt, die gestiegenen und individuelleren Kundenanforderungen sowie die Vielzahl interner und externer Einflussfaktoren. Um trotz dieser Aspekte Wettbewerbsfähigkeit zu erreichen, ist die rasche und gleichzeitig zuverlässige Entwicklung marktfähiger Produkte von herausragender Bedeutung. Um einen erfolgreichen Verlauf eines Entwicklungsprojektes sicher zu stellen, kommt neben der kontinuierlichen Verfolgung von vergangener Zeit und entstandenen Kosten der entwicklungsbegleitenden Überwachung der Produktreife eine Schlüsselrolle zu. Sie stellt die Ermittlung und den Abgleich der aktuellen mit der ursprünglich geplanten Reife des Produkts zu einem bestimmten Zeitpunkt dar und dient als Grundlage für die Ergreifung entsprechender Maßnahmen zur Realisierung der Entwicklungsziele.

Vor diesem Hintergrund und der Zielvorgabe, Produkte schnell, kostengünstig und ausgereift auf den Markt zu bringen, sieht sich die moderne Produktentwicklung mit einer Reihe von Unsicherheiten konfrontiert, die nicht nur das Entwicklungsprojekt an sich erschweren, sondern sich auch auf die Reifegradermittlung eines Produktes auswirken. Die Ermittlung der Produktreife erfordert die Verwendung von Informationen, die vor allem zu Beginn der Entwicklungstätigkeiten größtenteils auf Annahmen beruhen und daher in hohem Maße unsicher sind. Der Grad an Unsicherheit wird noch verstärkt durch die Möglichkeit, dass bestimmte Daten und Gegebenheiten möglicherweise vollkommen unbekannt sind bzw. vernachlässigt werden (De Weck *et al.* 2007). Wird diese Vielzahl an Unsicherheiten nicht rechtzeitig bei der Entwicklung eines Produktes berücksichtigt, hat dies unter Umständen

weitreichende Konsequenzen für das Entwicklungsprojekt und das betroffene Unternehmen, da nach Ehrlenspiel & Meerkamm besonders die Entscheidungen in den frühen Phasen der Entwicklung einen großen Einfluss auf Kosten, Qualität und Produktfunktionalität haben (Ehrlenspiel & Meerkamm 2013). Die Zielsetzung des vorliegenden Beitrages ist daher zum einen die Erarbeitung eines Ansatzes zur Klassifikation von Unsicherheiten und zum anderen die Entwicklung einer Vorgehensweise zur Handhabung von Unsicherheiten in der Produktentwicklung. Die darauf aufbauende, langfristige Zielsetzung ist es, die klassifizierten Unsicherheiten bei der Reifegradbestimmung eines Produktes zu berücksichtigen und sie derartig (mathematisch) zu integrieren, dass trotz vorliegender Unsicherheiten eine möglichst zuverlässige Aussage zum Produktreifegrad getroffen werden kann.

2 Das Konzept der integrierten Produktentwicklung

Nach Schäppi ist die grundsätzliche Idee der integrierten Produktentwicklung eine gleichzeitige, eng miteinander verknüpfte Entwicklung des Produktes und der mit diesen in Verbindung stehenden Prozessen (z. B. Produktion, Logistik, Vertrieb). Zudem werden unter Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus bereits frühzeitig alle relevanten internen und externen Rahmenbedingungen in der Entwicklungsphase berücksichtigt (Schäppi 2005). Dies erfordert somit eine Abkehr vom klassischen Vorgehen, das die einzelnen Funktionen in eine strikte Reihenfolge bringt und voneinander trennt. Vielmehr muss bei der Implementierung eines integrierten Entwicklungskonzeptes auf eine interdisziplinär ausgerichtete Teamarbeit und eine lebenszyklusorientierte Denkweise Wert gelegt werden (Ehrlenspiel & Meerkamm 2013). Die einzelnen Planungs- und Realisierungsschritte werden im Rahmen der integrierten Produktentwicklung gemeinsam und unter Einbeziehung interner und externer Einflussfaktoren betrachtet (siehe Abbildung 1).

Dies hat zur Folge, dass eine exakte Durchführung traditioneller Entwicklungsprozesse mit streng sequenziell angeordneten Arbeitsschritten nicht mehr möglich ist. Die eingangs erläuterten Herausforderungen zwingen unter anderem zu Effizienzsteigerungen in der Entwicklung, die gegenwärtig unter anderem mittels des so genannten Simultaneous Engineering realisiert werden, das in Kapitel 2.1 näher betrachtet wird. Daran schließt sich in Kapitel 2.2 eine kurze Einführung in das Konzept des Design for X (DfX), mit dessen Hilfe die die bereits angesprochenen Aspekte und verfolgten Ziele in die Produktentwicklung integriert werden.

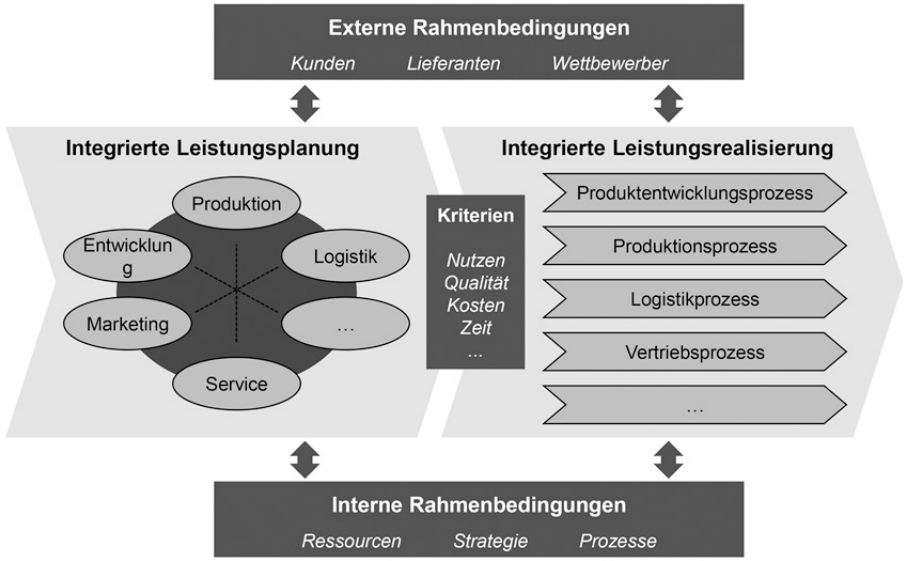

Abbildung 1: Überblick über das Konzept der integrierten Produktentwicklung (nach Schäppi 2005)

2.1 Simultaneous Engineering

Eversheim & Schuh beschreiben den Begriff des Simultaneous Engineering mittels einer branchenunabhängigen Definition. Demnach wird unter Simultaneous Engineering eine integrierte und zeitlich parallele Produkt- und Prozessgestaltung verstanden, die das Ziel verfolgt, die Produkteinführungszeit zu verkürzen, die Entwicklungs- und Herstellkosten zu reduzieren sowie die Produktqualität ganzheitlich zu verbessern (Eversheim & Schuh 2005).

Während bei Entwicklungsprojekten, die nach einem sequenziellen Schema ablaufen, nur wenige Unternehmensbereiche in die frühen Phasen der Produktentwicklung eingebunden werden, erfolgt beim Simultaneous Engineering bereits frühzeitig eine Abstimmung mit anderen Abteilungen wie Einkauf, Produktion und Vertrieb (Derichs 1997). Fertigungsprozesse werden beispielsweise nicht mehr im Anschluss an die abgeschlossene Produktgestaltung geplant, entworfen und ausgearbeitet, sondern parallel zu dieser entwickelt. Darüber hinaus wird im Rahmen des Simultaneous Engineering nach Möglichkeiten gesucht, die einzelnen Phasen in bestimmten Teilbereichen der Produkt- und Prozessgestaltung ebenfalls zu einem gewissen Grad zu parallelisieren (siehe Abbildung 2).

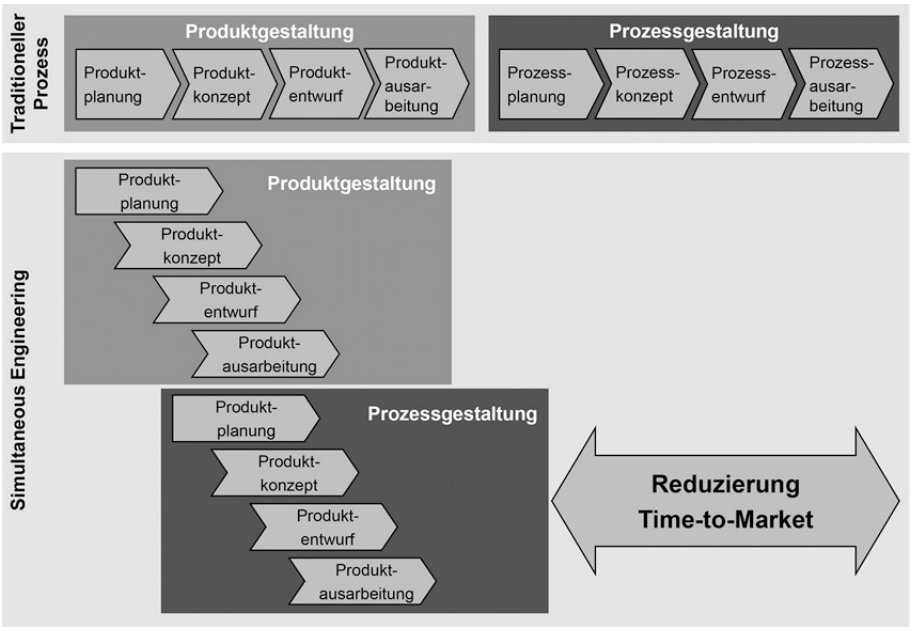

Abbildung 2: Traditioneller Prozessablauf und Simultaneous Engineering im Vergleich (in Anlehnung an Eversheim & Schuh 2005, Derichs 1997)

Problematisch hierbei ist nach Derichs, dass der in den frühen Phasen der Produktentwicklung ohnehin schon vorhandene Anteil an unsicheren Informationen durch eine Überlappung der einzelnen Arbeitsschritte nochmals erheblich steigt. Anstatt konkreter Ergebnisse müssen Annahmen und noch nicht endgültig feststehende Informationen als Basis für nachfolgende Phasen dienen (Derichs 1997). Folglich ist eine effektive und zuverlässige Berücksichtigung von unsicheren Informationen im Rahmen des Produktentwicklungsprozesses sowie der entwicklungsbegleitenden Produktreifegraderfassung unerlässlich.

2.2 Design for X

Nicht nur die zeitparallele Ausführung der Prozessschritte sorgt für hohe Unsicherheiten im Bereich der Produktentwicklung, sondern auch die Notwendigkeit der frühzeitigen Berücksichtigung von einer Vielzahl an Einflussfaktoren, die außerhalb des Bereichs der Produktentwicklung liegen. Diese frühe Implementierung der Anforderungen aus verschiedenen Bereichen wird mit dem Ausdruck Design for X (DfX) umschrieben und stellt ein weiteres Grundprinzip der integrierten Produktentwicklung dar. Vorrangig bei

jeder Produktentwicklung ist nach Meerkamm & Koch zunächst die Realisierung der Produktfunktion(en), allerdings müssen darüber hinaus eine Vielzahl weiterer Gestaltungskriterien berücksichtigt werden (Meerkamm & Koch 2005). Hierzu gehören aus der rein konstruktiven Sicht unter anderem Anforderungen wie Beanspruchungs- und Ausdehnungsgerechtheit.

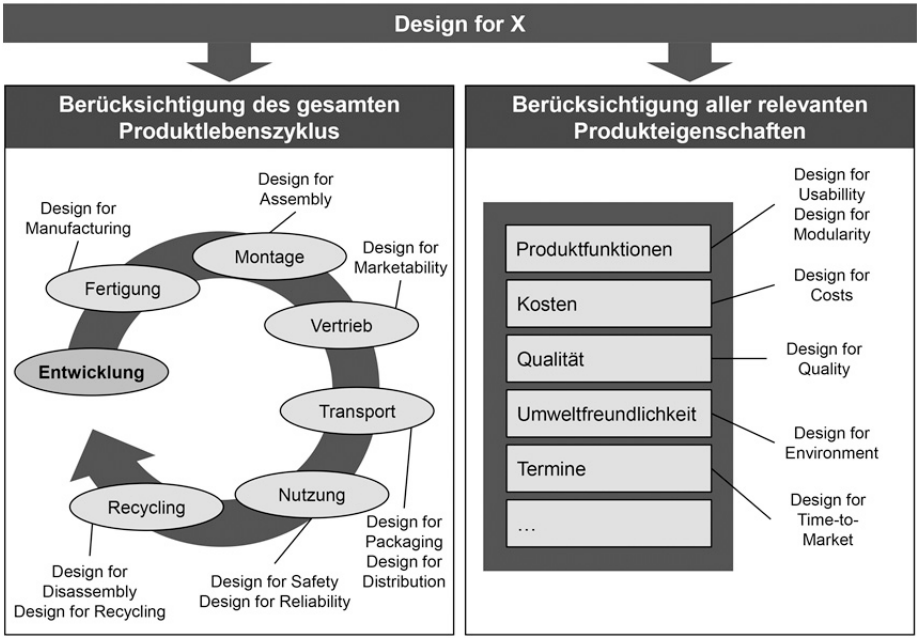

Abbildung 3: Systematik und Beispiele des DfX (in Anlehnung an Meerkamm & Koch 2005)

Es ist jedoch erforderlich, bereits in der Phase der Produktentwicklung den fokussierten Blick des Konstrukteurs auf den gesamten Lebenszyklus des Produktes und damit auch auf alle der Entwicklung nachfolgenden Phasen auszuweiten. Die Entwicklung eines perfekt konstruierten Produktes hat keinen Wert, wenn es nicht gefertigt oder montiert werden kann. Ebenso ist es notwendig, moderne Anforderungen wie Umwelt- oder Kostengerechtheit bei der Produktentwicklung zu berücksichtigen, denn beispielsweise wird ein zu teures oder aus umweltschädlichen Materialien bestehendes Produktkonzept kein grünes Licht für die Produktion erhalten. All diese Faktoren verdeutlichen wieder den Grundgedanken der integrierten Produktentwicklung: Die Orientierung am Produktlebenszyklus und die frühzeitige Integration aller Unternehmensbereiche in die Produktentwicklung. Der Ausdruck Design for X stellt somit ein Sammelbegriff für alle Gestaltungs-

richtlinien dar, die es bei der Entwicklung eines Produktes zu beachten gilt und durch deren Umsetzung die Produkteigenschaften positiv beeinflusst werden (Meerkamm & Koch 2005). Das X steht hierbei für einen beliebigen Ausdruck, der entweder ein spezifische Phase im Produktlebenszyklus oder eine bestimmte Produkteigenschaft beschreibt. Diese DfX-Systematik und einige Beispiele für DfX-Aspekte sind in Abbildung 3 dargestellt.

Zusammen mit Ansätzen wie dem Simultaneous Engineering entsteht folglich eine Situation in der Produktentwicklung, in der ein Großteil der Daten und Informationen auf Annahmen und Prognosen beruhen, beispielsweise über den späteren Prozessverlauf der Fertigung oder das Verhalten des Produktes während der Nutzung. Infolgedessen liegt ein hoher Grad an Unsicherheit bei den zur Verfügung stehenden Informationen vor, die trotz dieser Tatsache möglichst zuverlässig im Rahmen der Produktentwicklung genutzt werden müssen. Die Betrachtung dieser Unsicherheiten und die Erarbeitung einer Herangehensweise zum Umgang mit diesen erfolgt deshalb im nächsten Kapitel.

3 Betrachtung von Unsicherheiten in der Produktentwicklung

Der Fokus in diesem Kapitel ist eine detaillierte Betrachtung der Unsicherheiten, die während des Prozesses der Produktentwicklung auftreten. Dies umfasst zum einen die Ermittlung der verschiedenen Quellen von Unsicherheiten sowie die Kategorisierung der ermittelten Unsicherheiten nach verschiedenen Arten. Zum anderen liegt der Schwerpunkt dieses Kapitels auf der Erarbeitung eines Prozessmodells zum effizienten Umgang mit Unsicherheiten in der Produktentwicklung.

3.1 Quellen von Unsicherheiten

Dieses Kapitel befasst sich damit, die für die Produktentwicklung relevanten Unsicherheiten nach ihrer Quelle zu analysieren und anschließend in bestimmte Klassen einzuteilen. Zu beachten ist hierbei, dass sich Entwicklungsprojekte hinsichtlich der Anzahl und des Ausmaßes an Unsicherheiten voneinander unterscheiden. Auch der Neuheitsgrad eines Produktkonzeptes spielt dabei eine wichtige Rolle.

Die erste Frage, die sich oft bei der Betrachtung von Unsicherheiten stellt, lautet: Wodurch entstehen Unsicherheiten in der Produktentwicklung bzw. welche Quellen lassen sich für diese ermitteln? In der Literatur gibt es für die Beantwortung dieser Fragestellung eine Vielzahl von Ansätzen und Vorschläge. Häufig zu finden ist die Unterscheidung zwischen Markt- und Technologieunsicherheit (Bstieler 2005). De Weck *et al.* wählen eine etwas differenziertere Sichtweise auf diese Thematik und unterscheiden bei-

spielsweise in endogene (interne) und exogene (externe) Unsicherheiten, die sich wiederum in verschiedene Teilbereiche gliedern lassen (De Weck *et al.* 2007). Ein anderer Ansatz unterteilt Unsicherheiten in Unsicherheiten aus der Produktstruktur (z. B. Subsysteme, Komponenten und Relationen zwischen diesen), dem Lebenszyklus (z. B. Beschaffung, Produktion, Vertrieb, Nutzung und Entsorgung), der Datenqualität (z. B. räumliche und zeitliche Relevanz, Datenquelle) und der Methodenwahl (z. B. Umfang, Aktualität) (Kota & Chakrabarti 2007). Die Vielfalt dieser und weiterer Ansätze zeigt auf, dass die Bestimmung der Quellen und die Zuordnung der Unsicherheiten schwierig sind und unterschiedliche Sichtweisen zulassen. Da keine der angesprochenen Ansätze ein für die Autoren zufriedenstellendes Gesamtbild für die Betrachtung der Quellen der Unsicherheiten abgibt, wird nachfolgend ein eigener Ansatz entwickelt.

Grundsätzlich erfolgt im Folgenden eine Unterscheidung zwischen internen und externen Unsicherheiten. Zwischen diesen beiden Typen besteht ein großer Unterschied im Hinblick auf die Beeinflussbarkeit der auftretenden Unsicherheiten. Die Begriffe „intern" und „extern" beziehen sich auf die Unternehmenssicht. Da bestimmte Bereiche nicht strikt dem einen oder anderen Typ zugeordnet werden können, sind sie jedoch nur als grobe Orientierungsrichtung anzusehen. Dies trifft besonders auf Unsicherheiten im Bereich Produktlebenszyklus und Unternehmen zu. Relevant ist diese Unterscheidung lediglich für die Handhabung von Unsicherheiten. So nehmen mit zunehmendem externem Charakter die Möglichkeiten zur Unsicherheitsreduktion immer stärker ab.

Neben der Unterscheidung zwischen internen und externen Unsicherheiten werden darüber hinaus fünf Hauptquellen definiert, die wiederum jeweils mehrere Subkategorien von Unsicherheitsquellen beinhalten. Auf jede dieser fünf Kategorien wird mittels Abbildung 4 kurz eingegangen. Wie bei der Unsicherheitsreduktion nimmt auch die Möglichkeit der Einflussnahme auf einen Sachverhalt immer mehr ab, je weniger diese internen Charakter aufweisen: Während sich beispielsweise bestimmte Konstruktionsunsicherheiten (z. B. der Durchmesser der Welle wird zwischen 35 und 50mm betragen) durch Absprache mit den anderen Entwicklungsabteilungen in der Regel noch relativ leicht ermitteln und diese auch durch einen gemeinsamen Konsens positiv beeinflussen lassen, sind Unsicherheiten in Bezug auf Kundenanforderungen oder gar auf globale Ereignisse (z. B. die Produktentwicklung wird von der europäischen Finanzkrise nicht betroffen sein) schwer reduzierbar und können selbst bei erfolgreicher Ermittlung nur wenig bis überhaupt nicht vom Unternehmen beeinflusst werden. Abbildung 4 gibt einen Überblick über verschiedene Quellen von Unsicherheiten.

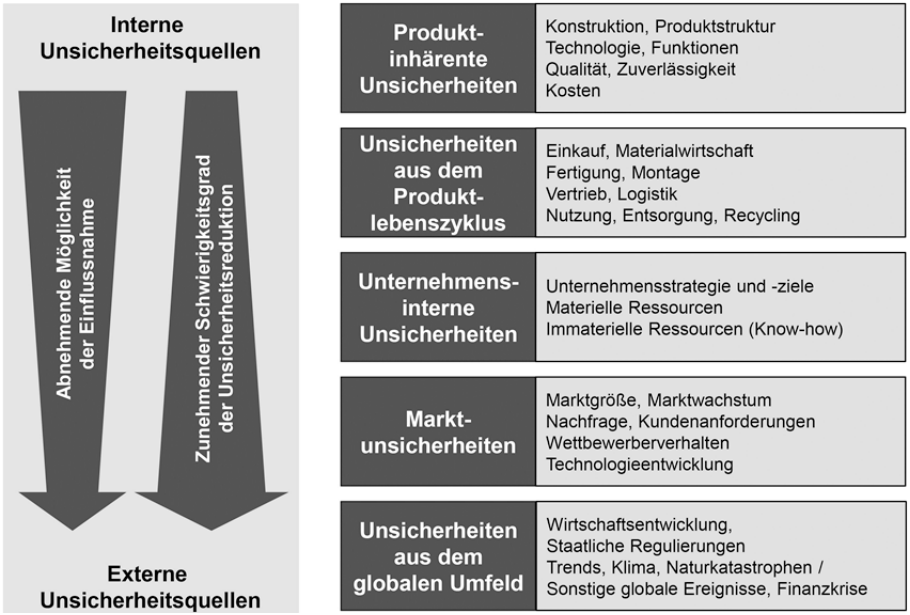

Abbildung 4: Interne und externe Quellen von Unsicherheiten

Nach der Identifikation der Hauptquellen für Unsicherheiten werden diese mit den Phasen des Produktentwicklungsprozesses verknüpft. Dies ist erforderlich, da die einzelnen Quellen nicht in jeder Phase in gleichem Maße vertreten sind. Abhängig von der jeweiligen Produktentwicklungsphase können die auftretenden Unsicherheiten verstärkt einer bestimmten Quelle zugerechnet werden (siehe Abbildung 5). Für die Modellierung des Produktentwicklungsprozesses wird das Stage-Gate-Modell nach Cooper verwendet. Dieses trennt die einzelnen Phasen („Stages“) des Entwicklungsprozesses durch so genannte „Gates“ voneinander. Der Sinn und Zweck dieses Aufbaus ist eine Zerlegung des gesamten Entwicklungsprozesses von der ersten Idee bis zur Markteinführung in klar definierte Teilabschnitte, in denen jeweils bestimmte Informationen gesammelt werden. Die gesammelten Informationen bilden wiederum die Basis für die Entscheidungsfindung bei den anschließenden Gates (z. B. mit Hilfe des Produktreifegrads), die die Funktion eines Kontrollpunktes besitzen, an dem die Qualität der in der Phase abgelaufenen Aktivitäten überprüft wird und letztendlich entschieden wird, ob und mit welchem Input zum nächsten Abschnitt übergegangen wird (Cooper 2002).

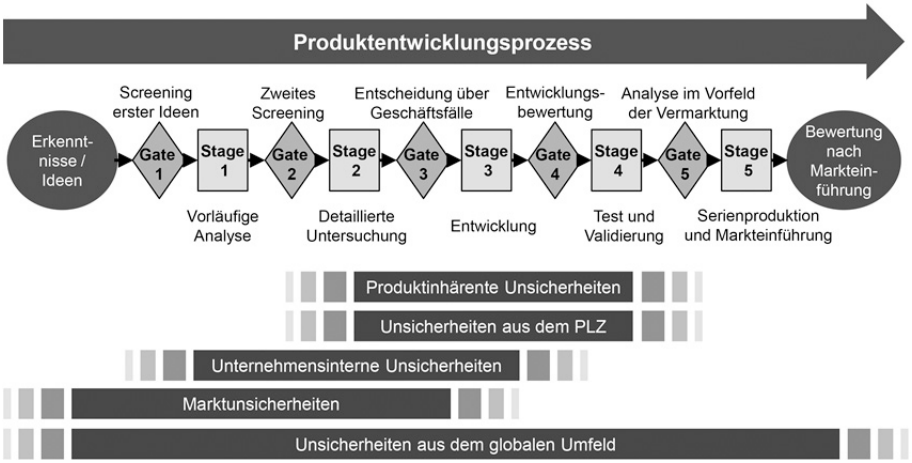

Abbildung 5: Interne und externe Quellen von Unsicherheiten

3.2 Arten von Unsicherheiten

Bei der Betrachtung von Unsicherheiten in der Produktentwicklung müssen neben verschiedenen Quellen auch die jeweiligen Arten bzw. Ausprägungsmöglichkeiten von Unsicherheiten analysiert werden. Wie auch bei den Quellen gibt es auch für die Arten von Unsicherheiten unterschiedliche Sichtweisen in der Literatur.

Derichs unterscheidet zunächst zwischen Unsicherheiten, die sich aus dem Kontext und dem Inhalt einer Information ergeben, da Unsicherheiten auf prinzipiell zwei unterschiedlichen Ebenen der menschlichen Informationsverarbeitung auftreten können (Derichs 1997). Dabei entstehen Kontextunsicherheiten durch die subjektive Einschätzung der Zuverlässigkeit und der Aussagefähigkeit des Informationsinhaltes („Ist die Angabe zum Wellendurchmesser korrekt?"). Hierbei nutzt der den Informationsinhalt interpretierende Empfänger bewusst oder unbewusst sein Wissen über den Kontext, in dem die Information steht. Dagegen beziehen sich inhaltliche Unsicherheiten auf den tatsächlichen Inhalt der Information („Der Wellendurchmesser beträgt zwischen X und Y mm"). Unsicherheiten, die durch den Inhalt einer Information an sich auftreten, lassen sich ebenso wie die Kontextunsicherheiten in verschiedene Arten untergliedern (siehe Abbildung 6) (Derichs 1997). Diese Aufteilung dient auch als Grundlage für die weiterführenden Betrachtungen.

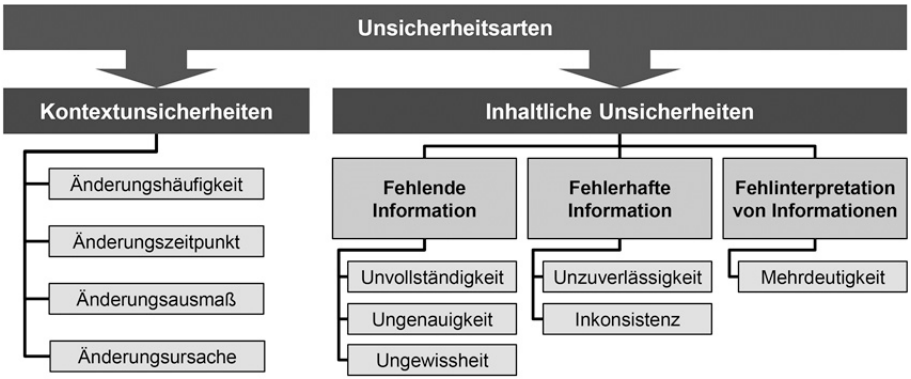

Abbildung 6: Unsicherheitsarten (in Anlehnung an Derichs 1997)

Im Folgenden wird kurz eine Möglichkeit vorgestellt, die die Unsicherheit in Bezug auf den Kontext einer Information erfasst oder, anders ausgedrückt, zur Bewertung der Gültigkeit einer Information dient. Das Grundprinzip des Konzepts nach Derichs ist die Abfrage der Dynamik, Validität und Verwendbarkeit einer Information mittels folgender vier Fragen (Derichs 1997): Wie oft wird sich der Informationsinhalt noch ändern? Wann werden die Änderungen erfolgen? Wieviel wird sich ändern? Warum werden Änderungen erfolgen? Infolgedessen wird der Reifegrad einer Information durch die Ermittlung der Änderungshäufigkeit, des Änderungszeitpunktes, des Änderungsausmaßes und der Änderungsursache bestimmt.

Eine mögliche Art der inhaltlichen Unsicherheit stellt das Fehlen von benötigten Informationen dar. Diese lässt sich wiederum unterteilen in unvollständige, ungenaue und ungewisse Informationen. Eine Information ist unvollständig wenn ihr Inhalt zum Bedarfszeitpunkt nicht in dem benötigten Ausmaß vorliegt. Ein Beispiel hierfür wäre eine technische Zeichnung, in der noch bestimmte erforderliche Angaben fehlen. Des Weiteren können Informationen fehlerhaft sein, entweder aufgrund von Unzuverlässigkeit oder Inkonsistenz der bereitgestellten Angaben. Bei unzuverlässigen Informationen besteht ein Vertrauensdefizit gegenüber der Korrektheit der Information (z. B. sind Angaben zu den Kundenanforderungen richtig?). Als letzte Unsicherheitsart kann es schließlich noch zu einer Fehlinterpretation von Informationen kommen. Dies ist der Fall, wenn eine Information mehrdeutigen Charakter hat und der Empfänger diese auf verschiedene Weise verstehen kann. Diese Art der Unsicherheit tritt häufig in Verbindung mit bestimmten sprachlichen Begriffen auf (z. B. „leicht“, „stark“, „wenig“, „viel“). Ein Beispiel hierfür wäre die Information, eine „leichte Presspassung“ zu konstruieren (Derichs 1997).

Sowohl die inhaltlichen Unsicherheiten wie auch die Kontextunsicherheiten, die bei Verarbeitung einer Information entstehen können, erfordern jeweils entsprechende Modellierungsmethoden, die zur Erfassung und Abbildung der Unsicherheiten eingesetzt werden können. Diese Modellierungsmethoden müssen eine Bewertung und Vergleichbarkeit der verschiedenen Unsicherheitsarten zulassen. Die Beschreibung einer solchen Systematik ist Luft *et al.* zu entnehmen (Luft *et al.* 2014).

3.3 Umgang mit Unsicherheiten

Ausgangspunkt der Vorgehensweise ist die Identifikation der Unsicherheiten, die in einem bestimmten Entwicklungsprojekt vorliegen. In den vorigen Kapiteln wurden hierfür bereits Quellen und Arten von Unsicherheiten genannt, die als Anhaltspunkte dienen können. Dabei kann es je nach Projekt erforderlich sein, die gesamte Prozedur zur Analyse der Unsicherheiten mehrfach durchzuführen, beispielsweise zu Beginn jeder Phase im Entwicklungsprozess.

Um den Aufwand für die Analyse der Unsicherheiten wirtschaftlich zu halten, müssen die ermittelten Unsicherheiten im zweiten Schritt an ihre Identifikation hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Produktentwicklung klassifiziert werden. So wäre es beispielsweise ineffizient, eine konstruktive Unsicherheit in Bezug auf die Schraubengröße M5 oder M6 bis ins Detail zu analysieren, wenn es letztendlich für die Konstruktion irrelevant ist, welche Schrauben zum Einsatz kommen. Dies kann zum Beispiel an Hand von Befragungen betroffener Personen(-gruppen), mit Hilfe subjektiver Einschätzungen oder über eine Risikoanalyse geschehen. Ergebnis sollte eine Einordnung aller identifizierten Unsicherheiten in drei Klassen sein (niedrige, mittlere, hohe Relevanz der jeweiligen Unsicherheit).

Nach erfolgreicher Priorisierung der Unsicherheiten muss im dritten Schritt deren Ausmaß bestimmt werden. Hierfür kann ein Unsicherheitsfunktionsmodell herangezogen werden, mit dessen Hilfe sich Unsicherheitsgrade für die verschiedenen Unsicherheitsarten ermitteln lassen (vgl. Luft *et al.* 2014). Jede zuvor ermittelte Unsicherheit wird über eine Unsicherheitsfunktion beschrieben, aus der wiederum der Unsicherheitsgrad der analysierten unsicheren Information ermittelt wird. Da diese Vorgehensweise mit relativ hohem Aufwand verbunden ist, sollte hier der Fokus auf den Unsicherheiten liegen, die im vorigen Schritt mit hoher Relevanz eingestuft wurden, und erst anschließend, sofern noch Kapazitäten und Mittel verfügbar sind, die gleiche Methodik auf Unsicherheiten mittlerer und niedriger Relevanz ausgeweitet werden. Durch die Ermittlung der verschiedenen Unsicherheitsgrade lässt sich somit als Ergebnis dieses Schrittes festhalten, in welchen

Bereichen Maßnahmen zur Eliminierung oder zumindest Reduktion der Unsicherheiten primär zu erfolgen haben.

Im vierten Schritt erfolgt die Erstellung des projektspezifischen Unsicherheitsprofils (vgl. beispielhaft Abbildung 7), indem die bisherigen Ergebnisse, bestehend aus Unsicherheitsquellen und -arten, eingetragen werden. Das Unsicherheitsprofil dient der Verschaffung eines Überblicks über die gesamten Unsicherheiten eines Entwicklungsprojektes und zeigt auf, was die Ursache für die meisten Unsicherheiten eines Projektes ist, welcher Art sie sind und welches Ausmaß sie besitzen.

Im letzten und fünften Schritt werden im Rahmen des Ansatzes schließlich Handlungsstrategien vorgestellt, die auf das zuvor ermittelte Unsicherheitsprofil angewendet werden können. Die Ableitung von Normstrategien für die Handhabung von Unsicherheiten dient der Behebung bzw. Minimierung der ermittelten Unsicherheiten und der mit ihnen verbundenen Risiken im Entwicklungsprozess. Hierbei ist vor allem zwischen reduzierbaren bzw. eliminierbaren und nicht-reduzierbaren Unsicherheiten zu unterscheiden. Für erstere Kategorie werden anhand einiger Beispiele Handlungsmöglichkeiten zur Reduktion ermittelter Unsicherheiten aufgezeigt. Die Einteilung der Unsicherheiten nach ihrer Beeinflussbarkeit ist in Abbildung 8 vereinfacht dargestellt.

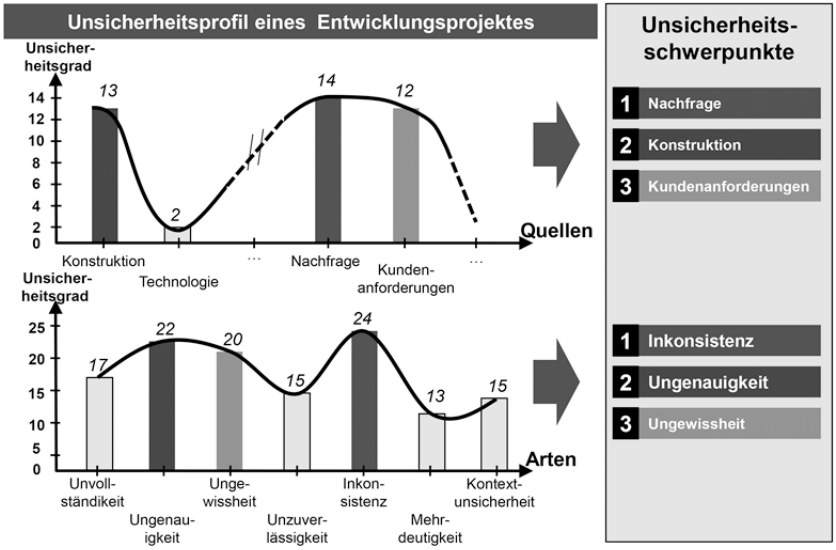

Abbildung 7: Beispielhafte Darstellung eines Unsicherheitsprofils

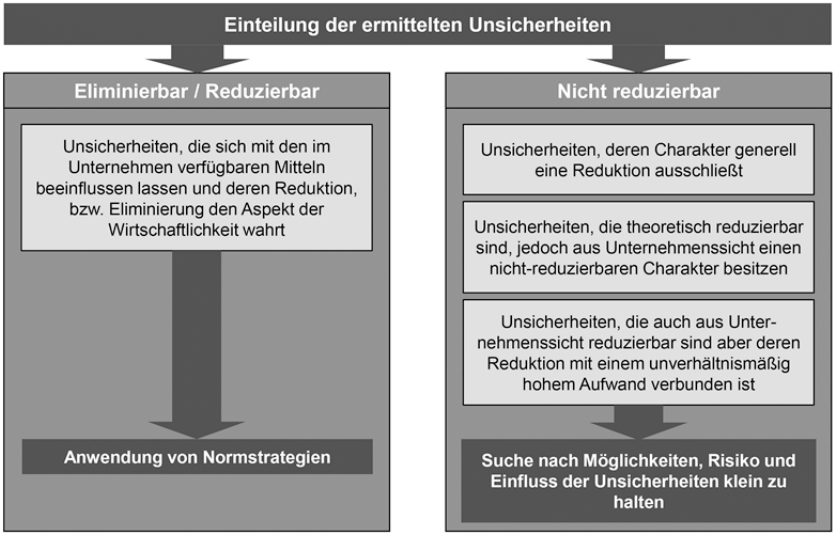

Abbildung 7: Einteilung der Unsicherheiten nach ihrer Beeinflussbarkeit

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der in diesem Beitrag diskutierte Ansatz zur Klassifikation und Handhabung von Unsicherheiten zeigt auf, wie Unsicherheiten im Bereich der Produktentwicklung möglichst ganzheitlich erfasst, priorisiert und klassifiziert werden können, so dass anschließend entsprechende Handlungsmöglichkeiten ergriffen werden können. Hierbei wurde in jeder Phase darauf Wert gelegt, dass der Ansatz wirtschaftlich bleibt und praktisch umsetzbar ist.

Die bereits veröffentlichten Ansätze zum Produktreifegradmanagement (Krehmer 2012, Krehmer *et al.* 2011, Krehmer *et al.* 2010) in Verbindung mit Konzepten der matrixbasierten Produktentwicklung (Luft *et al.* 2013b, Luft & Wartzack 2013) sowie Ansätzen des Informationsmanagement (Luft *et al.* 2013a) werden in weiteren Forschungsarbeiten mit den dargestellten Unsicherheitsbetrachtungen verknüpft. Die Integration von Unsicherheiten in den Prozess der Reifegradermittlung wird zur Lösung der eingangs erwähnten Herausforderungen beitragen. Neben der Sicherstellung einer entsprechenden Produktreife bei Entwicklungsende können durch die kontinuierliche Ermittlung des Reifegrades unter Berücksichtigung der Unsicherheiten frühzeitig Verzögerungen und Abweichungen im Projektverlauf identifiziert werden und entsprechende Maßnahmen zur Gegensteuerung ergriffen werden. Somit rechtfertigt sich auch der durch Realisierung des Ansatzes

entstehende Mehraufwand zur Erfassung und Auswertung bestimmter Informationen.

Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und deren Gutachtern ausdrücklich für die Förderung des Forschungsprojekts „Produktorientiertes Prozessmanagement – Iterationsmanagement auf Basis eines eigenschaftsbasierten Produktreifegrades".

Literaturverzeichnis

Bstieler, L. 2005: The moderating effect of environmental uncertainty on new product development and time efficiency. In: Journal of Product Innovation Management, 22 (3), 267-284.

Cooper, R. 2002: Top oder Flop in der Produktentwicklung – Erfolgsstrategien, Von der Idee zum Launch. Weinheim: Wiley-VCH Verlag.

De Weck, O., Eckert, C. & Clarkson, J. 2007: A classification of uncertainty for early product and system design. In: Bocquet, J.-C. (Hrsg.): Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design, No. 480, Paris: Design Society.

Derichs, T. 1997: Informationsmanagement im Simultaneous Engineering - Systematische Nutzung unsicherer Informationen zur Verkürzung der Produktentwicklungszeiten. Aachen: RWTH Aachen, Dissertation.

Ehrlenspiel, K. & Meerkamm, H. (Hrsg.) 2013: Integrierte Produktentwicklung, Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. München: Hanser Verlag.

Eversheim, W. & Schuh, G. (Hrsg.) 2005: Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung. Berlin: Springer Verlag.

Kota, S. & Chakrabarti, A. 2007: Development of a method for estimating uncertainty in evaluation of environmental impact during design. In: Bocquet, J.-C. (Hrsg.): Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design, No. 480, Paris: Design Society.

Krehmer, H. 2012: Vorgehensmodell zum Iterations- und Produktreifegrad-management in der eigenschaftsbasierten Produktentwicklung, Fortschrittsberichte VDI, Reihe 1, Band 416. Düsseldorf: VDI-Verlag.

Krehmer, H., Meerkamm, H. & Wartzack, S. 2010: Avoidance of unnecessary design iterations by monitoring the product's degree of maturity. In: Marjanovic, D., Storga, M., Pavkovic, N., Bojcetic, N. (Hrsg): Proceedings of the 11th International Design Conference. 285-294. Dubrovnik: Design Society.

Krehmer, H., Meerkamm, H. & Wartzack, S. 2011: Monitoring a property based product development – from requirements to a mature product. In: Howard, T.J., Mougaard, K., McAloone, T. & Hansen, C. T. (Hrsg.): Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design. 1-11. Kopenhagen: Design Society.

Luft, T., Bochmann, J. & Wartzack, S. 2013a: Enhancing the flow of information in the PLM by using numerical DSMs – an industrial case study. In: Bernard, A.; Rivest, L. & Dutta, D. (Hrsg.): Product Lifecycle Management for Society, 10th IFIP WG 5.1 International Conference. 90-99. Berlin: Springer Verlag.

Luft, T., Krehmer, H. & Wartzack, S. 2013: An advanced procedure model for property-based product development. In: Lindemann, U., Srinivasan, V., Kim, Y., Lee, S., Clarkson, J. & Cascini, G. (Hrsg): Proceedings of the 19th International Conference on Engineering Design. 187-196. Seoul: Design Society.

Luft, T., Reitmeier, J., Paetzold, K. & Wartzack, S. 2014: Uncertainty considerations by context factors for the monitoring of the degree of product maturity. In: Marjanovic, D., Storga, M., Pavkovic, N., Bojcetic, N. (Hrsg): Proceedings of the 13th International Design Conference, akzeptierter Beitrag, Dubrovnik: Design Society.

Luft, T. & Wartzack, S. 2013: Die matrixbasierte Produktbeschreibung als Bestandteil des Vorgehensmodells in der eigenschaftsbasierten Produktentwicklung. In: Bertsche, B., Bins, H. & Spath, D. (Hrsg.): Beiträge zum Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.

Meerkamm, H. & Koch, M. 2005: Design for X. in: Design process improvement, A review of current practice. 306-323. London: Springer Verlag.

Schäppi, B. 2005: Integrierte Produktentwicklung - Entwicklungsprozesse zielorientiert und effizient gestalten. In: Schäppi, B., Andreasen, M., Kirchgeorg, M. & Radermacher, F.-J. (Hrsg.): Handbuch Produktentwicklung. München: Hanser Verlag.

Kontakt

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Thomas Luft
Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack
Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk)
91058 Erlangen
www.mfk.uni-erlangen.de