

Design for Changeability – Initiale Entwicklungsentscheidungen in der Konzeptentwicklung von Produkt-Service Systemen

Tim Sadek, Matthias Köster und Michael Herzog
*Lehrstuhl für Maschinenelemente und Konstruktionslehre (LMK);
Ruhr-Universität Bochum*

1 Einleitung

International agierende Unternehmen sehen sich zunehmend mit umkämpften Märkten, Globalisierungseffekten sowie einer steigenden Dynamik konfrontiert [1]. Um sich nachhaltig vom Wettbewerber absetzen zu können, muss dem Wunsch nach immer kundenindividuelleren Leistungen Rechnung getragen werden. Ebenso wird Flexibilität als kritischem Erfolgsfaktor eine zunehmende Bedeutung beigemessen [2]. Dies hat in den letzten Jahren zu einem Rückgang der Wettbewerbsdifferenzierung allein über das technische Produkt geführt. Die Erkenntnis, dass produktbegleitende Dienstleistungen positiv zu einer nachhaltigen Ertragssicherung sowie einer langfristigen Kundenbindung beitragen können, ist mehr und mehr im Bewusstsein der Unternehmen zu finden. Die Kombination von Produkten und Dienstleistungen reicht dabei von klassischen After-Sales Services (z.B. Instandhaltung) bis hin zu integrierten Lösungen, die in der wissenschaftlichen Literatur als Produkt-Service Systeme (PSS) bezeichnet werden. Produkt-Service Systeme sind durch eine lebenslauforientierte Integration von technischen Produkten und Dienstleistungen gekennzeichnet. Vor dem Hintergrund eines erweiterten Produktverständnisses, dem leistungsorientierten Denkansatz, wird der Kauf eines technischen Gegenstandes dem „zur Verfügung stellen“ einer Leistung untergeordnet. Eingebettet in langfristige Verträge und kombiniert mit

innovativen und kundennutzenorientierten Erlösmodellen wird somit eine Möglichkeit zur individuellen Problemlösung geschaffen [8]. Mit der Akzentuierung der Nachhaltigkeit im Sinne des „Design for Sustainability“ ist es dabei unabdingbar, dass eine integrierte und sich gegenseitig determinierende Planung, Entwicklung, Erbringung und Nutzung für Produkt-Service Systeme erfolgt. Um dem Anspruch der Langlebigkeit und Flexibilität eines PSS in einer unsicheren Umgebung gerecht zu werden, ist es erforderlich, dass über den Lebenslauf eine dynamische Anpassungsfähigkeit realisiert wird, um auf unsichere Umweltbedingungen (z.B. Markt und Technologie) reagieren zu können („Design for Changeability“) [3]. Hierzu sind bereits in den frühen Entwicklungsphasen strategische Entscheidungen (Ja/Nein-Entscheidungen) unter Unsicherheit zu treffen, welche die PSS-Architektur und den nachfolgenden Entwicklungsprozess nachhaltig beeinflussen. Im Fokus dieses Beitrages stehen initiale Entwicklungsentscheidungen (IDM → initial decision making), die bereits bei der Planung und Konzipierung der dynamischen Anpassungsfähigkeit des PSS getroffen werden müssen. Es existieren bisher keine methodischen Ansätze, die diesen Entscheidungsprozess unterstützen.

Im Anschluss an die Einleitung wird in Kapitel 2 ein Grundverständnis von PSS vorgestellt. In Kapitel 3 wird auf die oben angesprochene initiale Entscheidungsfindung eingegangen und diese Problematik anhand eines einfachen Beispiels untersucht. Ausgehend der Analyse des relevanten Stands der Forschung in Kapitel 4 wird in Kapitel 5 anschließend der konzeptuelle Rahmen einer Methode vorgestellt, mittels derer die systematische Entscheidungsfindung in der PSS-Konzeptentwicklung unterstützt werden kann. Der Beitrag schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick.

2 Produkt-Service Systeme (PSS)

Aus Anbietersicht ist ein Produkt-Service System ein langlebiges, sozio-technisches ökonomisches Gut, welches darauf abzielt, einen zusätzlichen Kundennutzen zu generieren. Gleichzeitig geht hiermit eine Umverteilung der Eigentumsrechte einher. So wird dem Kunden nunmehr eine Leistung (z.B. Mobilität, saubere Wäsche, Wärme etc.) verkauft und nicht mehr ein technisches Produkt (Auto, Waschmaschine, Heizung) [4]. Neben domänenübergreifenden technischen Subsystemen sind insbesondere menschliche Ressourcen immanenter Bestandteil eines PSS. Desweiteren übernehmen organisationsbezogene Subsysteme die übergeordneten Aufgaben wie z.B. Logistik oder Controlling. Die Basis für die Geschäftsbeziehung zwischen PSS-Anbieter und Kunde bilden Verträge. Die Ausgestaltung der Verträge wird speziell durch den Faktor Unsicherheit geprägt. Burianek und Reichenwald

konstatieren im Kontext langfristiger und unvollständiger Verträge, dass diese dem Kunden über einen längeren Vertragszeitraum Flexibilität stiften können [5]. Allerdings bemerken Richter et al., dass diese relationalen Verträge im Zusammenhang mit PSS-Geschäftsmodellen Unsicherheiten verursachen, da Informationen von Ereignissen in der Erbringungs- und Nutzungsphase einer Unsicherheit unterliegen [2].

3 Das Problem der initialen Entscheidungsfindung (IDM) in der PSS-Konzeptentwicklung

3.1 Die PSS-Konzeptentwicklung

Die Konzipierung eines PSS schließt sich an die strategische Leistungsplanungsphase an, in der die vom Kunden geforderten Leistungen, das Erlösmodell und die Eigentumsrechte einerseits vertraglich fixiert und andererseits in entwicklungsorientierter Form als Anforderungen spezifiziert werden. Als Ergebnis der PSS-Konzeptphase beinhaltet das PSS-Konzept die prinzipielle Lösung eines PSS und beschreibt auf einer mittleren Abstraktionsebene das strukturelle Zusammenspiel materieller und immaterieller Leistungsbestandteile sowie deren logische Funktionsweise [8].

3.2 Unsicherheit

Die Anwendung langfristiger und unvollständiger Verträge verursacht Unsicherheiten für den PSS-Anbieter. Unsicherheit wird als Terminus in vielen Disziplinen untersucht [6]. Das allgemeine Verständnis der Literatur unterscheidet Entscheidungen unter Unsicherheit, in Risiko auf der einen, und Ungewissheit auf der anderen Seite. Dabei sind bei Situationen unter Risiko die jeweiligen Umweltzustände sowie die Eintrittswahrscheinlichkeiten bekannt. Die Quantifizierung von Risiken wird durch die Multiplikation der Eintrittswahrscheinlichkeiten eines Ereignisses und dessen Bedeutung im Sinne der Konsequenz beschrieben. In Abgrenzung hierzu werden bei Situationen unter Ungewissheit hingegen Umstände betrachtet, bei denen eben diese Eintrittswahrscheinlichkeiten nicht bekannt sind. Hastings und McManus weichen von diesem allgemeinen Verständnis ab und schaffen eine neue Einordnung der einzelnen Begrifflichkeiten [7]. Die Autoren definieren den Begriff Unsicherheit als Umweltzustand, den man nicht oder nur ungenau kennt. Weiterhin können Unsicherheiten zwar Risiken hervorrufen, als neuen Gesichtspunkt allerdings auch Möglichkeiten, im Sinne von Chancen bieten. Risiko wird in diesem Kontext als negatives „Symptom“ der Unsicherheit gesehen.

3.3 Dynamische Anpassungsfähigkeit von PSS

Die Berücksichtigung der Unsicherheit, die aus den angestrebten langfristigen Vertragssituationen resultiert, wirkt sich auf die Konzeptentwicklung dahingehend aus, dass das PSS über den Lebenszyklus dynamisch anpassbar konzipiert werden muss. Das Zusammenspiel der unsicherheitsbehafteten Faktoren Technologie, Markt und Kunde repräsentiert dabei sowohl endogene als auch exogene Faktoren. So rufen beispielsweise die Weiterentwicklung einer Technologie oder schwankende vom Markt geforderte Absatzmengen sowie instabile Kundenpräferenzen eine Unsicherheit hervor.

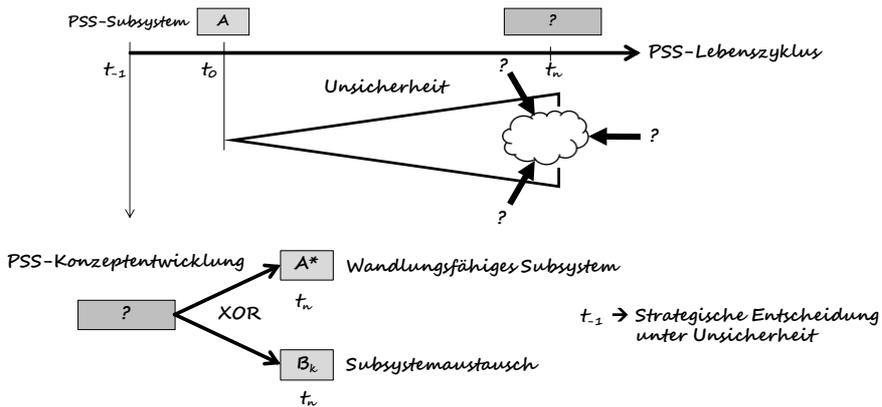


Bild 1: Strategien zur dynamischen PSS-Anpassung

Entsprechend Bild 1 lässt sich prinzipiell eine dynamische Anpassungsfähigkeit über zwei konträre Strategien erzielen. Einerseits durch die Integration wandlungsfähiger Subsysteme in die PSS-Architektur. Wandlungsfähigkeit (Englisch: Changeability) wird dabei im Allgemeinen als die Fähigkeit eines Systems verstanden, auf relevante system- oder umweltinduzierte Veränderungen mittels zur Verfügung stehender interner und externer Faktoren zu reagieren [3]. Eine entsprechend wandlungsfähige PSS-Architektur lässt sich dann innerhalb der Erbringungs- und Nutzungszeit flexibel an veränderliche Randbedingungen anpassen. Um Wandlungsfähigkeit in ein System zu integrieren, existieren vielfältige Wege. Hierbei tritt neben Prinzipien wie der Unabhängigkeit der Systemelemente, der Reduzierung der Systemkomplexität oder der nicht-hierarchischen Kopplung speziell der Aspekt der Modularisierung in den Vordergrund.

Die zweite Strategie um eine dynamische Anpassungsfähigkeit zu realisieren besteht darin, eine Vielfalt einfacher statischer PSS-Subsystemvarianten vorzusehen. Statisch bedeutet in diesem Kontext, dass die durch Unsicherheit beeinflussten PSS-Subsysteme nicht aus sich selbst heraus in der Lage sind auf Unsicherheiten zu reagieren. Die geforderte dynamische Anpassungsfähigkeit innerhalb der Erbringungs- und Nutzungszeit lässt sich dann nur durch die Substitution durch weitere statische PSS-Subsysteme bewerkstelligen. Der Entwickler hat in der PSS-Konzeptentwicklung (Zeitpunkt t_1) eine initiale JA/Nein-Entscheidung zwischen diesen beiden Strategien zu treffen. Beide Strategien führen zu einer unterschiedlichen PSS-Architektur, so dass diese Entscheidung einen nachhaltigen Einfluss auf den gesamten Entwicklungsprozess ausübt.

3.4 PSS-Szenario: Innerstädtische Mobilität

Die weitere Analyse der oben erläuterten Entscheidungssituation unter Unsicherheit soll anhand eines einfachen fiktiven Szenarios verdeutlicht werden. Einer der sogenannten „Megatrends“ den man in der Literatur extrahieren kann ist die Urbanisierung, das heißt die Ansammlung der Bevölkerung in Stadtgebieten. Um sich trotz der hohen Bevölkerungsdichte flexibel in der Stadt fortbewegen zu können, werden zukünftig neue Mobilitätskonzepte erforderlich. Anstelle des Verkaufs eines Fahrrades zur Fortbewegung im Stadtgebiet könnte das zur Verfügung stellen der Leistung „innerstädtische Mobilität“ treten. Das technische Subsystem Fahrrad verbleibt dabei im Eigentum des Anbieters.

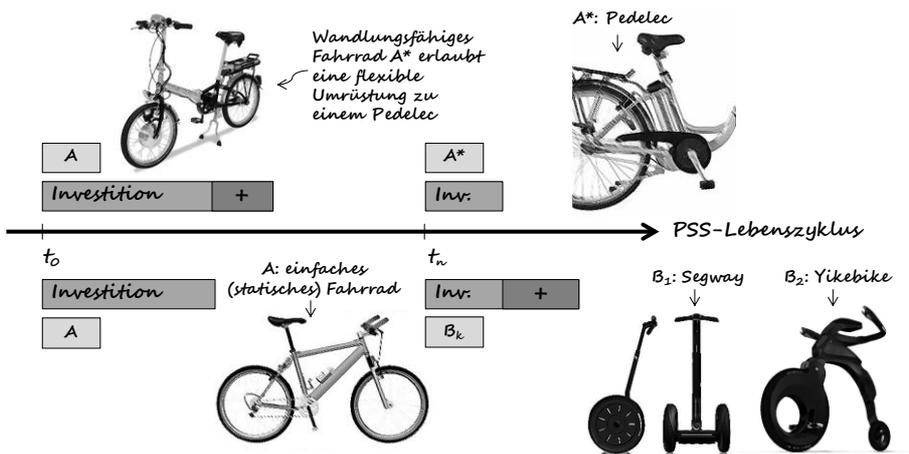


Bild 2: Dynamische PSS-Anpassung am Beispiel „innerstädtische Mobilität“

Um eine örtliche und zeitliche Verfügbarkeit der Fahrräder zu gewährleisten sind menschliche und organisationsbezogene PSS-Subsysteme vorzusehen, um etwa die Redistribution von Fahrrädern zu ermöglichen. Ebenso sind Prozesse wie Wartung und Instandsetzung erforderlich, um eine technische Verlässlichkeit der Fahrräder zu gewährleisten. Die Bezahlung durch den Kunden ließe sich z.B. entweder durch einen monatlichen Pauschalbetrag oder über ein nutzungsorientiertes Erlösmodell realisieren. Beispielhaft wird für dieses PSS im Folgenden der unsichere Einflussfaktor „Technologie“ betrachtet. Eine Subvention der „Elektromobilität“ könnte dazu führen, dass es die Kunden zukünftig präferieren, sich mit einem Elektrofahrzeug in der Stadt fortzubewegen anstelle mit einem Fahrrad, wodurch diese einerseits körperliche Anstrengungen reduzieren und andererseits eine längere Strecke in einer kürzeren Zeit zurücklegen können. In diesem Fall lässt sich eine dynamische Anpassung mit einem wandlungsfähigen technischen Grundsystem (A^*) realisieren, indem entsprechende Komponenten ausgetauscht oder hinzugefügt werden, und so das Fahrrad zu einem elektrisch angetriebenen Pedelec umgerüstet wird. Verfolgt man die zweitgenannte Strategie und konzipiert einfache statische PSS-Subsystemvarianten (B_k) und deren Austausch, lässt sich die dynamische Anpassung nur durch eine Redundanz verschiedener Subsysteme zu einem gleichen Zeitpunkt realisieren. Im Falle des Technologiesprungs ließe sich das ursprüngliche Fahrrad etwa durch ein Segway (B_1) oder ein anderes zweirädriges Elektrofahrzeug (B_2) substituieren. Hinsichtlich der technologischen Unsicherheit wirken ergänzend den dargelegten Einflüssen auf das technische Subsystem Fahrrad ebenso Einflussfaktoren auf menschliche und organisationsbezogene PSS-Subsysteme ein, beispielsweise die notwendige Bereitstellung von Zugängen zum Stromnetz sowie notwendige erweiterte Instandhaltungsmaßnahmen.

3.5 Eine ökonomische Betrachtung

Allein eine ingenieurwissenschaftliche Betrachtungsweise reicht zur vollständigen Aufschlüsselung des Entscheidungsproblems nicht aus. Eine ökonomische Betrachtung ist ebenso notwendig. Eine in höchstem Maße wandlungsfähige Architektur sieht die Anpassung an unsichere Umweltsituationen vor, dessen Eintritte ungewiss oder nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit bekannt sind. Im Extremfall tritt der berücksichtigte Umweltzustand niemals in dem entsprechenden Maße ein. Gemäß Bild 2 muss jedoch bereits zum Zeitpunkt t_0 investiert werden, um zu einem späteren Zeitpunkt t_n in der Erbringungs- und Nutzungsphase eine einfache Anpassungsfähigkeit mittels Wandlungsfähigkeit zu realisieren. Dies führt zum Zeitpunkt t_0 zu deutlich höheren Investitionskosten im Vergleich zu einem einfachen statischen

System, weil zusätzliche Aufwände in Entwicklung und Fertigung geleistet werden müssen, um Wandlungsfähigkeit zu ermöglichen. Allerdings sind die Aufwände der dynamischen Anpassung selbst bei Eintritt des berücksichtigten Umweltzustandes im Zeitpunkt t_n deutlich geringer als im Falle eines Austausches statischer Subsysteme. Um ein statisches Subsystem substituieren zu können, muss zumindest in ein zweites, geeignetes Subsystem investiert werden. Aufgrund der unumgänglichen Vielfalt an Subsystemvarianten sind demzufolge höhere Anpassungskosten zum Zeitpunkt t_n erforderlich, allerdings muss die hierzu notwendige Investition auch erst zu diesem späteren Zeitpunkt erfolgen und nicht zwingend zum Zeitpunkt t_0 , wie dies bei dem Vorsehen von Wandlungsfähigkeit der Fall ist.

3.6 Forschungsfragen

Um die initiale Entscheidungsfindung in der frühen PSS-Entwicklungsphase zu unterstützen und dabei sowohl technische als auch ökonomische Aspekte zu berücksichtigen, sind folgende Fragen zu beantworten:

- Wie kann die IDM durch eine geeignete Methode unterstützt werden?
- Welche spezifischen Anforderungen werden an eine entsprechende Methode gestellt?
- Existieren bereits Methoden die sich zu diesem Zwecke adaptieren lassen?

4 Analyse des Stands der Forschung

In diesem Abschnitt wird ein Auszug über die relevante Literatur im Feld der Entscheidung unter Unsicherheit gegeben. Eine Vielzahl an Ansätzen behandelt Risiko und Unsicherheit in der Produkt- und Systementwicklung, insbesondere das Komplexitäts- und Variantenmanagement [13]. Weiterhin offenbaren das Risk und Obsolescence Management sowie das Konzept „Design for Changeability“ (DfC) relevante Überlegungen, die in die PSS-Konzeptentwicklung integriert werden könnten [3, 9, 10, 11, 12]. Ebenso existieren im Rahmen der Entscheidungstheorie etablierte generische, qualitative und quantitative Methode zur Entscheidungsfindung im Rahmen ökonomischer Entscheidungssituationen [14]. Tatsache ist, dass diese Methoden bisher kaum in die Ingenieurwissenschaften migriert wurden, insbesondere für das Problem der IDM. Es existieren folglich keine geschlossenen Ansätze die zur initialen Entscheidungsfindung in der PSS-Konzeptentwicklung genutzt werden könnten.

5 Ein konzeptuelles methodisches Rahmenwerk für die IDM

In diesem Kapitel wird ein methodisches Grundgerüst für die IDM vorgestellt. Basierend auf spezifischen Annahmen, dient dieses Grundgerüst zur Entwicklung einer Methode, um den Entscheidungsprozess zu unterstützen und dabei die besonderen Charakteristika der frühen Entwicklungsphase zu berücksichtigen.

5.1 Gedankenmodell

Um die Entscheidungsfindung methodisch zu unterstützen, wird an dieser Stelle ein Gedankenmodell eingeführt, welches die Vorgehensweise veranschaulichen und Teilaspekte der analysierten Literatur zu einem handhabbaren Ansatz kombinieren soll (siehe Bild 3).

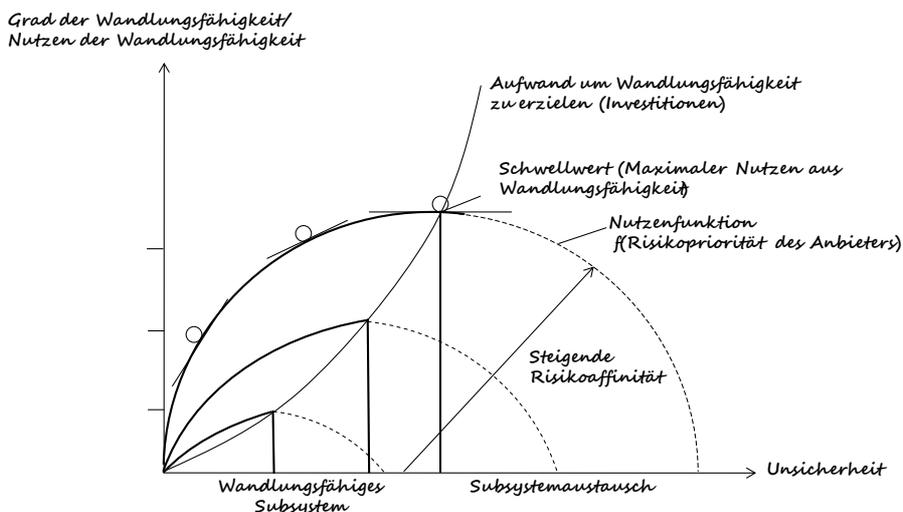


Bild 3: Gedankenmodell

Die Verläufe der dargestellten Kurven sollen hier allerdings noch nicht als definiert gelten, sondern Vielmehr das Vorhandensein der Zusammenhänge verdeutlichen. Die Eigenschaft der Wandelbarkeit befähigt ein System, den Änderungsaufwand im Falle des Eintretens eines unsicherheitsbehafteten Zustandes gering zu halten. Im Umkehrschluss würde dies bedeuten, dass bei steigender Unsicherheit eine proportional steigende Wandelbarkeit einen höheren Nutzen stiften würde. Allerdings folgt die Eigenschaft der Wandelbarkeit dem Prinzip des abnehmenden Grenznutzens. Der Grenz-

nutzen wird innerhalb der Darstellung als Ableitung der Nutzenfunktion im entsprechenden Arbeitspunkt beschrieben. Gemeint sind hiermit exponentiell steigende Aufwände bei steigendem Grad an Wandlungsfähigkeit. Ab einem gewissen Grad an Unsicherheit (Schwellwert) stiftet die Erhöhung der Wandlungsfähigkeit kein Mehr an Nutzen gegenüber der statischen Systemanpassung. Ab diesem Schwellwert sollte folglich auf die Systemanpassung durch einen Wandel von Subsystemen verzichtet werden und stattdessen ein Austausch zweier statischer Subsysteme stattfinden. Der Verlauf der Nutzenfunktion wird von der Risikopräferenz des Entscheiders im Kontext einer unsicherheitsbehafteten Situation beeinflusst. Ein theoretisch „vollkommen risikoaverser“ Entscheider wird zum Zeitpunkt t_1 (siehe Bild 1) keinerlei Nutzen in einer Investition in Wandlungsfähigkeit sehen. Diese Nutzenkurve verläuft sodann deckungsgleich mit der x-Achse. Der Entscheider investiert erst dann in einen Systemaustausch, wenn eine Anpassung unumgänglich ist, weil das System den gewünschten Kundennutzen nicht mehr erfüllen kann. Je höher die Risikoaffinität des Entscheiders ist, desto mehr vorgelagerte Investitionen würden getätigt werden, um Unsicherheiten im Verlauf der Erbringungs- und Nutzungsphase durch Wandlungsfähigkeit abzudecken.

5.2 Methodisches Rahmenwerk

Das methodische Rahmenwerk zur Unterstützung der initialen Entscheidungsfindung in der frühen Phase der PSS-Entwicklung sieht einen iterativen Prozess aus den drei Schritten Synthese, Analyse und Bewertung bzw. Entscheidung vor (vgl. Bild 4). Die Basis zur Entscheidung bildet das modellierte PSS-Konzept bzw. verschiedene Konzeptalternativen. Zur Synthese von PSS-Konzepten lässt sich die modellorientierte Konzeptentwicklungsmethodik nach Sadek anwenden [8]. Aufbauend auf dem modellierten PSS-Konzept erfolgt eine Risiko- und Unsicherheitsanalyse. Grundlage hierfür bildet ein Portfolio mit PSS-spezifischen Einflussfaktoren. Ziel ist es, aus den angegebenen Einflussfaktoren Schlüsselfaktoren zu extrahieren und auf diesen Schlüsselfaktoren aufbauend Zukunftsszenarien zu definieren. Ein geeigneter Ansatz zur Modellierung der Zukunftsszenarien ist hierzu erforderlich. In Schritt drei erfolgt die Bewertung bzw. die initiale Entscheidungsfindung. Hierzu sollen quantitative Methoden der Entscheidungstheorie adaptiert werden. Die definierten Zukunftsszenarien bzw. der Grad an Unsicherheit sowie deren Auswirkungen auf das konzipierte PSS dienen als Input für die Entscheidungsfindung. Entsprechend dem Exklusionsprinzip werden die dynamische PSS-Anpassung über Wandlungsfähigkeit (A/A^*) und statischem Systemaustausch (A/B_k) als zwei mögliche zu verfolgende Aktionen definiert, aus denen eine Auswahlentscheidung getroffen werden muss. Hierbei ist insbesondere eine auf die Risikopräferenz des Entscheiders

zugeschnittene Nutzenfunktion zu berücksichtigen. Die Entscheidung soll über Entscheidungsregeln erfolgen. Eine Grundlage hierfür stellen die etablierten Entscheidungsregeln für Entscheidungen unter Risiko und Unsicherheit, die in der einschlägigen Literatur zur Entscheidungstheorie zu finden sind. Die Entscheidungsregeln sind dahingehend zu erweitern, dass die im Gedankenmodell (siehe Kapitel 5.1) dargestellten Sachverhalte sowie die typischen Charakteristika der frühen Entwicklungsphase berücksichtigt werden. Mit fortschreitender PSS-Konzeptentwicklung und einem Zuwachs an Informationen ist in einer Iteration eine detailliertere Analyse der Unsicherheit möglich, so dass gegebenenfalls die zuvor getroffene Entscheidung aktualisiert werden kann.

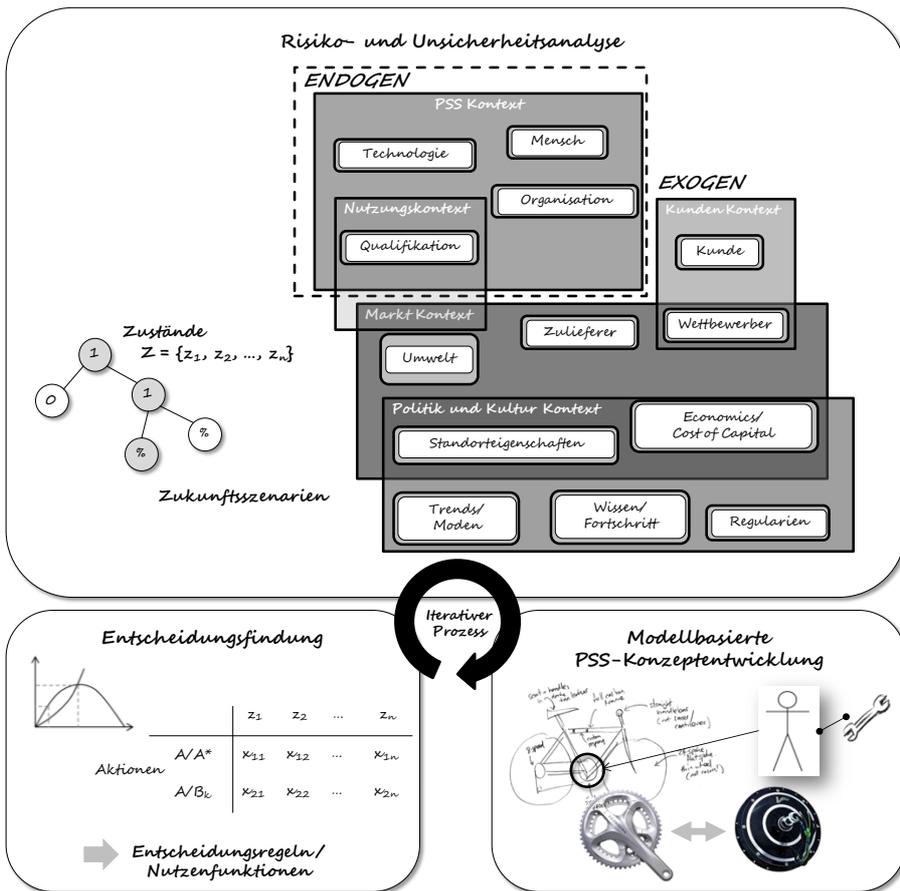


Bild 3: Methodisches Rahmenwerk zur Unterstützung der initialen Entscheidungsfindung

6 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wird die dynamische Anpassungsfähigkeit von PSS diskutiert. Im Fokus des Beitrages stehen dabei die initialen Entwicklungsentscheidungen bezüglich dieser Anpassungsfähigkeit, die bereits in der frühen Phase der PSS-Entwicklung getroffen werden müssen. Aufbauend einer detaillierten Analyse des Entscheidungsproblems hinsichtlich technisch und ökonomischer Gesichtspunkte wird ein konzeptuelles methodisches Rahmenwerk zur Unterstützung der Entscheidungsfindung vorgestellt. Um eine operative Anwendbarkeit des dargestellten Ansatzes zu ermöglichen, sind weiterführende Forschungsarbeiten notwendig. Eine besondere Herausforderung stellt dabei einerseits die adäquate Modellierung der Unsicherheit in Form von Zukunftsszenarien mit den in der frühen Phase der Entwicklung vorhandenen Informationen dar. Andererseits sind ein geeignetes Entscheidungsmodell sowie Entscheidungsregeln zu definieren. Diese Entscheidungsregeln müssen sowohl für das hier behandelte Entscheidungsproblem zugeschnitten sein, als auch die Präferenzen des Entscheiders berücksichtigen. Das angestrebte Ziel besteht darin, das bestehende Softwarewerkzeug zur PSS-Konzeptentwicklung um den Aspekt der initialen Entscheidungsfindung zu erweitern.

Literatur

- [1] Melzer-Ridinger, R.: Supply Chain Management – Prozess- und unternehmensübergreifendes Management von Qualität, Kosten und Liefertreue. München: Oldenburg Wissenschaftsverlag GmbH, 2007.
- [2] Richter, A.; Sadek, T.; Steven, M.; Welp, E.G.: Use-Oriented Business Models and Flexibility in industrial Product-Service Systems. In: Proceedings: 1st CIRP Industrial Product-Service Systems (IPS²) Conference, Cranfield, England, 2009.
- [3] Fricke, E.; Schulz, A. P.: "Design for Changeability (DFC)": Principles to Enable Changes in Systems throughout their entire lifecycle. In Systems Engineering 8, 2005, S. 342-359.
- [4] Baines, T. S.; Lightfoot, H. W.; Evans, S.; Neely, A.; Greenough, R.; Peppard, J.; Roy, R.; Shehab, E.; Braganza, A.; Tiwari, A.; Alcock, J. R.; Angus, J. P.; Bastl, M.; Cousens, A.; Irving, P.; Johnson, M.; Kingston,

-
- J.; Lockett, H.; Martinez, V.; Michele, P.; Tranfield, D.; Walton, I. M.; WilsonBaines, H.: "State of-the-art in product-service systems". In: Proceedings of the I MECH E Part B. Journal of Engineering Manufacture, 221(10), 2007, S. 1543-1551.
- [5] Burianek, F.; Reichenwald, R.: Contractual Implications of Solution selling. In: Proceedings of INFORMS 2009, International Conference on Service Science, Hong Kong, 2009.
- [6] De Weck, O.; Eckert, C.; Clarkson, J.: A Classification of Uncertainty for early Product and System Design. In: Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED 2007, Paris, France, 2007.
- [7] Hastings D.; McManus, H.: A Framework for Understanding Uncertainty and its Mitigation and Exploitation in Complex Systems. MIT Engineering Systems Symposium, March, 2004.
- [8] Sadek, T.: Ein modellorientierter Ansatz zur Konzeptentwicklung industrieller Produkt-Service Systeme. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, Institut für Product und Service Engineering, 2009.
- [9] Rojo, F. J.; Roy R.; Shehab. E.: Obsolescence management for long-life contracts: state of the art and future trends. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer London, 2009.
- [10] Erkoyuncu, J. A.; Roy, R., Shehab, E.; Wardle, P.: Uncertainty challenges in service cost estimation for Product-Service Systems in the aerospace and defence industries. In: Proceedings of the 2009 CIRP IPS² Conference, Cranfield, UK, S. 200-207, 2009
- [11] Ross, A. M.; Rhodes, D. H.; Hastings, D. E.: Defining Changeability: Reconciling Flexibility, Adaptability, Scalability, Modifiability, and Robustness for Maintaining System Lifecycle Value. In: Systems Engineering, 2008.
- [12] Olewnik, A.; Lewis, K.: A decision support framework for flexible system design. In: *Journal of Engineering Design*, Vol. 17, No.1, Taylor & Francis, 2006.

-
- [13] Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M.: Individualisierte Produkte: Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2006.
- [14] Bamberg, G.; Coenenberg, A.; Krapp, A.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungsfindung. München: Verlag Franz Vahlen GmbH, 2008.