

Please quote as: Berkovich, M.; Leimeister, J. M. & Krcmar, H. (2011): Requirements Engineering für Product Service Systems - Eine State-of-the-Art-Analyse. In: Wirtschaftsinformatik, Ausgabe/Number: 6, Vol. 53, Erscheinungsjahr/Year: 2011. Seiten/Pages: 357-370.

Requirements Engineering für Product Service Systems

Eine State-of-the-Art-Analyse

Product Service Systems (PSS) stellen aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften besondere Anforderungen an das Requirements Engineering (RE), die in diesem Beitrag in Form von neun Kriterien erläutert werden. Basierend auf diesen Kriterien werden führende Ansätze zum RE aus Produkt-, Software- und Dienstleistungsentwicklung sowie integrierte Ansätze hinsichtlich ihrer Eignung für PSS bewertet. Das Ergebnis zeigt, dass der Reifegrad des RE in den Domänen unterschiedlich ist, wobei das RE in Produkt- und Softwareentwicklung am weitesten ausgereift ist. Jedoch besteht großes Defizit in der domänenübergreifenden Zusammenarbeit, da die Ansätze in einem hohen Maß auf Konzepte der jeweiligen Domäne zurückgreifen. Eine direkte Übertragung der Ansätze auf verschiedene Domänen, wie für PSS erforderlich, ist nicht möglich.

DOI 10.1007/s11576-011-0301-3

Die Autoren

Dipl.-Inf. Marina Berkovich
Prof. Dr. Helmut Krcmar
 Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik
 Technische Universität München
 Boltzmannstr. 3
 85748 Garching bei München
 Deutschland
berkovic@in.tum.de
krcmar@in.tum.de

Prof. Dr. Jan Marco Leimeister (✉)
 Fachgebiet Wirtschaftsinformatik
 Universität Kassel
 Nora-Platiel-Str. 4
 34127 Kassel
 Deutschland
leimeister@uni-kassel.de

Eingegangen: 2010-10-08
 Angenommen: 2011-06-11
 Angenommen nach drei Überarbeitungen durch Prof. Dr. Buxmann.
 Online publiziert: 2011-11-19

This article is also available in English via <http://www.springerlink.com> and <http://www.bise-journal.org>: Berkovich M, Leimeister JM, Krcmar H (2011) Requirements Engineering for Product Service Systems. A State of the Art Analysis. Bus Inf Syst Eng. doi: 10.1007/s12599-011-0192-2.

Die hier vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des von der DFG geförderten SFB 768 – Zyklusmanagement von Innovationsprozessen – erarbeitet. Für weitergehende Informationen siehe <http://www.sfb768.de>.

Zusätzliche Information ist in der Online-Version dieses Beitrags (doi: 10.1007/s11576-011-0301-3) enthalten.

© Gabler Verlag 2011

1 Einleitung

Produzierende und dienstleistende Unternehmen stehen einerseits vor den Herausforderungen hohen Wettbewerbsdrucks und andererseits vor immer komplexer werdenden Kundenanforderungen. Das Angebot an reinen Sach- oder Dienstleistungen reicht oftmals nicht mehr aus, um sich von Wettbewerbern erfolgreich zu differenzieren (Leimeister und Glauner 2008). Auch Kunden wollen immer häufiger keine Produkte oder Dienstleistungen per se, sondern sie erwarten die individuelle Lösung ihrer Probleme. Dies führt bei vielen Unternehmen zu einer Transformation zu Lösungsanbietern und damit zur Änderung

ihrer Strategie von „product-centric“ zu „customer-centric“ (Galbraith 2002). Die Unternehmen bieten somit kundenspezifische Problemlösungen an (Davies 2004), die oft aus integrierten Leistungsbündeln, meist Hardware-, Software- und Dienstleistungskomponenten, bestehen und unter dem Begriff *Product Service Systems (PSS)* oder hybride Produkte bekannt sind (Becker et al. 2008).

Ein bekanntes Beispiel für PSS sind Fotokopiergeräte, die heute weitestgehend nur noch im „Performance-Pricing“-Modell im gewerblichen Bereich vertrieben werden (der Kunde bezahlt nur kopierte Seiten, kauft keinen Kopierer und betreibt bzw. wartet diesen auch nicht). Aus der IT-Branche wird oftmals *Software as a Service* als mögliches PSS genannt (Böhmman et al. 2008). Dabei wird Standardsoftware als Dienstleistung angeboten, die über das Internet nutzbar ist und an Kundenwünsche angepasst werden kann (Böhmman und Krcmar 2007). Auch der Hardwarebestandteil einer solchen Lösung ist aus Betreiberperspektive wichtig für den Erfolg des PSS. Diese Hardware wird im Rechenzentrum des Anbieters für den Software-as-a-Service-Betrieb optimiert und zur performanten Speicherung der Daten verwendet (Grohmann 2007).

Aufgrund der Beteiligung verschiedener Domänen, wie Produkt-, Software-, und Dienstleistungsentwicklung (*PE*, *SE*,

DE), an der Entwicklung von PSS, unterschiedlicher Lebenszyklen und gegenseitiger Beeinflussung einzelner Komponenten von PSS sowie einer stark kundenindividuellen Leistungserstellung ist die Entwicklung solcher Lösungen sehr komplex (Sturm und Bading 2008). Zentrale Erfolgsgrößen der Entwicklung sind insbesondere ein Verständnis der Funktionen von zu entwickelnden Lösung und somit eine konsistente Ermittlung und Verwaltung von Anforderungen (Cheng und Atlee 2007). Das macht den Einsatz von Requirements Engineering (RE) unabdingbar. Zu den Aufgabenbereichen des RE gehören das vollständige Erfassen des zu lösenden Problems und somit der Anforderungen und Rahmenbedingungen an die zu entwickelnde Lösung sowie die Verwaltung, Pflege und Beschreibung der Anforderungen in einem ausreichenden Detaillierungsgrad über alle Entwicklungsphasen hinweg (Hull et al. 2004, S. 6–8). In der Literatur existiert bisher kein RE-Ansatz, der dediziert auf die Erfordernisse von PSS eingeht und allen Anforderungen an die systematische Entwicklung von PSS gerecht wird. Erschwerend kommt hinzu, dass in der Literatur eine strukturierte Sammlung und Analyse der Kriterien für ein erfolgreiches RE für PSS ebenfalls nicht vorhanden ist.

Das Ziel dieses Beitrags ist es, Anforderungen an das RE für PSS aufzuzeigen und zu identifizieren, zu welchem Grad bestehende RE-Ansätze für PSS geeignet sind. Der Artikel beschreibt die identifizierten Ansätze kondensiert und analysiert sie bezüglich ihrer Eignung für das RE von PSS. Dieser Analyse liegen zuvor systematisch ermittelte Kriterien zu Grunde, die aus den Eigenschaften von PSS und den Aufgabenbereichen des RE im Lebenszyklus von PSS hergeleitet wurden. Als Ergebnis der Literaturanalyse werden Forschungslücken im Bereich des RE für PSS identifiziert. Durch diese erarbeiteten Ergebnisse soll eine Grundlage für weitergehende Forschung im Bereich des RE für PSS geschaffen werden, die darauf abzielt, eine konzeptuelle und logische Verbindung zwischen den Anforderungsmodellen der PE, SE und DE aufzustellen und ein durchgängiges Anforderungsmanagement und darauf aufbauende Entwicklungsansätze für PSS zu ermöglichen.

Die hier vorgestellte Literaturanalyse fußt auf diversen Vorarbeiten. Diese haben domänenspezifische Analysen (Berkovich et al. 2009c) zu RE-Ansätzen der

Produktentwicklung und Vorstufen des Analyserahmens (Berkovich et al. 2009a) thematisiert oder empirische Untersuchungen der in der Praxis verwendeten RE-Methoden und deren Herausforderungen bei der Entwicklung von PSS (Berkovich et al. 2009b) adressiert. Ebenso wurden Vorgehensmodelle zur Entwicklung von PSS analysiert (Langer et al. 2010). Dabei wurde auf den Grad der Abdeckung einzelner Lebenszyklusphasen durch die Vorgehensmodelle sowie auf die Abdeckung der verschiedenen an der Entwicklung von PSS beteiligten Domänen eingegangen. Weiterhin wurde ein Bezugsrahmen für ein integriertes RE-Modell für PSS vorgeschlagen (Berkovich et al. 2010). Hierauf aufbauend wurde im vorliegenden Artikel das Analyseraster grundlegend erweitert, indem es aus einer Lebenszyklusbetrachtung von PSS abgeleitet wird und als Basis für die Literaturanalyse dient. Darüber hinaus sind die Analysekriterien substanzial weiterentwickelt und die verwendete Literatur stark erweitert worden.

Die Struktur dieses Artikels orientiert sich an den Schritten des zugrunde liegenden Studienaufbaus: In Abschn. 2 wird das forschungsmethodische Vorgehen zur Literatursuche und -analyse beschrieben. In Abschn. 3 werden verwandte Arbeiten vorgestellt und bezüglich des vorliegenden Artikels abgegrenzt. In Abschn. 4 werden die Aufgabenbereiche des RE im Lebenszyklus von PSS erläutert. In Abschn. 5 werden die Analysekriterien hergeleitet und erläutert. Dazu wird in Abschn. 5.1 ein Ordnungsrahmen beschrieben, anhand dessen die Kriterien für die Bewertung der analysierten Literatur in Abschn. 5.2 vorgestellt werden. In Abschn. 6 werden die von uns analysierten Ansätze inhaltlich zusammengefasst, um dem Leser einen Überblick über die analysierte Literatur zu geben. Anschließend werden die Ergebnisse der Literaturanalyse anhand der in Abschn. 5 beschriebenen Kriterien vorgestellt. In Abschn. 7 erfolgt eine Diskussion der Analyse. Abschnitt 8 schließt den Artikel mit einer Zusammenfassung und dem Ausblick auf zukünftige Forschung ab.

2 Forschungsmethodisches Vorgehen

Durch die immer größere Anzahl an wissenschaftlicher Literatur steigt die Bedeutung systematischer Literaturanalysen stark (Webster und Watson 2002).

Eine Literaturanalyse ermöglicht vorhandene Erfahrung in der Wissenschaft und Praxis über einen bestimmten Aspekt zu nutzen und so Forschungslücken zu identifizieren (Budgen und Brereton 2006). Um den wissenschaftlichen Wert einer Literaturanalyse sicherzustellen, ist es notwendig, bei ihrer Durchführung besonderes Augenmerk auf die intersubjektive Nachvollziehbarkeit des Vorgehens zu legen (Torraco 2005). Daher wurde in dieser Arbeit der autorenbasierte Ansatz nach Webster und Watson (2002) zur Analyse der gefundenen Literatur gewählt, der die betrachteten Konzepte den Autoren zuordnet. Das Vorgehen und die Strukturierung der Literaturanalyse wurden gemäß den Ansätzen von Brereton et al. (2007) und Kitchenham et al. (2009) gestaltet. Die einzelnen Schritte unseres Vorgehens werden im Anhang (online verfügbar) im Detail erläutert. Der Literaturanalyse liegen folgende forschungsleitende Fragestellungen zu Grunde: „Sind die ausgewählten domänenspezifischen Ansätze zum Requirements Engineering für PSS geeignet?“ und darauf folgend „In wie weit können diese Ansätze für PSS eingesetzt werden?“.

Die Auswahl der Literatur fand in jeder der an der Entwicklung von PSS beteiligten Domänen einzeln statt, da jede Domäne eigene Begriffe und ein eigenes Verständnis von RE hat. Zur Literatursuche wurde das Portal „google scholar“ verwendet. Im Bereich der Ingenieurwissenschaften und der Informatik deckt „google scholar“ einen Großteil der Journale und elektronischen Publikationen ab. Meier und Conkling (2008) haben gezeigt, dass für die Ingenieurwissenschaften ca. 90 % der Publikationen, die nach 1990 veröffentlicht wurden, in „google scholar“ indiziert sind. Im Bereich der Informatik sind wichtige Verlage, wie beispielsweise Elsevier, indiziert (Jacsó 2008). Ebenso sind die bekanntesten Non-Profit-Organisationen, wie beispielsweise ACM und IEEE, indiziert (Meier und Conkling 2008).

Die Treffer im Suchportal wurden nach der Häufigkeit ihrer Zitierung sortiert. Anschließend wurden die jeweils 100 am meisten zitierten Beiträge untersucht. Jeder der Beiträge wurde dabei in einer der folgenden Kategorien einsortiert:

- (a) Beiträge, die einen generischen Ansatz/ein generisches Vorgehensmodell beschreiben. Kriterium für diese Beiträge ist ihre Generalität und eine gewisse Verbreitung (vgl. Goeken und Patas 2010).

Tab. 1 Analyisierte Ansätze

Ausgewählte Ansätze aus der Produktentwicklung	Ausgewählte Ansätze aus der Softwareentwicklung	Ausgewählte Ansätze aus der Dienstleistungsentwicklung	Ausgewählte integrierte Ansätze zur Entwicklung von PSS
<ul style="list-style-type: none"> • Vorgehenszyklus für die Lösungssuche (Ehrlenspiel 2002) • Engineering Design (Pahl et al. 2006) • Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte (VDI 2221 1993) • Product Design and Development (Ulrich und Eppinger 2003) • Erfassen und Handhaben von Produktanforderungen (Ahrens 2000) 	<ul style="list-style-type: none"> • Requirements Engineering Framework (Pohl 1993, 2007) • Requirements Engineering Process (Kotonya und Sommerville 1998) • Requirements Engineering Process (Lamsweerde 2009) • A Generic Process for Requirements Engineering (Hull et al. 2004) • Engineering and Managing Software Requirements (Aurum und Wohlin 2005) 	<ul style="list-style-type: none"> • Design and Management Service Processes (Ramaswamy 1996) • Key Concepts for New Service Development (Edvardsson und Olsson 1996) • Ein Rahmenkonzept für die systematische Entwicklung von Dienstleistungen (Bullinger und Schreiner 2003) • Dienstleistungsproduktion (Fritzsche und Maleri 2003) • Anforderungsanalyse für produktbegleitende Dienstleistungen (Husen 2007) 	<ul style="list-style-type: none"> • Integrated Product and Service Engineering versus Design for Environment (Lindahl et al. 2007) • Vorgehensmodell der hybriden Produktentwicklung (Spath und Demuß 2003) • Life Cycle Management of Industrial Product-Service Systems (Aurich et al. 2007) • Rahmenkonzept zur Entwicklung von Product-Service Systems (Botta 2007) • Systematische Überführung von kundenspezifischen IT-Lösungen in integrierte Produkt-Dienstleistungsbausteine mit der SCORE-Methode (Böhmman et al. 2008)

- (b) Beiträge, die sich mit einem spezifischen Thema des RE beschäftigen. Diese Beiträge beschreiben einzelne Techniken oder Aktivitäten des RE und werden den von den generischen Ansätzen vorgeschlagenen Aktivitäten des RE zugeordnet.
- (c) Beiträge, die sich nicht mit dem RE beschäftigen. Diese werden nicht weiter behandelt.

In **Tab. 1** sind die Literaturquellen, die generische Ansätze beschreiben, aufgelistet. Die spezifischen Quellen werden in der ausführlichen Beschreibung im Anhang (online verfügbar, Anhang 1) referenziert.

3 Verwandte Arbeiten

Verwandte Arbeiten zum Thema des RE für PSS lassen sich in zwei Bereiche aufteilen:

- (a) Analysen und Literaturreviews zum RE in den einzelnen Domänen, die nicht auf die PSS-Thematik eingehen.
- (b) Recherchen und Analysen zu Vorgehensmodellen für die Entwicklung von PSS.

Zum ersten Bereich gehören Beiträge, die sich der Analyse bestehender Literatur zum RE widmen. Byrd et al. (1992) haben Techniken aus den Bereichen der Anforderungsermittlung und der Wissensakquisition analysiert und auf mögliche Gemeinsamkeiten und Unterschie-

de untersucht. Wieringa et al. (2006) haben ein Klassifikationsschema für Forschungsbeiträge im Bereich des RE entwickelt. Diese Klassifikation ist aber nicht darauf ausgerichtet, verschiedene Themenbereiche im RE abzudecken, sondern überwiegend darauf, verschiedene Arten von wissenschaftlichen Beiträgen zu entdecken. Hickey und Davis (2003) haben anhand von Interviews Kriterien gesammelt, die von RE-Analysten für die Auswahl von Anforderungsermittlungstechniken verwendet wurden. Der Fokus liegt daher bei den Auswahlkriterien und weniger bei der Darstellung verschiedener Techniken des RE.

Dem zweiten Bereich sind Beiträge zuzuordnen, die sich mit der Literaturanalyse der Vorgehensmodelle für PSS beschäftigen. Zum Beispiel beschreiben Gräßle und Dollmann (2010) Vorgehensmodelle zur Entwicklung von PSS, wobei der Aufbau und die Struktur der Vorgehensmodelle selbst analysiert werden. Daher wird das RE nicht dediziert behandelt und nur am Rande in Form einer Lebenszyklusphase betrachtet. So können aus dem Beitrag keine Vorgaben zur Gestaltung der Aufgabenbereiche von RE für PSS abgeleitet werden.

Die Arbeiten aus dem ersten Bereich konzentrieren sich vor allem auf die Softwareentwicklung. Dabei behandeln sie nur einzelne Aktivitäten des RE und präsentieren vor allem Kriterien für die Analyse der Techniken, die für die Aktivitäten angeboten werden. Keine dieser Ar-

beiten stellt eine umfassende Analyse der RE-Aufgabenbereiche in den Fokus. Die Arbeiten des zweiten Bereichs und auch unsere Vorarbeit (Langer et al. 2010) beschäftigen sich mit Vorgehensmodellen, in denen RE nur rudimentär vorkommt. Einzelne Aufgabenbereiche des RE werden in diesen Arbeiten nicht analysiert.

4 Requirements Engineering im Lebenszyklus eines PSS

Um die Rolle des RE im Lebenszyklus eines PSS zu klären, sollen die RE-Aufgabenbereiche und die Lebenszyklusphasen unter Berücksichtigung der Merkmale von PSS gegenübergestellt werden.

Das RE hat die Aufgabe, auf systematische Weise die Anforderungen an ein Produkt korrekt und vollständig zu ermitteln, in geeigneter Form zu dokumentieren (Byrd et al. 1992) und somit die Grundlage für alle Entwicklungsschritte zu schaffen (Spath und Demuß 2003). RE ist eine kritische Phase im Entwicklungsprozess, da Schwächen in dieser Phase zu Projektfehlschlägen und zu kostenintensiven Änderungen in späteren Phasen der Entwicklung führen (Pohl 2007, S. 7–11). Das RE soll die Anforderungen ermitteln, analysieren und in einem erforderlichen Detaillierungsgrad darstellen, eine ausreichende Übereinstimmung über die bekannten Anforderungen erzielen sowie die Anforderungen konform zu

den Dokumentationsvorschriften dokumentieren. Wenn sich die Anforderungen ändern, soll das RE entsprechende Maßnahmen zum Umgang mit den Änderungen anbieten (Pohl 2007, S. 43).

Laut Tuli et al. (2007) umfasst der Lebenszyklus eines PSS vier Hauptphasen, nämlich *Erhebung der Anforderungen*, *Entwicklung und Integration*, *Implementierung* und *After-Sales-Phase*. Im Folgenden werden diese Phasen und ihre Verbindung zum RE beschrieben.

Erhebung der Anforderungen: In dieser Phase werden die Anforderungen an ein PSS erhoben und analysiert (Spath und Demuß 2003). Dabei stehen die Kundenanforderungen im Zentrum der Anforderungserhebung. Sie dienen als Grundlage der später durchgeführten Entwicklung und sind möglichst maximal zu erfüllen (Sawhney 2006). Das liegt daran, dass PSS *individuelle Lösungen für Kundenprobleme* sind, die auf die individuellen Kundenbedürfnisse zugeschnitten werden und dem Kunden hierdurch einen Mehrwert im Vergleich zum Erwerb herkömmlicher „einheitlicher“ Produkte oder Dienstleistungen liefern (Tukker 2004). Daher ist die Einbeziehung des Kunden sowohl in die Erhebung von Anforderungen als auch in den gesamten Prozess des RE besonders wichtig. Die erhobenen Anforderungen müssen unter Einbeziehung des Kunden validiert und verifiziert werden (Tukker 2004).

Weiterhin sind die Anforderungen aus den Wertschöpfungsprozessen des Kunden an das PSS zu erheben, da das PSS nach seiner Entwicklung in die *Wertschöpfungsprozesse des Kunden integriert* werden soll (Böhm und Krcmar 2007; Zellner 2008). Die Lösung muss so entwickelt werden, dass sie in die bestehende Systemumgebung des Kunden eingeführt werden kann.

Verschiedene Domänenperspektiven müssen bei der Anforderungserhebung berücksichtigt werden. Das rührt aus der Eigenschaft von PSS „*Bündelung materieller und immaterieller Komponenten*“, die aussagt, dass ein PSS eine Lösung darstellt, „die aus mehreren Teilen besteht, welche nicht mehr ohne weiteres einzeln erkennbar sind, deren unterschiedliche Eigenschaften das hybride Produkt prägen“ (Leimeister und Glauner 2008).

Die erhobenen Anforderungen müssen anschließend in einer Art und Weise dokumentiert werden, so dass alle an der Entwicklung beteiligten Domänen ein gemeinsames Verständnis über das zu lösende Problem aufbauen können.

Basierend auf den dokumentierten Anforderungen finden die Bildung von Modulen auf Ebene der Lösungsbausteine statt, sowie die Bewertung, ob bestehende Module wiederverwendet werden können. Modularisierung bedeutet, dass PSS aus einzelnen Modulen bzw. Komponenten bzw. Teilleistungen bestehen (Böhm et al. 2008; Beverungen et al. 2008). Obwohl die *Modularisierung* keine definitorische Eigenschaft von PSS darstellt, ist sie grundlegend für die Wiederverwendung von bestehenden Komponenten von PSS sowie für eine flexible Anpassung des Lösungsangebots auf sich ändernde Kundenwünsche durch eine Rekombination der bereits existierenden Module (Beverungen et al. 2009). So können die Module standardisiert und in verschiedenen Produkten wiederverwendet werden. Deswegen muss bereits im RE darauf geachtet werden, vorhandene Bestandteile zu identifizieren und in Modulen zusammenzufassen, um zu verhindern dass diese neu entwickelt werden.

Anschließend wird eine Produktstruktur des gesamten PSS erstellt, die das zu entwickelnde PSS nach materiellen und immateriellen Komponenten aufteilt. Um dies zu ermöglichen muss das RE die lösungsneutralen Soll-Eigenschaften (initiale Anforderungen), die in der Sprache der Stakeholder gegeben sind, konkretisieren, indem sie detailliertere qualitative und quantitative Angaben erhalten und in die lösungsorientierten (nach Hardware-, Software- und Dienstleistungen) aufgeteilten Designanforderungen in der Sprache der Entwickler (Husen 2007, S. 33) übersetzt werden. Wenn es konfliktäre Anforderungen gibt, sind sie aufzudecken und Konflikte zwischen den Anforderungen sind aufzulösen. Ebenso ist es wichtig die Anforderungen nach ihrer Konkretisierung den Stakeholdern vorzulegen, um zu klären, ob die Anforderungen die Wünsche der Stakeholder präsentieren.

Entwicklung und Integration: Gemäß Tuli et al. (2007) werden in dieser Phase, basierend auf den Anforderungen die Komponenten des PSS in abgestimmter und integrierter Weise von den Domänen entwickelt und zu einer Gesamtlösung zusammengefügt.

Während der Umsetzung können sich die Anforderungen ändern. Das RE muss die Änderungen aufnehmen, die Auswirkungen dieser Änderungen auf weitere Anforderungen und Komponenten des PSS identifizieren und Maßnahmen zum Umgang mit den Änderungen anbieten.

Deswegen ist es wichtig den Lebenszyklus einer Anforderung über alle Phasen der Entwicklung zu verfolgen und die Interdependenzen zwischen den Anforderungen und den Komponenten des PSS zu identifizieren und immer aktuell zu halten.

Implementierung und After-Sales-Phase: Laut Tuli et al. (2007) werden in der Phase der Implementierung das PSS in die Wertschöpfungsprozesse des Kunden integriert. In der After-Sales-Phase liegt der Fokus auf der Bereitstellung, Instandhaltung und Entsorgung des PSS am Ende des Produktlebenszyklus. Für eine erfolgreiche Gestaltung der beiden Phasen muss der Lösungsanbieter die Voraussetzungen beim Kunden genau kennen. Aufgrund dieser Aspekte ist auch die integrierte Entwicklung von allen Komponenten eines PSS essenziell (Spath und Demuß 2003). Das RE hat in diesen Phasen die Aufgabe, sich nachträglich ändernde Anforderungen entsprechend in den Entwicklungsprozess abzubilden sowie die Dokumentation von Anforderungen immer auf einem aktuellen Stand zu halten.

Folgend ein Beispiel für ein PSS aus dem Medizintechnik- bzw. Krankenhausumfeld, das die Komplexität der Entwicklung und die Rolle des RE verdeutlicht.

Ein ehemals reines Medizintechnik-Unternehmen bietet neuerdings OP-Besteck-Sterilisationskomplettlösungen für Kliniken auf einer nutzungsabhängigen Bepreisungsbasis an. Die Gesamtlösung erlaubt dem Kunden, auf seine Bedarfe abgestimmt die OPs mit gereinigtem Besteck genau passend zu seiner OP-Belegungsplanung in seinem Kliniksystem vom Anbieter versorgt zu bekommen und zur Variabilisierung von Fixkosten rein nutzungsabhängig zu bezahlen. Die Gesamtlösung hierfür umfasst eine entsprechende Softwarelösung, die in das Krankenhausinformationssystem integriert wird, eine auf die „On-Demand“-Bedarfe des Kunden ausgerichtete Serviceorganisation sowie auf den Betrieb der Sterilisationslösung über mehrere Kunden hinweg ausgerichtete Sterilisationsanlagen beim Dienstleister. Alle diese Komponenten werden in einem integrierten Bündel angeboten und sind einzeln kaum nutzbar.

Eine besondere Herausforderung im RE bei der Entwicklung dieser Lösung war die Konkretisierung und Abstimmung der Anforderungen an die Dienstleistungen mit den Anforderungen an die

Sachleistungen. Auf Basis der Anforderungen der Kliniken wurden Anforderungen an ein Zentrum zur Sterilisation von Operationsbesteck abgeleitet, welche wiederum in engem Zusammenhang an die Anforderungen der Dienstleistungen, wie Transport des Operationsbestecks und Integration der OP-Planung der Kliniken in die Planung des Anbieters, stehen. Bei der Erhebung der Anforderungen mussten verschiedenste Aspekte, wie die Größe und Sterilisationsbedingungen der Transportboxen für das Operationsbesteck mit der Planung der Fahrtrouten, Fahrzeuge und Arbeitszeiten der Fahrer, berücksichtigt werden. Diese zeitlichen und örtlichen Anforderungen an den Transport mussten mit den Anforderungen an die Integration der Planungssoftware des Anbieters in das Krankenhausinformationssystem der Kliniken vereinbart werden. Durch die große Zahl und Verschiedenartigkeit der Stakeholder war insbesondere die Prüfung der Anforderungen auf Konfliktfreiheit herausfordernd. Insbesondere in der Verknüpfung von Sach- und Dienstleistungsanforderungen haben sich bestehende Methoden des RE als unzureichend für diese Aufgaben herausgestellt.

5 Herleitung der Analyse Kriterien

Zur Herleitung der Kriterien wird als Erstes ein Ordnungsrahmen entwickelt, der das Ziel verfolgt, in generischer Weise RE-Konzepte zu beschreiben, um älterer und künftiger Forschung dadurch Struktur verleihen zu können (Goeken und Patas 2010). Der Ordnungsrahmen (Abschn. 5.1) beschreibt den Lebenszyklus und die Eigenschaften von PSS und deren Zusammenhang mit den Aufgabenbereichen des RE. Basierend auf dem Ordnungsrahmen wurden die Kriterien für die Literaturanalyse abgeleitet (Abschn. 5.2).

5.1 Ordnungsrahmen als Darstellung des RE-Gegenstands für PSS

Um die Kriterien zur Analyse von RE-Ansätzen in der Produkt-, Software- und Dienstleistungsentwicklung sowie bei den Ansätzen zur integrierten Entwicklung von PSS abzuleiten, wird ein Ordnungsrahmen konstruiert, der die Aufgabe hat, den Gegenstandsbereich des RE für PSS darzustellen und das Hintergrundwissen und die Annahmen der Forscher explizit zu machen (Goeken und

Patas 2010). Dies ist im Bereich des RE insbesondere erforderlich, weil dort auf Theorien zur Stützung der Forschungsarbeit weitgehend nicht zurückgegriffen werden kann.

Zur Konstruktion des Ordnungsrahmens haben wir uns an die Dimensionen eines architektonischen Ordnungsrahmens im IT-Bereich orientiert, der von Vogel et al. (2009) vorgeschlagen wurde, um das Wissen und die gesammelte Erfahrung eines Themenbereichs zu strukturieren und Orientierung zu schaffen. Ein Ordnungsrahmen wird aus bestehenden Inhalten und Forschungsergebnissen abgeleitet, wobei relevante Komponenten aus den bestehenden Arbeiten entnommen und in geeigneter Form in Verbindung zueinander gesetzt werden. Diesem Vorgehen liegt die Annahme zu Grunde, dass in der Forschung eine Übereinstimmung bezüglich des betrachteten Gegenstandes besteht, die im Ordnungsrahmen in expliziter Form festgehalten werden kann. Der Ordnungsrahmen erhebt jedoch nicht den Anspruch auf Vollständigkeit aufgrund möglicher Erweiterungen und Veränderungen durch zukünftige Forschungsergebnisse.

Unter Einbezug der Anforderungen für einen Ordnungsrahmen für das RE von Goeken und Patas (2010) haben sich folgende zusammenfassenden Anforderungen an den Ordnungsrahmen ergeben:

- (1) Der Ordnungsrahmen muss die wesentlichen Komponenten des RE für PSS wiedergeben.
- (2) Der Ordnungsrahmen muss alle relevanten Beziehungen zwischen diesen Komponenten beschreiben.
- (3) Die Beziehungen zwischen den Komponenten müssen im Ordnungsrahmen wissenschaftlich begründbar sein.

Durch die Erfüllung dieser Anforderungen wird gewährleistet, dass der Ordnungsrahmen dazu geeignet ist, bestehendes Wissen über das RE zu strukturieren. Um dies zu erreichen, muss in der Definition des Ordnungsrahmens ein geeignetes – hinreichend hohes – Abstraktionsniveau gewählt werden. Auf diese Weise lassen sich verschiedene Forschungsergebnisse, die sowohl unterschiedliche Terminologie als auch Methoden verwenden, strukturieren.

Der Ordnungsrahmen beschreibt den Zusammenhang zwischen den Eigenschaften von PSS und den Aufgabenbereichen des RE im Lebenszyklus von PSS (beschrieben im Abschn. 4). Dadurch

wird aus dem Ordnungsrahmen ersichtlich, wie die Eigenschaften von PSS die Aufgabenbereiche des RE beeinflussen. Somit liefert der Ordnungsrahmen die Grundlage zum Aufstellen von Kriterien zur Analyse von RE-Ansätzen. In **Abb. 1** wird der Ordnungsrahmen als Darstellung des RE-Gegenstands für PSS mittels UML dargestellt.

Im Folgenden werden die wesentlichen Konzepte des Ordnungsrahmens in Prosa beschrieben: Die vom RE ermittelten und verwalteten Anforderungen beschreiben das Kundenproblem. Da das PSS in die Wertschöpfungsprozesse des Kunden integriert wird, ergeben sich Anforderungen auch aus den Wertschöpfungsprozessen des Kunden. Ein PSS besteht aus verschiedenen Komponenten, die durch die einzelnen Domänen entwickelt werden. Der Lebenszyklus von PSS besteht aus vier Phasen, wobei die Erhebung der Anforderungen die erste Phase darstellt. Die RE-Aufgabenbereiche aus Berkovich et al. (2010), die in Abschn. 4 angesprochen wurden, werden ebenso in den Ordnungsrahmen aufgenommen.

5.2 Kriterien für die Analyse und Bewertung der Literatur

Basierend auf den in Abschn. 4 diskutierten Aufgaben des RE in der Entwicklung von PSS und des Ordnungsrahmens aus Abschn. 5.1 werden in diesem Abschnitt Kriterien für die Analyse und Bewertung der Literatur abgeleitet.

K1. *Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Anforderungserhebung.* Im Falle von PSS äußert der Kunde Wünsche an eine Lösung als Ganzes. Die Vorgehensweisen zur Anforderungserhebung sollen in der Lage sein, die relevanten Anforderungsquellen zu identifizieren und die Anforderungen möglichst vollständig zu erheben. Die Anforderungen an die Dienstleistungen werden vom Kunden oft nur implizit geäußert (Ramaswamy 1996, S. 14–18) und müssen ebenso erhoben werden. Weiterhin sind die Anforderungen die sich aus den relevanten Wertschöpfungsprozessen der Kunden an das PSS ergeben, zu erheben.

K2. *Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Konkretisierung von Anforderungen.* Die in der Anforderungsermittlung erhobenen Anforderungen müssen konkretisiert und in „die Sprache der Entwickler“ übersetzt

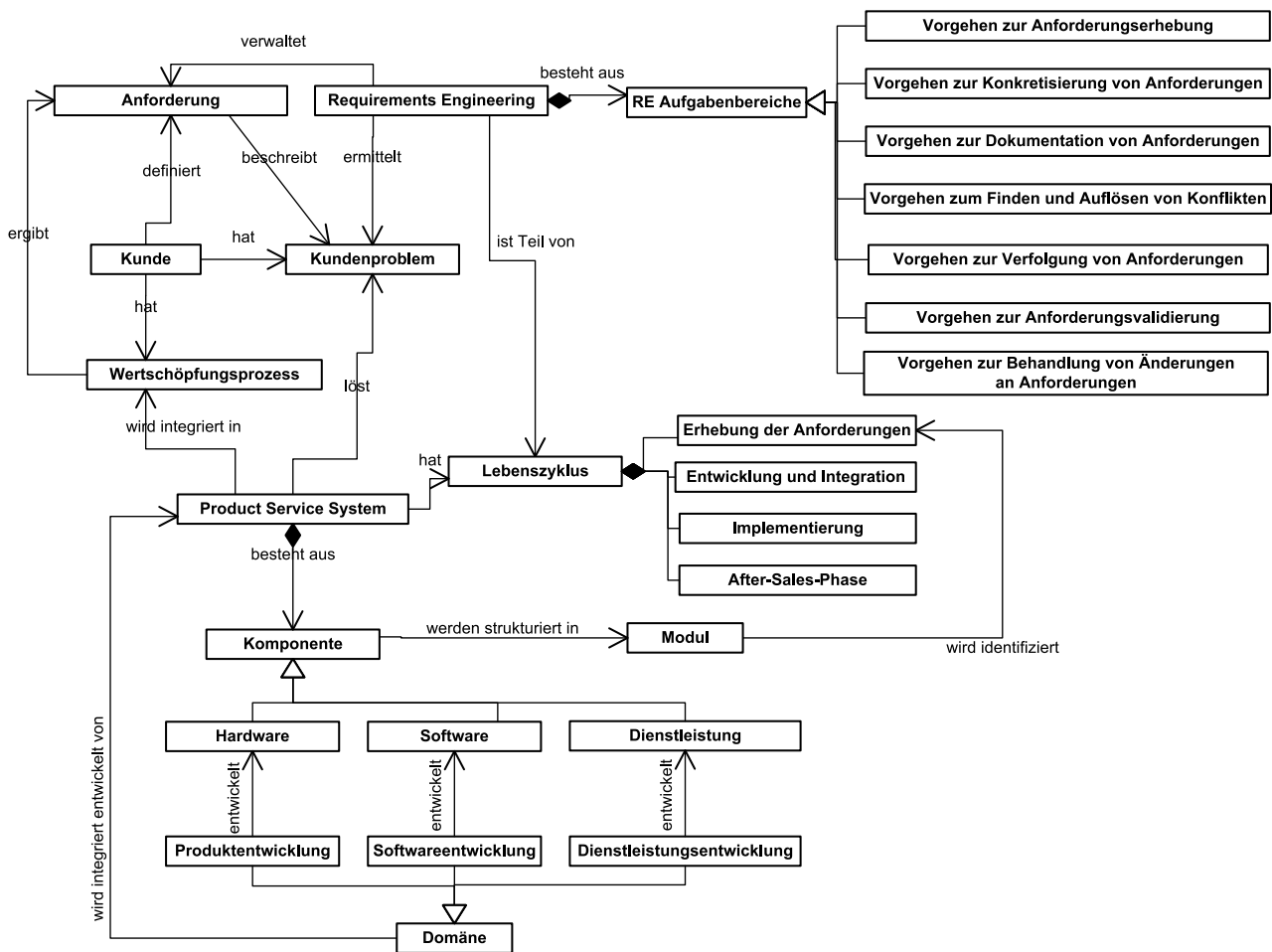


Abb. 1 Ordnungsrahmen zum RE-Gegenstand von PSS entlang des Lebenszyklus

werden. Sie resultieren in den domänenspezifischen Designanforderungen an die Komponenten des PSS, die von den einzelnen Domänen anschließend umgesetzt werden. Demzufolge sind die Anforderungen so zu konkretisieren, dass die daraus abgeleiteten Designanforderungen den einzelnen Domänen zugeordnet werden können. So müssen aus den initialen Anforderungen an das PSS durch die Konkretisierung Designanforderungen an die Dienstleistungen, die durch drei Dimensionen Potenzial, Prozess und Ergebnis (Husen 2007) charakterisiert sind, sowie an Hardware und Software abgeleitet werden.

K3. *Bereitstellung von Vorgehensweisen zum Finden und Auflösen von Konflikten zwischen Anforderungen.* Die Anforderungen können einander widersprechen. Es müssen Vorgehensweisen zur Identifikation und Auflösung von Konflikten zwischen den

Anforderungen sowohl innerhalb einer Domäne als auch unter unterschiedlichen Domänen bereitgestellt werden.

K4. *Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Dokumentation von Anforderungen.* Es müssen Vorgehensweisen bereitgestellt werden, die eine vollständige, durchgängige und möglichst eindeutige Dokumentation von Anforderungen und ihren Änderungen ermöglichen. Die Anforderungsdokumentation dient als Basis für die Kommunikation zwischen allen Domänen, daher sind die Eigenheiten der einzelnen Domänen zu berücksichtigen. So müssen die Quelle einer Anforderung, von ihr durch die Konkretisierung abgeleiteten Anforderungen sowie die Beziehungen zu den Anforderungen anderer Domänen dokumentiert werden. Im Falle von Anforderungen an die Dienstleistungen soll bspw. die entspre-

chende Dimension festgehalten werden.

K5. *Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Verfolgung von Anforderungen.* Die fortschreitende Projektarbeit oder Änderungen der Kundenwünsche sind Gründe für Änderungen an Anforderungen. Deswegen sind die Anforderungen zu kontrollieren und zu verfolgen, um den aktuellen Stand der Anforderungen zu jedem Zeitpunkt des Lebenszyklus von PSS festzustellen. Die Vorgehensweisen sollen in der Lage sein, die Anforderungen von ihrem Ursprung und bis zu ihrer Übermittlung in die disziplinspezifischen Designanforderungen zu verfolgen. Dabei sind die Interdependenzen zwischen den Anforderungen innerhalb einer Domäne sowie zwischen den Anforderungen unterschiedlicher Domänen zu identifizieren und festzuhalten.

K6. *Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Behandlung von Änderungen an*

Anforderungen. Es müssen Vorgehensweisen bereitgestellt werden, um die Auswirkungen von Anforderungsänderungen auf andere initiale Anforderungen, aber auch domänenspezifische Designanforderungen sowie auf Entwicklungsergebnisse von Komponenten zu analysieren. Bei PSS müssen insbesondere Änderungen während der Nutzungsphase berücksichtigt werden.

- K7. *Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Anforderungvalidierung.* Vorgehensweisen sind bereitzustellen, die es ermöglichen Designanforderungen auf Übereinstimmung mit initialen Anforderungen zu prüfen. Bei PSS ist insbesondere die Übereinstimmung der Designanforderungen aus den einzelnen Domänen mit den initialen Stakeholderanforderungen zu prüfen.
- K8. *Einbeziehung von Kunden und Stakeholdern in RE.* Kunden und Stakeholder sind die wichtigsten Anforderungsquellen und von ihrer Entscheidung hängt der Erfolg eines Produkts ab. Daher sind Kunden und Stakeholder in den Prozess des RE einzubeziehen. Nur so kann eine möglichst vollständige Erfüllung der Kundenanforderungen erreicht werden.
- K9. *Unterstützung der Modularisierung durch das RE.* Das Bilden von Modulen und deren Wiederverwendung stellt eine wichtige Eigenschaft von PSS dar. Das RE muss bereits frühzeitig die Anforderungen in geeigneter Weise aufbereiten, um frühzeitig im Entwicklungsprozess Module zu identifizieren, die wiederverwendet werden können.

6 Analyse der Ansätze in Produkt-, Software- und Dienstleistungsentwicklung sowie integrierter Ansätze zur Entwicklung von PSS

6.1 Darstellung der Ansätze

Zu einem besseren Verständnis der anschließenden Analyse der RE-Ansätze in Bezug auf ihre Erfüllung der in Abschn. 5.2 definierten Kriterien werden die Ansätze, gegliedert nach den Aufgabenbereichen des RE, kurz beschrieben. Eine ausführliche Darstellung der Ansätze ist im Anhang (online verfügbar, Anhang 2) zu finden.

6.1.1 Requirements Engineering in der Produktentwicklung

Als erster Schritt im Entwicklungsprozess nennen die Ansätze von Ulrich und Eppinger (2003), Ehrlenspiel (2002), VDI-Richtlinie 2221 (1993) sowie Pahl et al. (2006) die Analyse des Umfelds der zukünftigen Entwicklung, um mögliche Einflussfaktoren auf den Entwicklungsprozess zu identifizieren und das Gesamtziel der Entwicklung zu definieren. Darauf basierend werden die relevanten Stakeholder identifiziert und die Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt ermittelt.

Die Stakeholderanforderungen sind oft unpräzise und qualitativer Natur (Tseng und Jiao 1997). Sie sind deswegen zu konkretisieren und in „die Sprache des Entwicklers“ zu übersetzen, indem sie detailliert werden und nach Möglichkeit quantitative Angaben erhalten (Pahl et al. 2006; Ahrens 2000). Dadurch werden die Stakeholderanforderungen zu Designanforderungen, die von der Entwicklung umgesetzt werden. Obwohl die Anforderungskonkretisierung eines der zentralen Elemente des RE darstellt, wird sie von den analysierten Ansätzen nicht explizit und einheitlich beschrieben. Weiterhin müssen Konflikte zwischen den Anforderungen aufgedeckt werden und es müssen Maßnahmen zu ihrer Auflösung eingeleitet werden (Ehrlenspiel 2002; Ulrich und Eppinger 2003). Oft führt die Auflösung von Konflikten zu Änderungen an weiteren Anforderungen und an realisierten Komponenten des Produkts (Peterson et al. 2007). Zur Bewertung der Auswirkungen von Änderungen werden die Interdependenzen zwischen den Anforderungen bspw. anhand einer DSM-Matrix festgehalten (Danilovic und Sandkull 2005).

Die konkretisierten Anforderungen sind zu validieren. Dafür wird oft die Simulation eingesetzt (Schäppi et al. 2005). Sie bietet die Möglichkeit, frühzeitig in der Entwicklung Aussagen über erreichbare Eigenschaften eines Produkts zu treffen.

Das Thema der Modularisierung tritt in der Produktentwicklung in verschiedenen Formen auf. Das grundsätzliche Prinzip davon ist, Module so zu definieren, dass sie in unterschiedlichen Produkten wiederverwendet werden können (Ehrlenspiel 2002; Schäppi et al. 2005).

Viele der analysierten Ansätze beschreiben ein klassisches Vorgehen nach dem Wasserfallmodell, bspw. Pahl et al.

(2006). In der Realität werden jedoch häufig iterative Vorgehensmodelle angewendet. Die Aktivitäten des RE werden iterativ durchgeführt und sind in den Entwicklungsprozess zu integrieren. Für weitere Informationen zu den RE-Ansätzen in der Produktentwicklung ist auf Berkovich et al. (2009c) zu verweisen.

6.1.2 Requirements Engineering in der Softwareentwicklung

Requirements Engineering ist eine eigenständige Disziplin in der Softwareentwicklung und wird definiert als ein Prozess der Definition aller relevanten Anforderungen durch die Identifikation aller Stakeholder und ihrer Bedürfnisse und der Dokumentation von Anforderungen in einer Form, die für eine weitere Analyse, Kommunikation und darauf basierende Umsetzung geeignet ist (Somerville 2004, S. 143–144).

Laut der im Rahmen der Literaturrecherche analysierten Quellen gehören Anforderungserhebung, -priorisierung, -konkretisierung, -dokumentation, -validierung, -vereinbarung, -verfolgung und das Änderungsmanagement zu den grundlegenden Aufgabenbereichen des RE und zählen zu den strukturellen Bestandteilen des RE laut dem RE-Framework von Pohl (1993, S. 39 ff).

Während der Anforderungserhebung werden die Anforderungsquellen identifiziert und die Anforderungen ermittelt (Lamsweerde 2009, S. 62). Eine intensive und zielgerichtete Kommunikation mit den Stakeholdern ist dabei grundlegend für das Verständnis von Anforderungen (Coughlan und Macredie 2002).

Im nächsten Schritt der Anforderungskonkretisierung wird die Brücke zwischen den Stakeholderanforderungen und den Designanforderungen geschaffen (Kotonya und Sommerville 1998, S. 146–149). Wenn zwischen den Anforderungen Widersprüche bestehen, sind sie zu identifizieren und aufzulösen (Cheng und Atlee 2007). Im Rahmen der anschließenden Anforderungsdokumentation sind wichtige Informationen über die Anforderungen zu dokumentieren, wie z. B. die Beschreibung oder Änderungen an Anforderungen (Pohl 2007, S. 547–549).

Während der Anforderungvalidierung sollen die Anforderungen auf inhaltliche Fehler und Mehrdeutigkeiten überprüft werden (Jönsson und Lindvall 2005; Kotonya und Sommerville 1998, S. 87–90). Dazu wird oft Prototyping einge-

setzt, das den Stakeholdern erlaubt, ihre Anforderungen zu verdeutlichen, neue Anforderungen auszudrücken sowie zu überprüfen, ob ihre Anforderungen erfüllt sind (Lamsweerde 2009, S. 70–72).

Die Anforderungen ändern sich von ihrer Identifikation über die Entwicklung hinweg bis zur Nutzungsphase (Cox et al. 2009). Das Änderungsmanagement soll die Änderungen aufnehmen, auf Umsetzbarkeit und dadurch entstehende Kosten sowie Auswirkungen auf weitere Anforderungen prüfen, für weitere Entwicklungsschritte aufbereiten und entsprechend dokumentieren (Kotonya und Sommerville 1998, S. 143–146).

In der Softwareentwicklung ist die Problematik der Modularisierung und Wiederverwendung unter dem Begriff Software-Produktlinien bekannt. Eine gezielte Wiederverwendung soll ermöglicht werden, indem eine domänenspezifische Basis an Anwendungen erstellt wird (Käkölä und López 2006).

Neben den beschriebenen Aufgabenbereichen des RE existieren zahlreiche Vorgehensmodelle, die sich auf bestimmte Problemstellungen beziehen und angeben, in welcher Reihenfolge die bestehenden Vorgehensweisen des RE angewandt werden und welche Besonderheiten dabei zu berücksichtigen sind.

6.1.3 Requirements Engineering in der Dienstleistungsentwicklung

Im Zentrum der Dienstleistungsentwicklung steht eine systematische Entwicklung und Gestaltung von Dienstleistungen durch die Angabe von Methoden, Vorgehensmodellen und Werkzeugen (Bullinger und Schreiner 2003).

Zu Beginn der Dienstleistungsentwicklung werden Rahmeninformationen wie Dienstleistungsideen, Schlüssel-Kunden und Anforderungsquellen identifiziert. Als Anforderungsquellen dienen sowohl der Kunde als auch der Dienstleistungsanbieter (Bullinger und Schreiner 2003). Anschließend sind Ziele, Chancen und Risiken der zu entwickelnden Dienstleistungen zu erkennen (Friezschke und Maleri 2003) sowie die entsprechenden Anforderungen an die Dienstleistungen zu ermitteln.

Die ermittelten Anforderungen sind zu konkretisieren, indem sie Attribute erhalten, die sich auf die weitere Implementierung der Dienstleistungen beziehen (Husen 2007; Ramaswamy 1996). Die Aufteilung der konkretisierten Anforderungen nach Potenzial-, Prozess-, und Er-

gebnisdimension, die als Entwicklungsdimensionen bezeichnet werden, ermöglicht die Identifikation des Ergebnisses der Dienstleistungserbringung sowie der dafür benötigten Aktivitäten und Ressourcen (Bullinger und Schreiner 2003).

Finden und Auflösen von Konflikten zwischen den Anforderungen, das Änderungsmanagement und die Anforderungsverfolgung werden in keinem Ansatz schlüssig beschrieben, sondern es wird auf die Vorgehensweisen aus der Softwareentwicklung verwiesen. Für weitere Informationen zu den RE-Ansätzen in der Dienstleistungsentwicklung ist auf Berkovich et al. (2009a) zu verweisen.

In der Dienstleistungsentwicklung wurden die Vorteile der Modularisierung und Wiederverwendung erkannt. Die Wiederverwendung von nicht differenzierenden Dienstleistungsbestandteilen führt zur Steigerung der Profitabilität (Böhmman et al. 2008). Böhmman und Krcmar (2003) schlagen einen Ansatz zur Entwicklung modularisierter Dienstleistungen vor, der auch die Phasen des RE beinhaltet, jedoch nicht im Detail darauf eingeht.

6.1.4 Requirements Engineering bei integrierten Ansätzen zur Entwicklung von PSS

Das RE bei den integrierten Ansätzen zur Entwicklung von PSS wird noch ziemlich abstrakt behandelt, ohne auf die einzelnen Aufgabenbereiche des RE einzugehen. Der Entwicklung von PSS liegt die Idee zu Grunde, dass Sach- und Dienstleistungen als ein eigenständiges Leistungsbündel parallel und abgestimmt von den beteiligten Domänen entwickelt werden (Spath und Demuß 2003).

Aurich et al. (2007) schlagen ein Vorgehensmodell für das PSS-Lebenszyklusmanagement vor. Während in der ersten Phase der Organisationsgestaltung die organisatorischen Voraussetzungen geschaffen werden, um eine integrierte Sach- und Dienstleistungserbringung zu ermöglichen, werden in der anschließenden Phase der PSS-Planung die Anforderungen an das PSS ermittelt. Diese Anforderungen werden analysiert, auf Sach- und Dienstleistungen aufgeteilt und in der nächsten Phase der PSS-Umsetzung realisiert. Ein weiteres Modell, das sich ebenso auf den kompletten Lebenszyklus von PSS konzentriert, wird von Lindahl et al. (2007) vorgeschlagen. Das RE ist als expliziter Schritt in dem Entwicklungsprozess festgehalten, der die

Aufgabe hat, die Bedürfnisse der Kunden bezüglich der Sach- und Dienstleistungen zu erfassen. Konkrete Techniken zur Durchführung werden jedoch auch hier nicht angegeben.

Die „hybride Produktentwicklung“ (Spath und Demuß 2003) konzentriert sich ausschließlich auf die Entwicklung der einzelnen Komponenten des PSS. So werden die Anforderungen ermittelt, analysiert und zur Herleitung von Produktstrukturen für materielle und immaterielle Komponenten der Lösung in Form eines Anforderungsmodells verwendet. Das Anforderungsmodell ist während der ganzen Entwicklung aktuell zu halten.

Das Rahmenkonzept zur Entwicklung von PSS (Botta 2007) betrachtet die Anforderungen in Form von geforderten Eigenschaften des PSS als Ausgangsbasis für die Entwicklung. Daraus werden Merkmalsstrukturen abgeleitet, die den Aufbau des PSS beschreiben.

Der von Böhmman et al. (2008) vorgeschlagene Ansatz zur Modularisierung standardisierbarer Lösungen ist speziell auf IT-Dienstleistungen zugeschnitten, die sowohl aus Software/Hardware als auch aus klassischen Dienstleistungen bestehen.

6.2 Kriterienbasierte Analyse der Ansätze

Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen aus der Literaturrecherche und den davor aufgestellten Kriterien wurden die betrachteten Ansätze analysiert und auf ihre Eignung für PSS überprüft. In **Tab. 2** werden die Ergebnisse über die Eignung der einzelnen domänenspezifischen Ansätze sowie der integrierten Ansätze zur Entwicklung von PSS gemäß den Kriterien zusammenfassend dargestellt und im Folgenden im Detail erläutert.

K1: Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Anforderungserhebung. Die Anforderungserhebung wird in allen Domänen breit behandelt. Viele Vorgehensweisen werden vorgeschlagen; zu den wichtigsten gehören Interviews, Workshops oder Analyse existierender Dokumente. In den einzelnen Domänen wird aber bei der Anforderungsermittlung stark auf den eigenen Bereich fokussiert. So werden bspw. in der PE keine Vorgehensweisen zur Erhebung von Anforderungen an die

Tab. 2 Analyse der RE-Ansätze in Bezug auf ihre Eignung für PSS

Kriterien der Literaturanalyse	Ansätze aus der Produktentwicklung	Ansätze aus der Softwareentwicklung	Ansätze aus der Dienstleistungs-entwicklung	Ansätze zur integrierten Entwicklung hybrider Produkte
K1: Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Anforderungserhebung				
K2: Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Konkretisierung von Anforderungen				
K3: Bereitstellung von Vorgehensweisen zum Finden und Auflösen von Konflikten zwischen Anforderungen				
K4: Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Dokumentation von Anforderungen				
K5: Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Verfolgung von Anforderungen				
K6: Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Behandlung von Änderungen an Anforderungen				
K7: Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Anforderungvalidierung				
K8: Einbeziehung von Kunden und Stakeholdern in RE				
K9: Unterstützung der Modularisierung durch das RE				

Voll erfüllt. Teilweise erfüllt. Nicht erfüllt.

im Zusammenhang mit dem Produkt stehenden Dienstleistungen, die oft nur implizit geäußert werden, vorgeschlagen. Die integrierten Ansätze erkennen die Notwendigkeit, Anforderungen zu erheben, aber konkrete Vorgehensweisen hierzu fehlen weitgehend. Schwächen bestehen in allen Ansätzen in der Ableitung von Anforderungen aus den Wertschöpfungsprozessen des Kunden. Obwohl eine Umfeldanalyse, die dies leisten soll, vorgeschlagen wird, fehlen genaue Angaben zur Identifikation relevanter Wertschöpfungsprozesse und Erhebung von Anforderungen. Ebenso wird in den untersuchten Ansätzen nicht berücksichtigt, dass bei einer domänenübergreifenden Entwicklung

die Anforderungsanalysten aus verschiedenen Domänen entsprechendes Wissen aus anderen Domänen einbringen müssen, um richtige Fragen an den Kunden zu stellen.

K2: *Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Konkretisierung von Anforderungen.* In den analysierten Ansätzen der PE und SE ist die Konkretisierung von Stakeholder- in Designanforderungen ein zentrales Element des RE. Es werden Vorgehensweisen dazu angeboten, die jedoch stark auf die jeweilige Domäne spezialisiert sind. Die integrierten Ansätze erkennen die Notwendigkeit der Übersetzung von Anforderungen, stellen jedoch keine konkreten Vorgehensweisen zur Verfügung. Weit verbreitet ist die QFD-Methode, die

in allen Domänen eingesetzt wird. Der Einsatz dieser Methode erweist sich jedoch als schwierig, wenn es um die Entwicklung neuer Produkte geht, da sie auf einer Gegenüberstellung mit bereits existierenden Produkten beruht. Das QFD wurde auch für PSS adaptiert, dessen Einsatz sich sowohl bei der Neuentwicklung als auch bei der Ableitung von Designanforderungen aus Kundenanforderungen als schwierig erweist und sich mehr zur Bewertung von verschiedenen Lösungsmöglichkeiten bezüglich ihrer Erfüllung der Kundenanforderungen eignet (Möhrle und Spilgies 2005). Allerdings bleibt die Übersetzung von initialen Anforderungen an das PSS in die Designanforderungen, die

den einzelnen Domänen zugeordnet sind, weitgehend ungelöst.

Keine der Vorgehensweisen aus der PE und SE ist geeignet, um die Gliederung von Dienstleistungen nach Entwicklungsdimensionen zu gewährleisten. Darüber hinaus sind die Ansätze aus PE und SE bestrebt, die Anforderungen möglichst zu quantifizieren, was bei Dienstleistungen aber mit Schwierigkeiten verbunden ist (Husen 2007). Die Ansätze der DE selbst beschreiben zwar das Konzept der Anforderungskonkretisierung, konkrete Vorgehensweisen fehlen aber weitgehend. In Bezug auf produktbegleitende Dienstleistungen sind in den Ansätzen der DE die Vorgehensweisen zur Identifikation des Primärprodukts, auf das sich die Dienstleistungen beziehen nur unzureichend beschrieben.

- K3: *Bereitstellung von Vorgehensweisen zum Finden und Auflösen von Konflikten zwischen Anforderungen.* Das Finden und Auflösen von Konflikten in der DE und in den integrierten Vorgehensmodellen wird kaum behandelt. Lediglich Husen (2007) schlägt Vorgehensweisen zur Konfliktidentifikation und -auflösung vor, die aber an die Vorgehensweisen aus der PE und SE angelehnt sind. Die in der PE, SE und DE angebotenen Vorgehensweisen zur Konfliktidentifikation, wie Einflussmatrizen zum Prüfen der Abhängigkeitsbeziehungen zwischen den Anforderungen, orientieren sich an den eigenen Domänen, was dazu führt, dass mögliche Konflikte zwischen den Anforderungen unterschiedlicher Domänen, wie bspw. zwischen den Anforderungen an Software und Dienstleistungen, dabei unentdeckt bleiben. Zur Konfliktauflösung werden von den meisten Ansätzen Verhandlungen mit dem Stakeholder unter Einbeziehung der Entwickler vorgeschlagen.
- K4: *Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Dokumentation von Anforderungen.* Die natürlichsprachliche Dokumentation von Anforderungen wird in allen Ansätzen beschrieben. In der DE und in den integrierten Ansätzen werden keine genauen Angaben zur Gestaltung der Anforderungsdokumente gemacht. Die Vorteile der natürlichsprachlichen Dokumentation liegen an der Einfachheit










und Verständlichkeit. Zu den Nachteilen gehört die Mehrdeutigkeit, auf die besonders in einem domänenübergreifenden Umfeld geachtet werden soll. Das Anforderungsdokument verlangt eine durchgehende Pflege über den gesamten Entwicklungsprozess hinweg. Die Anwendung der modellbasierten Dokumentation von Anforderungen, die insbesondere in der Softwareentwicklung verbreitet ist, ist auf PSS schwierig anzuwenden. Der Grund dafür ist, dass es weitgehend keine Vorgehensweisen und Modelle zur Darstellung von Anforderungen an die Dienstleistungen sowie für das Zusammenspiel zwischen den Anforderungen, die zu verschiedenen Domänen gehören, existieren.

- K5: *Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Verfolgung von Anforderungen.* Die Abhängigkeiten zwischen den Anforderungen untereinander und den Produktkomponenten sowie die Verfolgbarkeit einer Anforderung zu ihrer Quelle werden in der PE und SE über Einfluss- oder Verknüpfungsmatrizen festgehalten. In der DE sowie in den integrierten Ansätzen werden keine konkreten Vorgehensweisen zur Gewährleistung der Verfolgbarkeit vorgegeben. Die Vorgehensweisen zur Identifikation der Abhängigkeiten zwischen Anforderungen berücksichtigen nicht, dass verschiedene Domänen beteiligt sind. Somit sind in den Einfluss- und Verknüpfungsmatrizen die Beteiligung mehrerer Domänen und die drei Entwicklungsdimensionen der Dienstleistungen einzubeziehen und entsprechend mehrdimensional zu gestalten. Alle Ansätze weisen darauf hin, dass Anforderungsdokumente entsprechende Verweise auf abhängige Anforderungen und Komponenten, Anforderungsquellen sowie Änderungen enthalten sollen.
- K6: *Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Behandlung von Änderungen an Anforderungen.* Weder in der PE noch in der DE werden die Änderungen der Anforderungen ausführlich behandelt. In der DE und in den integrierten Ansätzen wird darauf hingewiesen, dass sich die Anforderungen ändern können, ein genauer Prozess zur Behandlung von Änderungen wird aber nicht angegeben. Es wird dabei auf die entspre-

chenden Vorgehensweisen der Softwareentwicklung hingewiesen. Die Änderungen in der Nutzungsphase werden in keiner Domäne behandelt. Die Abschätzung der Auswirkungen von Änderungen auf weitere Anforderungen sowie auf Komponenten des Produkts basiert auf den Informationen, die durch die Anforderungsverfolgung gewonnen werden. Alle analysierten Ansätze weisen darauf hin, dass die Änderungen erst dann realisiert werden können, wenn sie von allen Beteiligten akzeptiert sind und keine Konflikte hervorrufen.

- K7: *Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Anforderungvalidierung.* In den meisten Ansätzen der DE ist die Validierung von Anforderungen ein Teil eines Abgleichs zwischen dem auf Basis der Anforderungen erstellten Dienstleistungskonzept und den initialen Anforderungen. Dabei werden keine konkreten Schritte zur Validierung von Anforderungen vorgegeben. Auch in der PE und in den integrierten Ansätzen wird die Validierung unzureichend diskutiert. In der SE werden dafür Techniken, wie z. B. Inspektionen oder Reviews eingesetzt, die sich darauf ausrichten, Fehler und Inkonsistenzen in Anforderungsdokumenten zu finden und auch für PSS eingesetzt werden können. Husen (2007) schlägt ebenfalls vor, die Vorgehensweisen der SE zu benutzen. Gegenüber den analysierten Ansätzen ist zu beachten, dass die beteiligten Domänen in die Validierung einzubeziehen sind. Zum anderen ist es wichtig, bei den Dienstleistungsanforderungen die Entwicklungsdimensionen zu berücksichtigen und zwischen den redundanten und verwandten Anforderungen zu unterscheiden.
- K8: *Einbeziehung von Kunden und Stakeholdern in RE.* In allen Domänen wird die Rolle des Kunden hervorgehoben, der über den Erfolg eines Produkts entscheidet. In der DE ist der Kunde der Leistungsempfänger und daher in den Entwicklungsprozess einzubeziehen. In den meisten Ansätzen beschränkt sich die Kundenintegration aber auf die Phasen der Ermittlung und Vereinbarung. Auch die Anforderungspriorisierung wird größtenteils durch den Kunden bestimmt. Die Kommunikation

Tab. 3 Ergebnisse der Analyse der RE-Ansätze anhand der Kriterien

Kriterium	Erfüllung	Beschreibung
K1: Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Anforderungserhebung		Die Anforderungserhebung ist in den einzelnen Domänen und in den integrierten Ansätzen gut ausgearbeitet, jedoch individuell auf diese zugeschnitten. Vor allem die domänenübergreifende Erhebung von Anforderungen, in der auch die impliziten Anforderungen an die Dienstleistungen erhoben werden, wird unzureichend behandelt. In diesem Bereich müssen für PSS spezielle Vorgehensweisen entwickelt werden.
K2: Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Konkretisierung von Anforderungen		Es lässt sich feststellen, dass trotz der Bereitstellung von zahlreichen Methoden und Vorgehensweisen für die Anforderungskonkretisierung, integrierte Vorgehensweisen fehlen, die für PSS geeignet sind. So besteht keine Unterstützung zur Übersetzung von initialen Anforderungen an das PSS in die domänenspezifischen Designanforderungen und zur Berücksichtigung des Zusammenspiels zwischen den Anforderungen verschiedener Domänen untereinander.
K3: Bereitstellung von Vorgehensweisen zum Finden und Auflösen von Konflikten zwischen Anforderungen		In den bestehenden Ansätzen wird nur die Behebung von Konflikten durch Verhandlungen zwischen Kunden und Entwickler beschrieben. Konflikte zwischen verschiedenen Domänen werden nicht berücksichtigt.
K4: Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Dokumentation von Anforderungen		Die betrachteten Ansätze schlagen größtenteils natürlichsprachliche Dokumentation der Anforderungen vor. Diese Art der Dokumentation kann auch für PSS eingesetzt werden.
K5: Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Verfolgung von Anforderungen		In PE und SE existieren Vorgehensweisen zur Anforderungsverfolgung, während in der DE und in den integrierten Ansätzen weitgehend keine vorhanden sind. Jedoch fehlt eine domänenübergreifende Anforderungsverfolgung, wie sie für PSS nötig ist.
K6: Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Behandlung von Änderungen an Anforderungen		In allen Domänen und in den integrierten Ansätzen werden Änderungen nicht zufriedenstellend behandelt. Für PSS ist daher keiner dieser Ansätze verwendbar.
K7: Bereitstellung von Vorgehensweisen zur Anforderungvalidierung		Für die Anforderungvalidierung sind ausgereifte Vorgehensweisen in der SE vorhanden. Diese können entsprechend angepasst auch für PSS eingesetzt werden.
K8: Einbeziehung von Kunden und Stakeholdern in RE		Die Wichtigkeit der Einbeziehung des Kunden ist in allen Domänen und in den integrierten Ansätzen erkannt worden. Meisten wird der Kunde jedoch nur in den ersten Phasen eingebunden. Zudem findet diese Einbindung unstrukturiert statt. Für PSS müssen daher neue Vorgehensweisen hierzu entwickelt werden.
K9: Unterstützung der Modularisierung durch das RE		Die Modularisierung wird in allen Domänen und in den integrierten Ansätzen thematisiert. Die Rolle des RE hierbei ist jedoch nicht klar erkannt und muss für PSS klarer ausgearbeitet werden.

 – Voll erfüllt.  – Teilweise erfüllt.  – Nicht erfüllt.

mit dem Kunden gestaltet sich oft als schwierig, denn der Kunde hat oft ein anderes Verständnis von dem zu entwickelnden Produkt. Darüber hinaus ist es für den Entwickler nicht immer einfach, die Wünsche und Vorstellungen der Kunden richtig zu interpretieren. Genau diese Aspekte sind bei der Kundenintegration zu berücksichtigen.

K9: *Unterstützung der Modularisierung durch das RE.* Die Vorteile der Modularisierung und Wiederverwendung von Modulen wurde in allen drei Domänen erkannt. Auch im Bereich der integrierten Entwicklung von PSS liegen erste Arbeiten hierzu vor. Das Thema der Modularisie-

rung wird jedoch größtenteils als einer der dem RE nachgelagerten Entwicklungsschritte gesehen. Die Integration des RE in die Modularisierung wird daher nur skizziert, jedoch nicht detailliert dargelegt.

7 Diskussion der Ergebnisse

In Abschn. 6 wurden die Ansätze aus den Domänen bezüglich ihrer Eignung für PSS bewertet. **Tabelle 3** fasst diese Bewertung zusammen und gibt einen Überblick darüber, welche Lücken in Bezug auf RE für PSS basierend auf der Literatur bestehen. Für jedes Kriterium wurde

der Mittelwert der vier Einzelbewertungen berechnet. Falls sich der Mittelwert nicht eindeutig auf die Skala „voll erfüllt“, „teilweise erfüllt“, „nicht erfüllt“ abbilden ließ, so wurde einer dieser Werte gewählt und anhand der Beschreibung der Analyse begründet.

8 Zusammenfassung und Ausblick

PSS stellen einen wichtigen Trend auf dem Markt für Hardware-, Software- oder Dienstleistungsanbieter dar. Ihre Entwicklung ist mit großen Herausforderungen verbunden, da sie aus Komponenten bestehen, die von unterschied-

Zusammenfassung / Abstract

Marina Berkovich, Jan Marco Leimeister, Helmut Krcmar

Requirements Engineering für Product Service Systems

Eine State-of-the-Art-Analyse

Produzierende und dienstleistende Unternehmen bieten immer häufiger kundenspezifische Problemlösungen in Form von integrierten Bündeln aus Hardware, Software und Dienstleistungen an, die Product Service Systems (PSS) oder hybride Produkte genannt werden. Eine erfolgreiche Entwicklung eines PSS basiert auf einem tiefgehenden Verständnis der an die Lösung gestellten Anforderungen, weswegen das Requirements Engineering (RE) eine zentrale Rolle im Entwicklungsprozess von PSS spielt. Der Artikel untersucht den State of the Art des RE für PSS auf Basis einer Literaturanalyse in den drei an ihrer Entwicklung beteiligten Domänen Produkt-, Software- und Dienstleistungsentwicklung. Hierzu werden Kriterien, die ein RE-Ansatz für PSS erfüllen muss, aus den Eigenschaften von PSS und den Aufgabebereichen des RE im Lebenszyklus von PSS abgeleitet. Basierend auf diesen Kriterien werden führende Arbeiten des RE auf ihre Eignung für PSS überprüft. Eine der wichtigsten Erkenntnisse ist, dass Ansätze zum integrierten/domänenübergreifenden RE für PSS fast gänzlich fehlen. Darüber hinaus ist zu erkennen, dass der Reifegrad der RE-Ansätze in den unterschiedlichen Domänen stark variiert. Die untersuchten Ansätze greifen in hohem Maße auf Konzepte und Lösungsmerkmale der jeweiligen Domäne zurück, sodass eine Übertragung auf andere Domänen weitgehend unmöglich ist. Die hier vorgestellte Literaturanalyse schafft eine notwendige Grundlage für erfolgreiches RE für PSS und insbesondere für Arbeiten, die eine konzeptionelle und logische Verbindung zwischen den Anforderungsmodellen der Produkt-, Dienstleistungs- und Softwareentwicklung aufstellen wollen, um hierdurch ein durchgängiges und integriertes RE für PSS zu ermöglichen.

Schlüsselwörter: Requirements Engineering, Product Service System, Hybride Produkte, State of the Art, Produktentwicklung, Softwareentwicklung, Dienstleistungsentwicklung

Requirements Engineering for Product Service Systems

A State of the Art Analysis

In recent years, manufacturing companies and service providers have moved towards offering customer-specific problem solutions. These integrated bundles usually consist of hardware, software, and service components and are called product service systems (PSS) or hybrid products. Since the success of the resulting solution depends on the understanding of all requirements, requirements engineering (RE) has become a key factor. The article analyzes the state of the art of RE for PSS based on an extensive literature review in the domains of product-, software-, and service engineering. For this, criteria are derived from the characteristics of PSS and from the task area of RE in the life cycle of PSS. Based on these criteria we analyze the most established RE approaches for their suitability for PSS. An important finding is that integrated/interdisciplinary approaches for RE are missing. Moreover, the maturity of RE approaches in the three domains varies significantly. All analyzed approaches heavily rely on concepts and solution characteristics of their own domain so that a transfer to other domains is hardly possible. This literature review lays the foundation for successful RE for PSS and especially for future research aiming at combining and integrating RE approaches and models of product-, software-, and service engineering. Such requirement models could connect concepts of single domains and enable an integrated and seamless RE for PSS.

Keywords: Requirements engineering, Product service system, Hybrid product, State of the art, Product engineering, Software engineering, Service engineering

lichen Domänen entwickelt werden. Ihre Entwicklung stellt eine große Herausforderung dar, da sie aus Komponenten bestehen, die von unterschiedlichen Domänen entwickelt werden. Insbesondere wichtig für eine erfolgreiche Entwicklung von PSS ist das RE, das in diesem Beitrag untersucht wird. Anhand der Eigenschaften von PSS und den Erfordernissen des Lebenszyklus werden Kriterien für ein erfolgreiches RE hergeleitet. Im Rahmen der Literaturrecherche werden 15 führende Vorgehensmodelle und Ansätze zum RE aus Produkt-, Software- und Dienstleistungsentwicklung sowie fünf integrierte Ansätze zur Entwicklung von PSS bezüglich dieser Kriterien analysiert. Auf diese Weise werden Defizite in heutigen Ansätzen nachgewiesen und künftige Forschungsbedarfe identifiziert.

Der Artikel arbeitet aus der Analyse von Eigenschaften und Lebenszyklus von PSS Kriterien für ein erfolgreiches RE heraus. Als zentrale Charakteristik von PSS hat sich die Kundenorientierung/Individualisierung von Lösungen herausgestellt. Daher müssen in der Anforderungserhebung die Anforderungen aus dem Wertschöpfungsprozess des Kunden besonders analysiert sowie die Stakeholder aus den verschiedenen Domänen berücksichtigt werden. Außerdem sind domänenübergreifende Kommunikation in und über alle Phasen des RE ebenso wie die Berücksichtigung der Dienstleistungsentwicklung in allen Phasen zentrale Ergebnisse.

Die Analyse der bestehenden Ansätze zum RE für PSS zeigt, dass in allen Domänen die Notwendigkeit eines systematischen RE erkannt wurde – jedoch variiert der Reifegrad der RE-Ansätze der einzelnen Domänen stark. In der Dienstleistungsentwicklung und in den integrierten Ansätzen sind noch am wenigsten Vorgehensweisen zur Anforderungsverwaltung vorgeschlagen oder gar erprobt worden. In der Software- und Produktentwicklung ist das RE bereits am weitesten entwickelt, beschränkt sich jedoch jeweils auf die eigene Domäne. Explizite Vorgehensweisen zur domänenübergreifenden Zusammenarbeit und Kommunikation werden in den analysierten Ansätzen nicht erwähnt. Zudem sind in allen Domänen die einzelnen Vorgehensweisen sehr stark auf den jeweiligen Bereich zugeschnitten. Dadurch wird die Kooperation zwischen den Domänen – d.h. die Verwendung von Ergebnissen einer Domäne in einer ande-

ren – stark behindert. Durch die unterschiedlichen Terminologien wird sogar der Blick auf etwaige Gemeinsamkeiten oftmals verstellt. Ein weiteres Defizit besteht auch in der Vernetzung der Vorgehensweisen zum RE der verschiedenen Domänen. Trotz konzeptueller und methodischer Analogien verschärfen verschiedene Terminologien die Hürden für die Zusammenarbeit.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, könnten bereits ausgereifte Entwicklungstechniken in einzelnen Domänen an PSS angepasst werden, was ein erster Schritt zu domänenübergreifender Integration sein kann. Außerdem könnten zukünftige Forschungsarbeiten auf einen umfassenden Ansatz zum RE abzielen, der die verschiedenen Sichten und Eigenarten der Domänen, sowie die Eigenheiten von PSS integrieren könnte. Gemeinsamkeiten der bestehenden Ansätze müssen dafür herausgearbeitet und integriert werden. Die Kernkonzepte so eines Ansatzes könnten dabei bspw. die domänenübergreifende Kooperation, die Integration des RE in den Entwicklungsprozess und der Umgang mit unterschiedlichen Lebenszyklen von Komponenten sein. Weitergehende Forschung könnte sich daher bspw. auf die Erstellung von Artefaktmodellen konzentrieren, die eine Struktur für die dokumentierten Anforderungen festlegen könnten. Auf der Grundlage eines gemeinsamen Artefaktmodells aller Domänen könnten dann die Vorgehensweisen der einzelnen Domänen aufeinander abgestimmt werden.

Literatur

- Ahrens G (2000) Das Erfassen und Handhaben von Produktanforderungen – methodische Voraussetzungen und Anwendung in der Praxis. Dissertation, Technische Universität Berlin
- Aurich JC, Schweitzer E, Fuchs C (2007) Life cycle management of industrial product-service systems. In: Takata S, Umeda Y (Hrsg) *Advances in life cycle engineering for sustainable manufacturing businesses*. Springer, London, S 171–176
- Aurum A, Wohlin C (2005) Requirements engineering: setting the context. In: Aurum A, Wohlin C (Hrsg) *Engineering and managing software requirements*. Springer, Berlin, S 1–15
- Becker J, Beverungen D, Knackstedt R (2008) Reference Models and modeling languages for product-service systems – status-quo and perspectives for further research. In: Proc 41st annual Hawaii international conference on system sciences, Hawaii
- Berkovich M, Esch S, Leimeister JM, Krcmar H (2009a) 9. Requirements engineering for hybrid products as bundles of hardware, software and service elements – a literature review. In: Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik (WI), Wien
- Berkovich M, Leimeister JM, Krcmar H (2009b) An empirical exploration of requirements engineering for hybrid products. In: Proc XVIIth European conference on information systems (ECIS), Verona
- Berkovich M, Leimeister JM, Krcmar H (2009c) Suitability of product development methods for hybrid products as bundles of classic products, software and service elements. In: Proc ASME 2009 international design engineering technical conferences & computers and information in engineering conference IDETC/CIE, San Diego
- Berkovich M, Leimeister JM, Krcmar H (2010) Ein Bezugsrahmen für Requirements Engineering hybrider Produkte. In: Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI 2010), Göttingen
- Beverungen D, Knackstedt R, Müller O (2008) Entwicklung Serviceorientierter Architekturen zur Integration von Produktion und Dienstleistung – Eine Konzeptionsmethode und ihre Anwendung am Beispiel des Recyclings elektronischer Geräte. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 50(3):220–234
- Beverungen D, Knackstedt R, Hatfield S, Biege S, Bollhöfer E, Krug C, Wienhold D, Müller P, Stelzer C, Köbler F, Blinn N (2009) Hybride Wertschöpfung – Integration von Produktion und Dienstleistung. In: Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg) PAS 1094. Beuth, Berlin
- Böhm T, Krcmar H (2003) Modulare Servicearchitekturen. In: Bullinger H-J, Scheer A-W (Hrsg) *Service Engineering – Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen*. Springer, Berlin, S 376–401
- Böhm T, Krcmar H (2007) Hybride Produkte: Merkmale und Herausforderungen. In: Bruhn M, Stauss B (Hrsg) *Wertschöpfungsprozesse bei Dienstleistungen: Forum Dienstleistungsmanagement*. Gabler, Wiesbaden, S 240–255
- Böhm T, Langer P, Schermann M (2008) Systematische Überführung von kundenspezifischen IT-Lösungen in integrierte Produkt-Dienstleistungsbausteine mit der SCORE-Methode. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 50(3):196–207
- Botta C (2007) Rahmenkonzept zur Entwicklung von Product-Service Systems. Eul
- Brereton P, Kitchenham BA, Budgen D, Turner M, Khahil M (2007) Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of Systems and Software* 4(80):571–583
- Budgen D, Brereton P (2006) Performing systematic literature reviews in software engineering. In: Proc 28th international conference on software engineering, Shanghai, S 1051–1052
- Bullinger H-J, Schreiner P (2003) Service Engineering: Ein Rahmenkonzept für die systematische Entwicklung von Dienstleistungen. In: Bullinger H-J, Scheer A-W (Hrsg) *Service Engineering – Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen*. Springer, Berlin, S 53–84
- Byrd TA, Cossick KL, Zmud RW (1992) A synthesis of research on requirements analysis and knowledge acquisition techniques. *Management Information Systems Quarterly* 16(1):117–138
- Cheng BHC, Atlee JM (2007) Research directions in requirements engineering. In: Proc future of software engineering (FOSE'07), Minneapolis
- Coughlan J, Macredie RD (2002) Effective communication in requirements elicitation: a comparison of methodologies. *Requirements Engineering* 7(2):47–60
- Cox K, Niazi M, Verner J (2009) Empirical study of Sommerville and Sawyer's requirements engineering practices. *IET Software* 3(5):339–355
- Danilovic M, Sandkull B (2005) The use of dependence structure matrix and domain mapping matrix in managing uncertainty in multiple project situations. *International Journal of Project Management* 23(3):193–203
- Davies A (2004) Moving base into high-value integrated solutions: a value stream approach. *Industrial and Corporate Change* 13(5):727–756
- Edvardsson B, Olsson J (1996) Key concepts for new service development. *Service Industries Journal* 16(2):140–164
- Ehrlenspiel K (2002) *Integrierte Produktentwicklung*. Hanser
- Frietzche U, Maleri R (2003) Dienstleistungsproduktion. In: Bullinger H-J, Scheer A-W (Hrsg) *Service Engineering – Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen*. Springer, Berlin, S 195–225
- Galbraith JR (2002) Organizing to deliver solutions. *Organizational Dynamics* 31(2):194–207
- Goeken M, Patas J (2010) Evidenzbasierte strukturierung und bewertung empirischer forschung im requirements engineering. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 52(3):173–184
- Gräßle M, Dollmann T (2010) Vorgehensmodelle des Product-Service Systems Engineering. In: Thomas O, Loos P, Nüttgens M (Hrsg) *Hybride Wertschöpfung*. Springer, Berlin, S 82–129
- Grohmann W (2007) *Von der Software zum Service. ASP – Software on Demand – Software-as-a-Service – Neue Formen der Software-Nutzung*. H. K. P. Consulting
- Hickey AM, Davis AM (2003) Elicitation technique selection: how do experts do it. In: Proc 11th IEEE international requirements engineering conference, Monterey Bay
- Hull E, Jackson K, Dick J (2004) *Requirements engineering*. Springer, London
- Husen Cv (2007) *Anforderungsanalyse für produktbegleitende Dienstleistungen*. Universität Stuttgart, Stuttgart
- Jacsó P (2008) Google Scholar revisited. *Online Information Review* 32(1):102–114
- Jönsson P, Lindvall M (2005) Impact analysis. In: Aurum A, Wohlin C (Hrsg) *Engineering and managing software requirements*. Springer, Berlin, S 121–146
- Käkölä T, López JCD (2006) *Software product lines. Research Issues in Engineering and Management*. Springer, Berlin
- Kitchenham BA, Brereton OP, Budgen D, Turner M, Bailey J, Linkman S (2009) Systematic literature reviews in software engineering – a systematic literature review. *Information and Software Technology* 51(1):7–15
- Kotonya G, Sommerville I (1998) *Requirements engineering: processes and techniques*. Wiley, New York
- Lamsweerde Av (2009) *Requirements engineering: from system goals to UML models to software specifications*. Wiley, New York
- Langer P, Köbler F, Berkovich M, Weyde F, Leimeister JM, Krcmar H (2010) Vorgehensmodelle für die Entwicklung hybrider Produkte – eine Vergleichsanalyse. In: Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI 2010), Göttingen
- Leimeister JM, Glauner C (2008) *Hybride Produkte – Einordnung und Herausforderungen*

- gen für die Wirtschaftsinformatik. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 50(3):248–251
- Lindahl M, Sundin E, Sakao T, Shimomura Y (2007) Integrated product and service engineering versus design for environment – a comparison and evaluation of advantages and disadvantages. In: Takata S, Umeda Y (Hrsg) *Advances in life cycle engineering for sustainable manufacturing businesses*. Springer, London, S 137–142
- Meier JJ, Conkling TW (2008) Google Scholar's coverage of the engineering literature: an empirical study. *The Journal of Academic Librarianship* 34(3):196–201
- Möhrle MG, Spilgies W-D (2005) QFD für product service systems. *Industrie Management* 21(3):9–12
- Pahl G, Beitz W, Feldhusen J, Grote K-H (2006) *Engineering design: a systematic approach*. Springer, Berlin
- Peterson C, Paasch RK, Ge P, Dietterich TG (2007) Product innovation for interdisciplinary design under changing requirements. In: *Proc international conference on engineering design (ICED'07)*, Paris
- Pohl K (1993) The three dimensions of requirements engineering. In: *Proc 5th international conference on advanced information systems engineering (CAISE'93)*, Paris
- Pohl K (2007) *Requirements Engineering. Grundlagen, Prinzipien, Techniken*. Dpunkt
- Ramaswamy R (1996) *Design and management service processes: keeping customers for life*. Addison-Wesley, Reading
- Sawhney M (2006) Going beyond the product: defining, designing and delivering customer solutions. In: Lusch RF, Vargo SL (Hrsg) *The service-dominant logic of marketing*, Sharpe. New York, S 365–380
- Schäppi B, Andreasen MM, Kirchgeorg M, Radermacher F-J (2005) *Handbuch Produktentwicklung*. Hanser
- Sommerville I (2004) *Software engineering*. Pearson, Boston
- Spath D, Demuß L (2003) Entwicklung hybrider Produkte – Gestaltung materieller und immaterieller Leistungsbündel. In: Bullinger H-J, Scheer A-W (Hrsg) *Service Engineering – Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen*. Springer, Berlin, S 463–502
- Sturm F, Bading A (2008) Investitionsgüterhersteller als Anbieter industrieller Lösungen – Bestandsaufnahme des Wandels anhand einer Umfrage. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 50(3):174–186
- Torraco RJ (2005) Writing integrative literature reviews: guidelines and examples. *Human Resource Development Review* 4(3):356–367
- Tseng MM, Jiao J (1997) A variant approach to product definition by recognizing functional requirement patterns. *Computers & Industrial Engineering* 33(3–4):629–633
- Tukker A (2004) Eight types of product-service system: eight ways to sustainability? Experiences from suspronet. *Business Strategy and the Environment* 13:246–260
- Tuli R, Kohli A, Bharadwaj S (2007) Rethinking customer solutions: from product bundles to relational processes. *Journal of Marketing* 71(3):1–17
- Ulrich K, Eppinger S (2003) *Product design and development*. McGraw-Hill, New York
- VDI-Richtlinien (1993) VDI 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte
- Vogel O, Arnold I, Chughtai A, Ihler E, Kehrer T, Mehlig U, Zdon U (2009) *Software-Architektur*, 2. Aufl. Spektrum
- Webster J, Watson RT (2002) Analyzing the past to prepare for the future: writing a literature review. *Management Information Systems Quarterly* 26(2):xiii–xxiii
- Wieringa R, Maiden N, Mead N, Rolland C (2006) Requirements engineering paper classification and evaluation criteria: a proposal and a discussion. *Requirements Engineering* 11(1):102–107
- Zellner G (2008) Gestaltung hybrider Wertschöpfung mittels Architekturen – Analyse am Beispiel des Business Engineering. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 50(3):187–195