

Dokumentation spezifischer Anforderungen im Application Requirements Engineering der Produktlinienentwicklung¹

Günter Halmans, Klaus Pohl

Software Systems Engineering
Institut für Informatik und Wirtschaftsinformatik (ICB)
Universität Duisburg-Essen
Schützenbahn 70, 45117 Essen
{halmans, pohl}@sse.uni-due.de

Abstract: Das Ziel eines Requirements Engineering Prozesses im Application Engineering einer Produktlinienentwicklung ist die Spezifikation eines Produktes unter Wiederverwendung von Anforderungen aus dem Domain Engineering. Die Dokumentation spezifischer Anforderungen, die nicht oder nicht komplett durch Wiederverwendung definiert werden können, führt zu speziellen Anforderungen an den Application Requirements Engineering (ARE) Prozess.

Bisher gibt es keine Ansätze, welche diese speziellen Prozessanforderungen an das ARE beschreiben. In diesem Beitrag erläutern wir zunächst Anforderungs- und Variabilitätsdeltas, welche durch spezifische Anforderungen entstehen. Darauf aufbauend werden Prozessanforderungen an das ARE definiert. Zur Umsetzung der Prozessanforderungen wird die Definition eines produktspezifischen Variabilitätsmodells vorgeschlagen, welches nur für das betrachtete Produkt gültig ist. Das produktspezifische Variabilitätsmodell dient als Basis für die weiteren Entwicklungsphasen im Application Engineering und für eine systematische Rückkopplung spezifischer Anforderungen an das Domain Engineering.

1 Einleitung

Die Entwicklung von Software-Produktlinien – im Folgenden kurz als Produktlinie bezeichnet – ist durch zwei Prozesse gekennzeichnet. Im *Domain Engineering* werden die gemeinsamen und variablen Artefakte (Anforderungen, Design, Quelltextfragmente, Testfälle etc.) definiert und realisiert. Im *Application Engineering* werden Produkte aus den im Domain Engineering entwickelten Artefakten abgeleitet und somit eine Wiederverwendung erzielt [PBL05, S. 21]. Ein weiteres zentrales Konzept bildet die Produktlinienvariabilität, mit der unterschiedliche Produkte durch die Auswahl von im Domain Engineering definierten Varianten realisiert werden.

¹ Diese Arbeit wurde teilweise gefördert durch das BMBF Verbundprojekt CAFÉ „From Concept to Application in System Family Engineering“ (Förderkennzeichen 01 IS 002 C) und durch das DFG Projekt PRIME (Förderkennzeichen 607/01).

Der vorliegende Beitrag fokussiert das RE im Application Engineering (im Folgenden Application Requirements Engineering, kurz ARE, genannt), dessen Ziel die Erstellung einer Produktspezifikation unter Wiederverwendung von Produktlinienanforderungen ist. Produktlinienanforderungen umfassen alle Anforderungen, die im Domain Engineering definiert und zur Wiederverwendung bereitgestellt werden.

Im Gegensatz zum RE in der Einzelsystementwicklung ist für die Wiederverwendung im ARE die Berücksichtigung von Produktlinienanforderungen und -variabilität notwendig (vgl. z.B. [HP03])². Bei der Definition von Anforderungen an ein Produkt können spezifische Anforderungen entstehen, wenn eine Realisierung der Anforderungen eines Stakeholders³ nicht komplett durch die Wiederverwendung von Produktlinienanforderungen oder die Ausnutzung der Produktlinienvariabilität möglich ist.

Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten, spezifische Anforderungen zu definieren [Go04, S. 328-329], [HMO05]. Zum einen können Produktlinienanforderungen angepasst werden, so dass die spezifischen Anforderungen komplett durch Wiederverwendung realisiert werden können. Damit gelten die Änderungen für die gesamte Produktlinie. Zum anderen können die spezifischen Anforderungen nur für das Produkt definiert werden (produktspezifisch) und stehen somit nicht der gesamten Produktlinie zur Verfügung.

Diese Arbeit liefert einen Beitrag zur *produktspezifischen* Dokumentation von spezifischen Anforderungen. Mit einer solchen Dokumentation sollen folgende Ziele erreicht werden:

- *Unterstützung von Trade-Off Entscheidungen:* Spezifische Anforderungen an ein Produkt führen zu zusätzlichen Realisierungsaufwänden, da sie nicht oder nur zum Teil durch die Wiederverwendung von Produktlinienanforderungen definiert werden können. Diese Aufwände sowie mögliche Alternativen müssen dem Stakeholder kommuniziert werden, damit er in einer Trade-Off Entscheidung festlegen kann, ob die spezifische Anforderung umgesetzt werden soll oder nicht. Für die Schätzung der Realisierungsaufwände ist eine nachvollziehbare und produktspezifische Dokumentation der spezifischen Anforderungen notwendig.
- *Grundlage für die weiteren Entwicklungsphasen im Application Engineering:* Für die Umsetzung der spezifischen Anforderungen bildet die nachvollziehbare und produktspezifische Dokumentation des Unterschiedes zwischen den spezifischen Anforderungen und den Produktlinienanforderungen die Basis, um daraus notwendige Anpassungen z.B. an Komponenten ableiten zu können. Für den Test ist die Dokumentation eine Grundlage für die Ableitung produktspezifischer Testfälle.
- *Rückkopplung für das Domain Engineering:* Spezifische Anforderungen können für die gesamte Produktlinie relevant sein, wenn sie z.B. veränderte Anforderungen des Marktes repräsentieren. Mit einer produktspezifischen Dokumentation ist es möglich, sich im Domain Engineering für oder gegen die Übernahme einer spezifischen Anforderung als Produktlinienanforderung zu entscheiden.

² In [HP03] findet sich eine ausführliche Diskussion über die spezifischen Aktivitäten des ARE gegenüber dem RE in der Einzelsystementwicklung

³ Stakeholder umfassen z.B. die Rollen des Kunden, Marketingexperten, Produktmanagers oder Nutzers

Bisherige Ansätze zeigen insbesondere, wie die Kommunikation der Produktlinienanforderungen bzw. der Produktlinienvariabilität unterstützt werden kann [At02, S. 324 ff.], [HP03], [HP02]. Dagegen gibt es bisher keine Arbeiten, welche die Prozessanforderungen an das ARE für die Dokumentation von spezifischen Anforderungen an ein Produkt untersuchen. Ohne die Prozessanforderungen ist es nicht möglich, ein ARE-Prozessmodell zu entwickeln, welches diese Prozessanforderungen erfüllt. Ein solches Prozessmodell wiederum ist aber die Voraussetzung für die Unterstützung des ARE und für Prozessverbesserungen (vgl. [Po96, S.59]).

In diesem Beitrag definieren wir Prozessanforderungen an das ARE zur Dokumentation von spezifischen Anforderungen und zeigen einen prinzipiellen Lösungsansatz für die Umsetzung der jeweiligen Prozessanforderung.

Der Beitrag gliedert sich wie folgt: Abschnitt 2 erläutert einige Begriffe als Grundlage für die weiteren Ausführungen. Abschnitt 3 geht auf Anforderungs- und Variabilitätsdeltas ein, die durch spezifische Anforderungen entstehen. In Abschnitt 4 werden die Prozessanforderungen an das ARE in Bezug auf Anforderungs- und Variabilitätsdeltas hergeleitet und in Abschnitt 5 ein Lösungsansatz skizziert. Bisherige Ansätze zum ARE mit dem speziellen Fokus auf die Dokumentation von spezifischen Anforderungen werden in Abschnitt 6 diskutiert. Abschnitt 7 fasst die Ergebnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Forschungsarbeiten.

2 Grundlagen

In diesem Abschnitt werden kurz einige Begriffe, die in der Literatur mitunter unterschiedlich definiert werden, für diesen Beitrag erläutert.

Stakeholderanforderungen beschreiben die notwendigen Bedürfnisse, Erwartungen und überprüfbaren Bedingungen an das Produkt (vgl. [CKS03, S.470]). *Produktanforderungen* beschreiben alle funktionalen Anforderungen und Qualitätsanforderungen an ein Produkt, welches die Stakeholderanforderungen erfüllen soll. *Produktlinienanforderungen* sind ein Ergebnis des Domain Engineerings und umfassen die funktionalen Anforderungen und Qualitätsanforderungen einer Produktlinie. Produktlinien- und Produkthanforderungen können invariant oder variabel sein. *Invariante* Produktlinien- und Produkthanforderungen sind und werden in allen Produkten der Produktlinie realisiert (Gemeinsamkeiten). *Variable Produktlinienanforderungen* sind mit einer Variante innerhalb der Produktlinie verknüpft. Sie werden somit nicht in allen Produkten genutzt, sondern nur in denen, für die die entsprechende Variante ausgewählt worden ist. *Variable Produkthanforderungen* sind aus der Wiederverwendung von variablen Produktlinienanforderungen entstanden. Der Zusatz ‚variabel‘ bedeutet nicht, dass die entsprechenden Produkthanforderungen selbst Variabilität enthalten.

Produktlinienvariabilität wird durch Varianten, Variationspunkte und den Beziehungen zwischen Varianten und Variationspunkten beschrieben. Dieser Beitrag nutzt als Grund-

lage ein *orthogonales Variabilitätsmodell* zur Modellierung der Produktlinienvariabilität [PBL05]⁴, [BLP05].

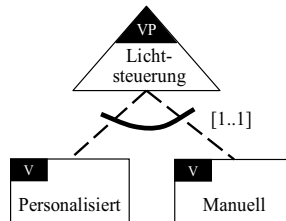


Abbildung 1: Beispiel für ein Variabilitätsmodell

Abbildung 1 zeigt als Beispiel einen Auszug eines orthogonalen Variabilitätsmodells. Eine Produktlinie von Heimautomatisierungssystemen stellt einen Variationspunkt *Lichtsteuerung* bereit, welcher in dem Modell durch ein Dreieck repräsentiert wird. Dieser Variationspunkt besitzt zwei Varianten (Rechtecke), die *Personalisierte Lichtsteuerung* und die *Manuelle Lichtsteuerung*. Bei der personalisierten Lichtsteuerung ist es möglich, über die Eingabe einer PIN die persönliche Beleuchtungspräferenz für einen Raum einzustellen. Bei der manuellen Lichtsteuerung werden alle Lichtquellen manuell über einen entsprechenden Schalter angesteuert. Die beiden Varianten sind zu einer *alternativen Auswahl* zusammengefasst, in der nur eine der beiden Varianten wählbar ist (ausgedrückt durch die Multiplizität [1..1]). Die alternative Auswahl wird durch die gestrichelten Verbindungslinien zwischen Variante und Variationspunkt in Verbindung mit dem Kreissegment repräsentiert.

Die in [PBL05] vorgestellte Variabilitätsmodellierungssprache bietet weitere Konzepte zur Definition der Produktlinienvariabilität: Eine *optionale Verknüpfung (Variabilitätsabhängigkeit)* mit einem Variationspunkt bedeutet, dass die Variante ausgewählt werden kann. Eine *obligatorische Verknüpfung* einer Variante mit einem Variationspunkt bedeutet, dass die Variante ausgewählt werden muss. *Bedingungsabhängigkeiten* drücken aus, ob sich zwei Varianten, zwei Variationspunkte oder eine Variante und ein Variationspunkt gegenseitig ausschließen (*schließt aus-*) oder verlangen (*verlangt-*). Eine Variante ist schließlich mit einem oder mehreren Produktlinienanforderungen verknüpft, welche die Variante *spezifizieren* [BLP05]. Ein Variationspunkt kann durch eine oder mehrere Produktlinienanforderungen *repräsentiert* werden.

3 Anforderungs- und Variabilitätsdeltas

Stakeholderanforderungen können zu Produkthanforderungen führen, die nicht oder nur teilweise durch Wiederverwendung von Produktlinienanforderungen definiert werden. Daraus leiten sich Anforderungsdeltas zwischen Produktlinien- und Produkthanforderungen ab, welche in Abschnitt 3.1 diskutiert werden. Stakeholderanforderungen können

⁴ Eine ausführliche Beschreibung der Notation und des zu Grunde liegenden Variabilitäts-Metamodells findet sich in [PBL05, S. 72-86].

auch Änderungen der Variabilität erfordern. Daraus resultierende Variabilitätsdeltas werden in Abschnitt 3.2 beschrieben.

3.1 Anforderungsdeltas

Es sei SA eine Stakeholderanforderung, die nicht komplett durch die Wiederverwendung von Produktlinienanforderungen erfüllt werden kann. Daraus folgt, dass keine Produktanforderung komplett durch die Wiederverwendung einer Produktlinienanforderung definiert werden kann, so dass diese Produktanforderung SA erfüllt. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass eine Produktanforderung PA , die SA erfüllt, zu jeder Produktlinienanforderung ein Delta (im Folgenden *Anforderungsdelta* genannt) aufweist.

Das folgende Beispiel beschreibt ein solches Anforderungsdelta: Ein Stakeholder hat die Anforderung $SA1$: *Das System soll zur Authentifizierung eine Passwortabfrage und eine Überprüfung des Fingerabdrucks durchführen.* Die Produktlinie beinhaltet eine Anforderung $PL20$: *Das System führt zur Authentifizierung eine Passwortabfrage durch.* In diesem Fall wird zur Erfüllung der Anforderung $SA1$ die Produktlinienanforderung $PL20$ wieder verwendet und als Produktanforderung $PA1$ definiert: *Das System führt zur Authentifizierung eine Passwortabfrage und eine Überprüfung des Fingerabdrucks durch.* $PA1$ ist nicht mehr identisch mit seinem Original $PA20$. Um die Stakeholderanforderung $SA1$ erfüllen zu können, musste $PA1$ gegenüber $PL20$ angepasst (und in diesem Falle erweitert) werden. Das Delta $\Delta(PL20, PA1)$ zwischen $PL20$ und $PA1$ liegt in dem Zusatz *"...und eine Überprüfung des Fingerabdrucks..."*

In dem geschilderten Fall besteht das Anforderungsdelta zwischen einer wieder verwendeten Produktlinienanforderung und der daraus entwickelten Produktanforderung. Diese Produktanforderung wurde angepasst, um eine bestimmte Stakeholderanforderungen zu erfüllen. Ein Teil der Produktanforderung ist weiterhin identisch mit der ursprünglichen Produktlinienanforderung.

Die Analyse einer Stakeholderanforderung kann des Weiteren zu dem Ergebnis führen, dass keine Produktlinienanforderung dazu geeignet ist (auch nicht zum Teil), die betrachtete Stakeholderanforderung zu erfüllen. In diesem Fall ist es notwendig, eine oder mehrere Produktanforderungen neu und ohne Wiederverwendung zu definieren. Im Gegensatz zu den Produktanforderungen, die zumindest zum Teil durch Wiederverwendung beschrieben werden konnten, besteht in diesem Falle kein Bezug zwischen Produktanforderung und einer Produktlinienanforderung. Das Anforderungsdelta besteht in diesem Fall aus der Produktanforderung selbst.

3.2 Variabilitätsdeltas

Stakeholderanforderungen können dazu führen, dass die Produktlinienvariabilität als solche angepasst werden müsste, um die entsprechende Stakeholderanforderung zu erfüllen. Das folgende Beispiel in Abbildung 2 zeigt eine solche Anpassung.

Die linke Seite (a) in Abbildung 2 stellt noch mal das Variabilitätsmodell aus Abbildung 1 dar. Der Stakeholder wünscht sowohl die personalisierte als auch die manuelle Lichtsteuerung auswählen zu können, d.h. die Multiplizität muss in [1..2] umgewandelt werden (Abbildung 2 (b)). Die bisher definierte Produktlinienvariabilität kann die Anforderung des Stakeholders nicht erfüllen, da lt. Variabilitätsmodell in (a) nur eine alternative Auswahl einer der beiden Varianten *Personalisiert* und *Manuell* möglich ist.

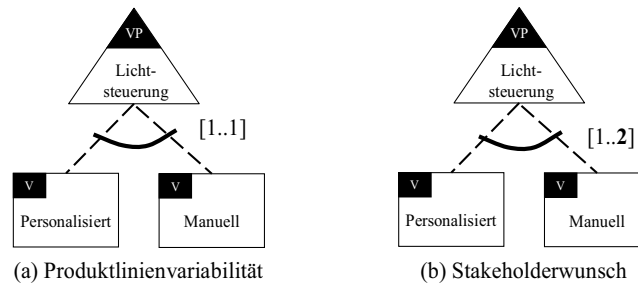


Abbildung 2: Beispiel für ein Variabilitätsdelta

Die notwendige Anpassung der Variabilität zur Erfüllung des Stakeholderwunsches führt zu einem Delta zwischen dem ursprünglichen Zustand (Fall (a)) und dem Zustand nach einer möglichen Anpassung (Fall (b)). Dieses Delta wird im Folgenden als *Variabilitätsdelta* bezeichnet. Variabilitätsdeltas können prinzipiell in Bezug auf Instanzen aller Klassen des Variabilitäts-Metamodells entstehen. Weitere Beispiele für Anpassungen sind etwa das Hinzufügen einer *Variante* oder eines *Variationspunktes* oder die Aufhebung einer *verlangt_Bedingungsabhängigkeit* zwischen zwei Varianten. Letztere Anpassung bedeutet, dass der Stakeholder eine Variante ausgewählt hat, aber eine andere und durch die *verlangt_Beziehungsabhängigkeit* verknüpfte Variante nicht in seinem Produkt realisiert haben möchte.

4 Prozessanforderungen an das ARE durch Anforderungs- und Variabilitätsdeltas

Im Folgenden betrachten wir Prozessanforderungen, die sich aus der Existenz der in Abschnitt 3 beschriebenen Deltas ergeben. Dabei gehen wir an dieser Stelle davon aus, dass die Deltas im Rahmen der Kommunikation der Produktlinienanforderungen und Produktlinienvariabilität und dem Abgleich mit den Stakeholderanforderungen ermittelt wurden. Dieser Prozess stellt eine eigene Herausforderung dar und ist nicht Gegenstand dieses Beitrages.

4.1 Prozessanforderungen auf Grund von Anforderungsdeltas

In Abschnitt 3.1 wurde beschrieben, dass ein Anforderungsdelta aus einer komplett neuen Produkthanforderung ohne Wiederverwendung bestehen kann. Dies führt zur ersten Prozessanforderung an das ARE:

R-1: Der Requirements-Ingenieur⁵ muss eine neue Produkthanforderung in die Produktspezifikation integrieren können. Die Integration der neuen Produkthanforderung, die ohne Wiederverwendung von Produktlinienanforderungen definiert und direkt aus einer Stakeholderanforderung abgeleitet wurde, muss auf unterschiedliche Weisen möglich sein. So kann es sinnvoll sein, die Produkthanforderung einer bestehenden Variante oder einer neuen Variante zuzuordnen. In beiden Fällen ist zu beachten, dass diese Zuordnung produktspezifisch sein soll.

R-2: Der Requirements-Ingenieur muss eine angepasste, vormals invariante Produkthanforderung nachvollziehbar in die Produktspezifikation integrieren können. Eine noch unveränderte, invariante Produkthanforderung entsteht durch die komplette Wiederverwendung von einer entsprechenden invarianten Produktlinienanforderung, da alle invarianten Produktlinienanforderungen in jedem Produkt realisiert werden. Eine spezifisch für ein Produkt durchgeführte Anpassung einer invarianten Produkthanforderung bedeutet, dass diese Produkthanforderung nicht länger invariant ist (daher der Zusatz „vormals“ in R-2). Durch die produktspezifische Anpassung ist die Produkthanforderung nicht mehr Bestandteil aller Produkte der Produktlinie. Dies ist aber eine notwendige Voraussetzung für invariante Produkthanforderungen (siehe Abschnitt 2).

R-3: Der Requirements-Ingenieur muss eine angepasste variable Produkthanforderung nachvollziehbar in die Produktspezifikation integrieren können. Eine variable Produkthanforderung enthält die Verknüpfung zu einer Variante des Variabilitätsmodells. Wird diese Produkthanforderung angepasst, so muss die Möglichkeit bestehen, entweder die Verknüpfung bestehen zu lassen oder eine Verknüpfung zu einer anderen Variante aufzubauen. Letzteres kann notwendig sein, wenn durch die Änderung der Inhalt der Produkthanforderung so verändert wird, dass sie fachlich nicht mehr zur ursprünglichen Variante passt. Bei den genannten Änderungen bezüglich der Verknüpfung zu Varianten ist darauf zu achten, dass diese produktspezifisch durchgeführt werden.

4.2 Prozessanforderungen auf Grund von Variabilitätsdeltas

In Abschnitt 3.2 wurde ausgeführt, dass Stakeholderanforderungen zu Variabilitätsdeltas führen können. Da die notwendigen Anpassungen an die Variabilität nicht für die gesamte Produktlinie gelten sollen, muss eine produktspezifische Anpassung der Variabilität durchgeführt werden. Dies führt zu einer weiteren Prozessanforderung:

R-4: Der Requirements-Ingenieur muss nachvollziehbar und produktspezifisch Anpassungen an die Variabilität durchführen und dokumentieren können. Die Dokumentation umfasst alle Arten von Anpassung an das Variabilitätsmodell und damit alle Arten von Variabilitätsdeltas, z.B. das Einfügen eines Variationspunktes, einer Variante oder die Änderung einer Variabilitäts- oder Bedingungsabhängigkeit.

⁵ In diesem Beitrag wird dem Requirements-Ingenieur die Rolle zugewiesen, die Prozessanforderungen umzusetzen.

Im Rahmen einer produktspezifischen Anpassung der Variabilität ist es darüber hinaus notwendig, die Anpassungen hinsichtlich der vorhandenen Variabilitäts- und Bedingungsabhängigkeit zu überprüfen. Dies führt zu den folgenden beiden Prozessanforderungen:

R-5: Der Requirements-Ingenieur muss die Konsistenz einer angepassten, produktspezifischen Variabilität hinsichtlich der Variabilitätsabhängigkeit prüfen. Es seien die Varianten V_1 , V_2 , V_3 und V_4 alternativ mit einem Variationspunkt VP verknüpft. Die alternative Auswahl ist mit einer Multiplizität von 1..4 versehen. Dies bedeutet, dass mindestens eine Variante ausgewählt werden muss und maximal vier der Varianten ausgewählt werden dürfen. Eine Stakeholderanforderung fordert nun, dass V_4 unabhängig von den drei anderen Varianten gewählt werden darf. In diesem Fall muss die alternative Auswahl auf V_1 , V_2 und V_3 beschränkt und die Multiplizität in 1..3 geändert werden.

R-6: Der Requirements-Ingenieur muss die Konsistenz einer angepassten, produktspezifischen Variabilität hinsichtlich der Bedingungsabhängigkeiten prüfen. Es habe als Beispiel eine Stakeholderanforderung dazu geführt, dass eine neue Variante V_{A3} zum Variationspunkt VP_A hinzugefügt wurde. VP_A besitzt bereits zwei Varianten V_{A1} und V_{A2} . Diese beiden Varianten sind über eine *schließt_aus*-Bedingungsabhängigkeit mit einer Variante V_{B1} des Variationspunktes VP_B verknüpft. Der Requirements-Ingenieur muss überprüfen, ob auch die neue Variante V_{A3} die Auswahl der Variante V_{B1} ausschließt. In diesem Fall liegt die Überprüfung nahe, da alle bisherigen Varianten von VP_A die Auswahl von V_{B1} ausschließen.

Für alle Prozessanforderungen an die produktspezifische Dokumentation von angepassten Produktanforderungen und angepasster Variabilität ist es wesentlich, dass der Ursprung der Deltas nachvollziehbar ist. Der Bezug zur ursprünglichen Produktlinienanforderung oder zum ursprünglichen Variabilitätsmodell unterstützt z.B. die Wiederverwendung von Artefakten in den weiteren Entwicklungsphasen. Dies ist möglich, weil die ursprünglichen Produktlinienanforderungen und Varianten Verknüpfungen zu diesen Artefakten besitzen. Eine Ausnahme bildet dabei eine neue Produktanforderung, da sie nicht durch Wiederverwendung von Produktlinienanforderungen definiert wird.

5 Ein Lösungsansatz zur Umsetzung der Prozessanforderungen

Die Erfüllung der in Abschnitt 4 beschriebenen Prozessanforderungen kann durch die Ableitung eines produktspezifischen Variabilitätsmodells, kurz P-VM, unterstützt werden. Die Ableitung des P-VM bedeutet, dass Änderungen in Bezug auf die Variabilität produktspezifisch ausgeführt werden. Sie haben somit zunächst keine Auswirkungen auf das Produktlinienvariabilitätsmodell (PL-VM). Im Folgenden werden Aktivitäten zur Umsetzung der einzelnen Prozessanforderungen skizziert.

Prozessanforderung R-1: Da die neue Produktanforderung produktspezifisch realisiert werden soll, sollte sie einer Variante des P-VM zugeordnet werden. Damit gibt es weiterhin nur variable Produktanforderungen und invariante Produktanforderungen. Bei der Zuordnung zu einer Variante gibt es prinzipiell folgende Möglichkeiten: (a) Die neue

Produktanforderung wird einer bestehenden Variante zugeordnet. (b) Die neue Produktanforderung wird einer neuen Variante zugeordnet, die aber wiederum mit einem bestehenden Variationspunkt verknüpft wird. (c) Schließlich kann eine neue Variante zu einem neuen Variationspunkt notwendig sein. Alle Anpassungen betreffen das P-VM und sind somit produktspezifisch.

Prozessanforderung R-2: Ein Ansatz zur Umsetzung von R-2 liegt darin, die Variabilität des P-VM sowie der Produktlinie (PL-VM) zu erweitern. Es sei PLA_1 die ursprüngliche, invariante Produktlinienanforderung und PA_2 die angepasste Produkthanforderung. In das Produktlinienvariabilitätsmodell PL-VM wird ein neuer Variationspunkt VP eingefügt. Mit VP wird die Variante V_1 optional verknüpft. V_1 wird die Produktlinienanforderung PLA_1 zugeordnet. Mit dieser Änderung an dem PL-VM ist es möglich, PLA_1 von einer invarianten Produktlinienanforderung in eine variable Produktlinienanforderung umzuwandeln. Der neue Variationspunkt VP und die neue Variante V_1 werden ebenfalls im P-VM eingefügt. Zusätzlich erfolgt die Definition einer Variante V_2 (zu VP), die mit der Produkthanforderung PA_2 verknüpft wird. Für das Produkt kann nun die Variante V_2 ausgewählt werden.

Mit der Anforderung R-2 ist auch der Fall abgedeckt, dass ein Stakeholder eine invariante Produktlinienanforderung ausschließen möchte, weil z.B. eine bestimmte Funktionalität in seinem Produkt nicht enthalten sein soll. Ist diese Funktionalität durch eine invariante Produktlinienanforderung repräsentiert, wäre sie automatisch in dem Produkt des Stakeholders realisiert. Auch hier besteht die Lösung darin, die invariante Produktlinienanforderung in eine variable Produktlinienanforderung umzuwandeln und für das aktuelle Produkt nicht auszuwählen.

Prozessanforderung R-3: In diesem Fall kann die Produkthanforderung angepasst werden, ohne dass eine Anpassung des P-VM erfolgen muss. Es ist aber möglich, zum Beispiel eine neue Variante einzufügen, wenn die angepasste Anforderung nicht mehr fachlich zu der Variante oder gar zu dem Variationspunkt passt. Diese Änderung bleibt auf Grund des P-VM produktspezifisch.

Prozessanforderung R-4: Eine produktspezifische Anpassung der Variabilität erfolgt durch die Anpassungen im P-VM. Die durchgeführten Anpassungen werden dokumentiert, so dass nachvollziehbar ist, welche Variabilitätsdeltas zwischen dem P-VM und dem PL-VM existieren.

Prozessanforderung R-5: Abbildung 3 zeigt das Hinzufügen einer Variante V_4 zum Variationspunkt VPI . Als Variabilitätsabhängigkeit wurde eine optionale Verknüpfung gewählt. Bei der Anpassung muss nun überprüft werden, ob die neue Variante die Variabilitätsabhängigkeiten der bereits bestehenden Varianten V_1 bis V_3 beeinflusst. Es stellt sich z.B. die Frage, ob immer noch 2 bis maximal 3 Varianten ausgewählt werden sollen. In diesem Falle müsste die alternative Auswahl auf die Variabilitätsabhängigkeit von V_4 ausgedehnt werden (in P-VM). Bleibt die Modellierung wie in Abbildung 3 gezeigt, könnten insgesamt 4 Varianten ausgewählt werden.

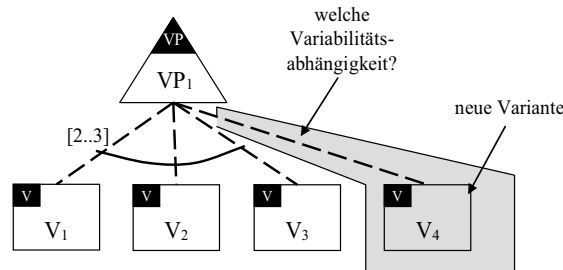


Abbildung 3: Prüfung der Variabilitätsabhängigkeit bei einer neuen Variante

Prozessanforderung R-6: Prinzipiell ist eine Überprüfung von Bedingungsabhängigkeiten z.B. beim Einfügen von Varianten oder Variationspunkten bezüglich alle anderen Varianten und Variationspunkte notwendig, was geeignete Strategien für die Überprüfung erforderlich macht. In einem produktspezifischen Modell kann die Überprüfung von *schließt aus*-Bedingungsabhängigkeiten auf die Varianten beschränkt werden, die der Stakeholder ausgewählt hat (was eine entsprechende Dokumentation der Auswahl voraussetzt). Damit wird die Möglichkeit überprüft, ob eine Auswahl auf Grund z.B. einer neuen Variante rückgängig gemacht werden muss. Auf der anderen Seite kann die Überprüfung von *verlangt*-Bedingungsabhängigkeiten auf die Menge der nicht ausgewählten Varianten eingeschränkt werden.

6 Stand der Technik

Einige der in der Literatur vorgestellten Ansätze verfolgen bei der Umsetzung spezifischer Anforderungen beide möglichen Strategien: die Umsetzung in der Produktlinie mit anschließender Wiederverwendung der entsprechenden Produktlinienanforderungen und die produktspezifische Umsetzung. Beispiele dafür finden sich in [DSB04], [Go04], [Ba99], [At02] und [WL99]. Andere Ansätze wiederum beschränken sich auf die Möglichkeit, Anpassungen nur im Domain Engineering, d.h. für die gesamte Produktlinie umzusetzen [MKW99] [HK03].

Im KobrA-Ansatz wird ausführlich ein Änderungsmanagement-Prozess für die unterschiedlichen Vorgehensweisen bei der Umsetzung von spezifischen Anforderungen beschrieben [At02, S. 352 ff]. Allerdings wird auch im KobrA-Ansatz nicht auf die Anpassung der Variabilität und von invarianten Produktlinienanforderungen eingegangen.

In ihrer Übersicht über unterschiedliche Systemfamilien-Modellierungsansätze gehen Haugen et al. auf die Umsetzung unvorhergesehener Merkmale („unforeseen features“) bezüglich unterschiedlicher Modellierungsansätze ein [HMO05, S. 109]. Die Autoren betrachten nicht explizit die Realisierung von Variabilitätsdeltas und gehen auch nicht auf die speziellen Prozessanforderungen an das ARE in Bezug auf Deltas ein.

Padmanabhan und Lutz zeigen in ihrem Beitrag, wie mit dem Werkzeug DECIMAL (DECISION Modeling AppLIcation) eine Verifikation von Produktlinienanforderungen erfolgen kann [PL05]. Mit DECIMAL lassen sich die Anforderungen eines neuen Pro-

duktes gegenüber den Produktlinienanforderungen sowie den Abhängigkeiten innerhalb der Produktlinienvariabilität prüfen. Des Weiteren führen die Autoren so genannte „near commonalities“ ein, um zu kennzeichnen, wenn eine Produktlinienanforderung bis auf wenige Ausnahmen „invariant“ ist. Die Autoren fokussieren aber nicht eine produktspezifische Anpassung des Variabilitätsmodells sowie Prozessanforderungen an das ARE.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bisherige Ansätze nicht die produktspezifische Anpassung von Variabilität fokussieren. Die Ansätze gehen auch nicht auf die Prozessanforderungen an das ARE in Bezug auf die produktspezifische Dokumentation von spezifischen Anforderungen ein.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Requirements Engineering im Application Engineering der Produktlinienentwicklung unterscheidet sich signifikant vom Requirements Engineering in der Einzelsystementwicklung. Die Unterschiede liegen in der Berücksichtigung von Produktlinienanforderungen und der Produktlinienvariabilität begründet. ARE-spezifische Aktivitäten umfassen die Kommunikation der Produktlinienanforderungen und Produktlinienvariabilität zum Stakeholder, die Dokumentation von spezifischen Anforderungen, die nicht oder nur teilweise durch Wiederverwendung definiert werden können sowie die Unterstützung von Trade-Off Entscheidungen (vgl. [HP03]).

Bisherige Arbeiten zum ARE konzentrieren sich auf die Kommunikation der Produktlinienanforderungen und Produktlinienvariabilität zum Stakeholder. Ansätze, welche die produktspezifische Dokumentation von spezifischen Anforderungen fokussieren und entsprechende Prozessanforderungen an einen ARE-Prozess formulieren, gibt es bisher nicht. Diese Prozessanforderungen bilden aber die Voraussetzung für die Definition eines Prozessmodells und der Entwicklung einer Methode zur Unterstützung des Requirements-Ingenieurs und zur kontinuierlichen Prozessverbesserung.

In diesem Beitrag haben wir spezielle Prozessanforderungen an das ARE in Bezug auf die produktspezifische Dokumentation von spezifischen Anforderungen beschrieben. Dazu wurden Anforderungs- und Variabilitätsdeltas definiert, die bei der Definition von spezifischen Anforderungen zur Erfüllung von Stakeholderanforderungen entstehen. Mit der Dokumentation eines produktspezifischen Variabilitätsmodells sowie den Anforderungsdeltas werden die systematische Rückkopplung von spezifischen Anforderungen für das Domain Engineering sowie Trade-Off Entscheidungen des Stakeholders unterstützt. Darüber hinaus dient die Dokumentation als Grundlage für die weiteren Entwicklungsphasen zur Realisierung der spezifischen Anforderungen.

Die beschriebenen Prozessanforderungen können mit dem produktspezifischen Variabilitätsmodell umgesetzt werden und dienen als Basis für die Entwicklung eines Prozessmodells, welches den Requirements-Ingenieur bei der Dokumentation der spezifischen Anforderungen unterstützt. Dieses Prozessmodell sowie eine geeignete Werkzeugunterstützung für einzelne Prozessfragmente ist Gegenstand unserer aktuellen Forschungsarbeiten.

Danksagung: Wir danken den Gutachtern für die wertvollen Kommentare sowie Andreas Metzger für die weiterführenden Diskussionen und die Unterstützung bei der Erstellung dieses Beitrages.

Literaturverzeichnis

- [At02] Atkinson, C.; Bayer, J.; Bunse, C.; Kamsties, E.; Laitenberger, O.; Laqua, R.; Muthig, D.; Paech, B.; Wüst, J.; Zettel, J.: Component-Based Product-Line Engineering with UML; Addison-Wesley; UK; 2002
- [Ba99] [Bayer, J.; Flege, O.; Knauber, P.; Laqua, R.; Muthig, D.; Schmid, K.; Widen, T.; De-Baud, J.-M.: PuLSE: A Methodology to Develop Software Product Lines; In: ACM (Hrsg.); Proceedings of the Fifth Symposium on Software Reusability (SSR 1999), Los Angeles, CA, USA; ACM Press; New York, USA; 1999; S. 122-131
- [BLP05] Bühne, S.; Lauenroth, K.; Pohl, K.: Modelling Requirements Variability across Product Lines; In: Atlee, Joanne, M. (Hrsg.) 13th IEEE Intl. Conference on Requirements Engineering. IEEE Computer Society, September 2005, S. 41-50.
- [CKS03] Chrissis, M. B.; Konrad, M.; Shrum, S.: CMMI, Guidelines for Process Integration and Product Improvement; Addison-Wesley; Boston, USA; 2003
- [DSB04] Deelstra, S.; Sinnema, M.; Bosch, J.: Experiences in Software Product Families: Problems and Issues during Product Derivation; In: Nord, R. L. (Hrsg.); Software Product Lines, Proceedings of the Third International Conference (SPLC 2004), Boston, USA; LNCS, Vol. 3154; Springer; Berlin, Heidelberg; 2004; S. 165-182
- [Go04] Gomaa, H.: Designing Software Product Lines with UML; Addison-Wesley; Boston, USA; 2004
- [HK03] Hotz, L.; Krebs, T.: Supporting the Product Derivation Process with a Knowledge-based Approach; Proceedings of the International Workshop on Software Variability Management (SVM), co-located to ICSE 03, Portland, USA; 2003; S. 24-29
- [HMO05] Haugen, Ø; Møller-Pedersen, B.; Oldevik, J.: Comparison of System Family Modeling Approaches; In: Obbink, H.; Pohl, K. (Hrsg.): Software Product Lines, Proceedings of the 9th International Conference (SPLC 2005), Rennes, France, September 2005; LNCS 3714; Springer, Berlin, Heidelberg 2005; S. 102-112
- [HP02] Halmans, G.; Pohl, K.: Modellierung der Variabilität einer Produktfamilie; In: Glinz, M.; Müller-Luschnat, G. (Hrsg.); Proceedings der Modellierung 2002 – Modellierung in der Praxis – Modellierung für die Praxis, Tutzing 2002; GI-Edition LNI; P-12; Köllen Druck+Verlag GmbH; Bonn; 2002
- [HP03] Halmans, G.; Pohl, K.: Communicating the Variability of a Software Product Family to Customers, Software and Systems Modeling; Vol. 2, Springer; Hamburg; 2003; S. 15-36
- [MKW99] Mannion, M.; Kaindl, H.; Wheadon, J.: Reusing Single System Requirements from Application Family Requirements; In: ACM (Hrsg.); Proceedings of the 21th International Conference on Software Engineering (ICSE 1999); ACM Press; New York, USA; 1999; S. 453 – 462
- [PBL05] Pohl, K.; Böckle, G.; van der Linden, F.: Software Product Line Engineering, Foundations, Principles, and Techniques; Springer, Berlin, Heidelberg 2005
- [PL05] Padmanabhan, P.; Lutz, R. R.: Tool-Supported Verification of Product Line Requirements; Automated Software Engineering, Vol. 12, No. 4.; Springer Science+Business Media B.V; October 2005, S. 447-465
- [Po96] Pohl, K.: Process-centered Requirements Engineering; Process-centered Requirements Engineering. ; John Wiley & Sons; 1996
- [WL99] Weiss, D. M.; Lai, C. T. R.: Software Product-Line Engineering, A Family-Based Software Development Process; Addison-Wesley; Boston, USA; 1999