

Arbeiten mit Anforderungen: Requirements Management

8

Dietmar Göhlich und Tu-Anh Fay

Im vorstehenden Kapitel wurde beschrieben, wie eine initiale Anforderungsbasis über das Ermitteln, Spezifizieren, Analysieren und Strukturieren von Anforderungen entwickelt wird (Requirements Engineering). Diese Anforderungsbasis ist aber keineswegs statisch, sondern unterliegt im weiteren Verlauf des Produktentstehungsprozesses einer ständigen Analyse, Priorisierung, Weiterentwicklung und Verifizierung. Das Entwickeln und das Arbeiten mit Anforderungen müssen, wie in Abb. 8.1 dargestellt, also eng verzahnt und aufeinander abgestimmt erfolgen. Dabei muss auch die Rückverfolgbarkeit von Anforderungen gewährleistet sein und die Veränderung von Anforderungen muss mit allen beteiligten Stakeholdern transparent abgestimmt und aktuell gehalten werden. Das prozessbegleitende Arbeiten mit der Anforderungsbasis im Produktentwicklungsprozess, hier auch als Requirements Management (abgekürzt RM) bezeichnet, soll im Folgenden beschrieben werden.

Requirements Management umfasst dabei sowohl die Prozessgestaltung als auch die operative Anforderungsverwaltung über den gesamten Produktentstehungsprozess. Das RM beinhaltet die Einbettung der Anforderungsverwaltung in den Entwicklungsprozess und das Zusammenspiel mit den anderen Teilprozessen, die bei einer Produktentwicklung mit zahlreichen Stakeholdern aus unterschiedlichen Bereichen und häufig auch über die Grenzen eines Unternehmens hinweg gewährleistet werden müssen. Die hierfür eingesetzten Dokumente – z. B. in der Form von Anforderungslisten, Steckbriefen, Lasten- und Pflichtenheften – werden im Folgenden beschrieben und es werden

D. Göhlich (✉) · T.-A. Fay
Technische Universität Berlin, Berlin, Deutschland

Ansätze zur Standardisierung vorgestellt. Diese Dokumente können aufgrund des notwendigen Detaillierungsgrades sehr umfangreich werden. Schon das Lastenheft einer einzelnen Komponente kann mehrere hundert Seiten umfassen. Unterschiedliche Komponentenlastenhefte müssen konsistent mit Anforderungen an Module, Systeme und Produkte erstellt und gepflegt werden. Hierfür werden in der Praxis spezifische Software Tools eingesetzt. RM umfasst daher auch die Spezifikation, Einführung und Pflege von geeigneten Software Lösungen.

8.1 Requirements Management im Produktentwicklungsprozess

Das Requirements Management ist ein fester Bestandteil des gesamten Produktlebenszyklus. Dementsprechend hat das Arbeiten mit Anforderungen in den Modellen zur Produktentwicklung eine besondere Bedeutung. In Kap. 4 wird ein allgemeines Modell der Produktentwicklung beschrieben, welches auf alle Arten technischer Produkte und Systeme sowie die entsprechenden interdisziplinären Entwicklungs- und Entstehungsprozesse angewendet werden kann, siehe auch VDI-Richtlinie 2221 (2019a). Die grafische Darstellung des Modells in Abb. 4.6. zeigt, wie bereits in der Produktplanung Anforderungen definiert und in der anschließenden Produktentwicklungsphase verfeinert und ergänzt werden.

Die Vielfalt mechatronischer Produkte und die Komplexität moderner cyber-physischer Systeme machen ein verteiltes und gleichzeitiges Entwickeln auf unterschiedlichen Aggregationsstufen des zu entwickelnden Produktes unabdingbar. Eine domänenübergreifende Methode zum Entwickeln mechatronischer Systeme wird in der VDI-Richtlinie 2206 (2004) beschrieben, siehe hierzu Abb. 4.16. Die Kernelemente sind hierbei ein allgemeiner Problemlösungszyklus auf der Mikroebene und das sogenannte V-Modell auf der Makroebene. Ausgangspunkt des V-Modells sind die Anforderungen, die auf unterschiedlichen Ebenen definiert werden (Bender 2005). Abb. 8.2 zeigt eine

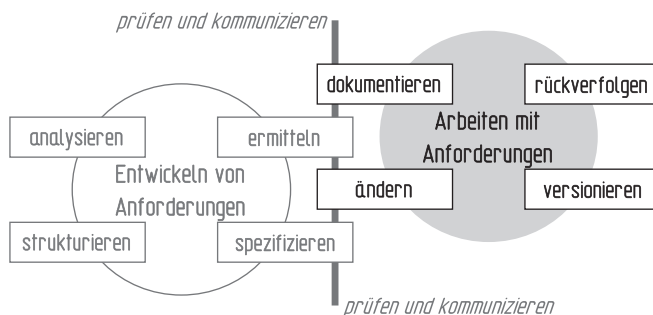


Abb. 8.1 Aktivitäten beim Arbeiten mit Anforderungen

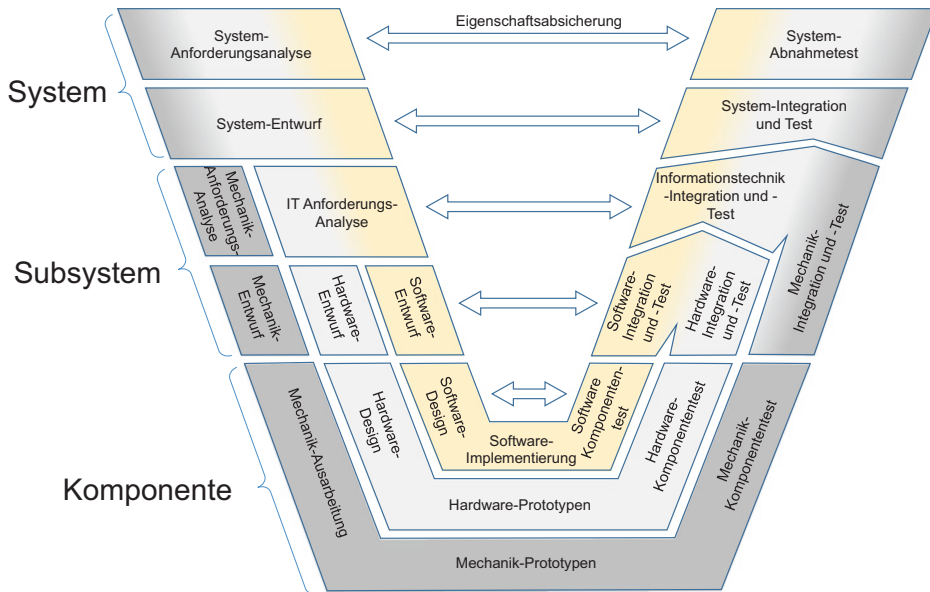


Abb. 8.2 Anforderungen im V-Modell der Produktentwicklung. (eigene Darstellung in Anlehnung an Bender 2005)

exemplarische Unterteilung in drei Ebenen: Systemebene (z. B. Gesamtprodukt), erste Subsystemebene (z. B. Modul), zweite Subsystemebene (z. B. Baugruppe oder Bauteil).

Typischerweise werden die Anforderungen für jede Ebene in unterschiedlichen Dokumenten verwaltet, für das Gesamtprodukt in einem Produktlastenheft (PLH), für die Subsysteme in Komponentenlastenheften (KLH).

Die im Verlauf der Lösungssuche über virtuelle und physikalische Prototypen konkretisierten Lösungen werden einer Eigenschaftensicherung unterzogen. Hierzu werden die vorhandenen oder prognostizierten Eigenschaften der einzelnen Teil- bzw. Gesamtlösungsvarianten anhand der an sie gestellten Anforderungen evaluiert. Dies kann z. B. durch Berechnung, Simulation, Versuch etc. erfolgen.

Die Gestaltung realer Entwicklungsprozesse erfolgt unter Berücksichtigung spezifischer Kontextfaktoren. Je nach Anwendungsfall im Unternehmen können die Ziele, Aktivitäten und Ergebnisse von Produktentwicklungsprozessen unterschiedlich sein, siehe VDI-Richtlinie 2221 (2019b). Requirements Engineering und Requirements Management sind dabei immer wesentliche Teilprozesse der Produktentstehung. Insbesondere die Erstellung und Freigabe von Lasten- und Pflichtenheften werden als wesentliche Meilensteine im Rahmenterminplan jeder Produktentwicklung vorgesehen. Der Prozess zur Lastenhefterstellung soll im Folgenden genauer beschrieben werden.

Grundsätzlich ist dabei zu unterscheiden, ob der Entwicklungsauftrag intern vom Hersteller definiert wird, wie es zum Beispiel in der Automobilindustrie bei der Entwicklung einer neuen Fahrzeugbaureihe aber auch in vielen anderen Branchen üblich

ist, oder ob es sich um eine Auftragsentwicklung handelt, bei der der Hersteller zunächst ein Angebot für die Entwicklung und Lieferung eines Produktes an den ausschreibenden Betreiber erstellt. Dies ist z. B. im Anlagenbau oder bei der Entwicklung von Schienenfahrzeugen üblich, wo der Verkehrsbetreiber wie z. B. die Deutsche Bahn Ausschreibungen erstellt und die Schienenfahrzeughersteller daraufhin entsprechende Angebote abgeben.

Abb. 8.3a zeigt den Prozess der Erstellung des Produktlastenhefts (PLH) bei internem Entwicklungsauftrag. Dabei werden hier exemplarisch nur zwei Produktebenen (Gesamtprodukt und Komponenten) und die Zusammenarbeit des Herstellers (häufig auch als Original Equipment Manufacturer, kurz OEM, bezeichnet) mit seinen direkten Lieferanten (häufig mit dem englischen Begriff Tier 1 bezeichnet) berücksichtigt. In realen Entwicklungsprozessen arbeiten die direkten Lieferanten häufig mit weiteren Sublieferanten (Tier 2, 3...N) zusammen.

In der Planungsphase werden beim OEM die strategischen Entscheidungen gefällt und die übergeordneten Ziele und Rahmenbedingungen für die Entwicklung eines Produkts oder sogar für eine ganze Produktfamilie (z. B. eine Baureihe) festgelegt. Zum Entwicklungsstart werden die grundlegenden Anforderungen und Rahmenbedingungen vom Hersteller in einem Produktsteckbrief definiert. Auf dieser groben Ebene ist es allerdings oft noch nicht möglich, die hierin enthaltenen Zielkonflikte vollständig zu identifizieren. In der Produktkonzeptionsphase werden die Ziele detaillierter ausgearbeitet, dabei werden typischerweise Widersprüche transparent. Zur Auflösung der Widersprüche sind Zielanpassungen oft unumgänglich.

Auf dieser Basis wird ein Konzeptheft erstellt, übergeordnete Ziele werden hier in konkrete Anforderungen überführt. Das Konzeptheft beschreibt sowohl das Gesamtprodukt, bei einem Fahrzeug z. B. Gesamtabmessungen und Fahrleistungen, als auch die wesentlichen Komponenten wie z. B. Antriebssystem oder Fahrwerk. Das Konzeptheft wird im weiteren Prozess zu einem Produktlastenheft weiterentwickelt. Dabei treten wiederum Zielkonflikte auf, die erkannt und gelöst werden müssen. Dazu ist es häufig sinnvoll, bereits in der frühen Phase Entwicklungspartnerschaften einzugehen und potentielle Lieferanten auch ohne Liefervertrag in den Abstimmungsprozess einzubeziehen, wie in Abb. 8.3a dargestellt.

Bei einer Auftragsentwicklung kommt neben dem Hersteller und den Lieferanten noch der Auftraggeber als ein dritter Stakeholder hinzu. Abb. 8.3b zeigt exemplarisch wie der Auftraggeber auf Basis einer Ausschreibung ein Angebotslastenheft (ALH) erstellt. Der Hersteller entwickelt auf dieser Basis ein Produktkonzept, welches, analog zum o. g. Konzeptheft, noch nicht frei von Widersprüchen ist. Im nächsten Schritt werden diese Widersprüche, auch hier i. d. R. in Zusammenarbeit mit Lieferanten, aufgelöst und der Hersteller erstellt ein Angebot. Die zu erfüllenden Anforderungen werden gegenüber dem Auftraggeber in einem Produktpflichtenheft des Herstellers (PPH) dokumentiert. Kommt es daraufhin zu einem Auftrag an den Hersteller, erfolgt der eigentliche Projektstart und das Produktpflichtenheft wird zu einem Produktlastenheft (PLH) weiterentwickelt.

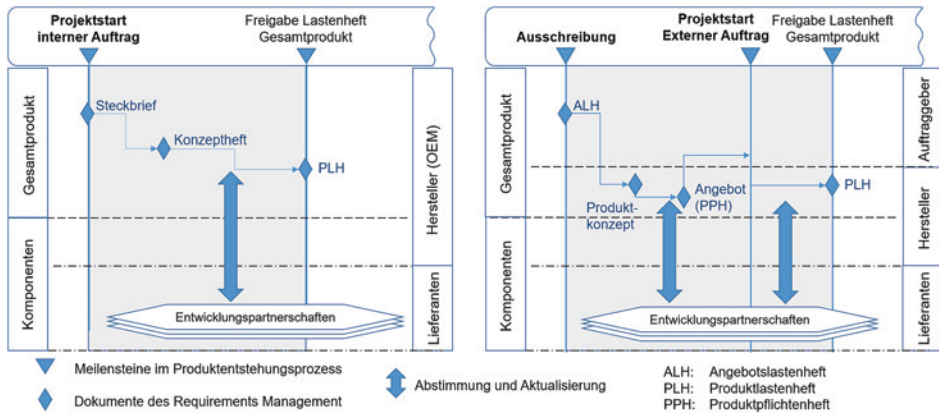


Abb. 8.3 Exemplarische Darstellung des Prozess zur Lastenhefterstellung auf der Gesamtproduktebene mit der Unterscheidung **a)** interner Projektauftrag, **b)** externer Projektauftrag

Das freigegebene PLH ist die verbindliche Basis für die weitere Produktentwicklung sowohl beim Hersteller als auch für die Zusammenarbeit des Herstellers mit den Lieferanten. Dabei ist es unerheblich, ob der Entwicklungsauftrag intern vom Hersteller definiert wird oder ob es sich um eine Auftragsentwicklung handelt. In Abb. 8.4 ist dargestellt, wie auf der Grundlage des PLH Komponentenlastenhefte (KLH) für Systeme, Module und Bauteile erarbeitet werden. Diese KLH fassen alle Anforderungen des Herstellers (Auftraggeber) an die Leistungen und Lieferumfänge der Komponenten zusammen und sind ein wesentlicher Bestandteil der Anfrageunterlagen. Auf dieser Basis erstellen die Lieferanten Angebote und Pflichtenhefte der Komponenten (KPH), welche die Realisierung der Anforderungen beschreiben. Gegebenenfalls benennt der Auftragnehmer in einer „Clause-by-Clause“ Kommentierung auch die Anforderungen, die gar nicht oder in veränderter Form erfüllt werden.

Für die Einbettung des RM-Prozesses in die Gesamtheit des Produktentwicklungsprozesses sowie die Auswahl, Einführung und Pflege von RM Software Tools (siehe Abschn. 8.3) sind spezifische Kenntnisse der Prozessabläufe, des Datenmanagements und der informationstechnischen Umsetzung erforderlich. Daher wird die Verantwortlichkeit im Unternehmen oft zentralen Bereichen übertragen. Bei der Anforderungsentwicklung liegt der Schwerpunkt auf der fachlichen – in der Regel technischen – Kompetenz. Daher wird die Verantwortung hierfür in der Regel der Produktentwicklung zugeordnet.

Anforderungen müssen mit allen relevanten Stakeholdern abgestimmt und auf Konsistenz geprüft werden. Die verbindliche Festlegung und Abstimmung mit allen Stakeholdern erfolgt über funktions- und bereichsübergreifende Entscheidungsinstanzen zu den durch entsprechende Meilensteine festgelegten Zeitpunkten. Die Verantwortlichkeit für die Nachverfolgung der Umsetzung der Anforderungen wird in vielen Unternehmen ebenfalls der

Produktentwicklung zugeteilt, kann aber auch im Sinne eines „vier Augen Prinzips“ als gemeinsame Aufgabe von Produktentwicklung und Qualitätsmanagement (oder einer anderen Querschnittsfunktion) definiert werden. In jedem Fall ist eine personenbezogene Verantwortung erforderlich. So können zum Beispiel die Projektleiter die Gesamtverantwortung für das Produktlastenheft und die Entwicklungsingenieure für die Komponentenlastenhefte übernehmen. Übergreifende Anforderungen, z. B. für die Montage oder Qualitätssicherung, werden dabei von den entsprechenden Querschnittsfunktionen definiert.

8.2 Dokumente und Standards für das Arbeiten mit Anforderungen

Bei der Sammlung, Zuordnung und Nachverfolgung von Anforderungen spielen Dokumente eine zentrale Rolle. Diese technischen Dokumentationen sind auf das jeweilige Produkt abzustimmen und entsprechend den Erfordernissen des Prozesses auszuwerten, siehe VDI-Richtlinie 4500 (2006). Die einfachste Form der Anforderungsdokumentation erfolgt tabellarisch in Form einer Anforderungsliste (siehe Abschn. 8.2.1), die in der heutigen industriellen Praxis allerdings nur noch für Entwicklungsaufgaben mit geringer Komplexität Anwendung findet.

Für komplexere Produkte mit verteilten Entwicklungsaufgaben, häufig über die Grenzen eines Unternehmens hinweg, reichen derartig einfache Dokumentationsformen nicht aus. Der notwendigen Weiterentwicklung der Anforderungen im Produktentwicklungsprozess und der Komplexität der Entwicklungsaufgabe wird durch unterschiedliche Dokumente Rechnung getragen. Die Anforderungen, die sich zu Beginn

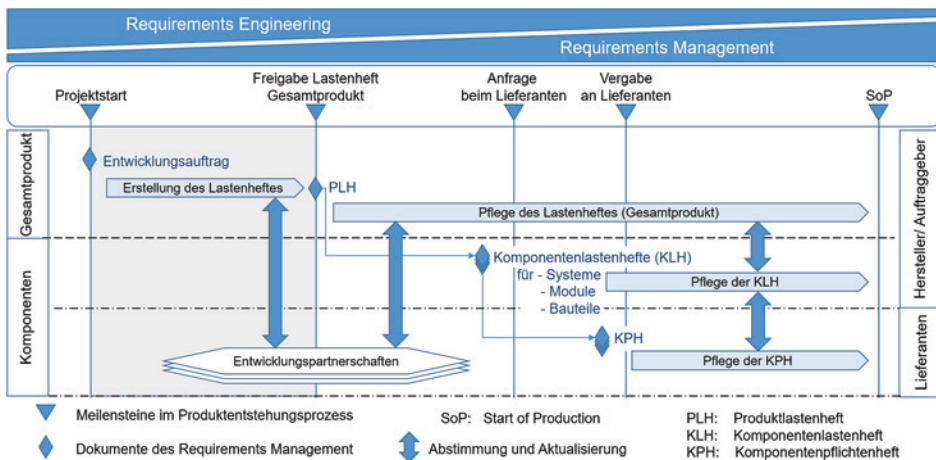


Abb. 8.4 Exemplarische Darstellung von Meilensteinen, Abläufen und Dokumenten des Anforderungsmanagements im Produktentwicklungsprozess

des Produktentstehungsprozesses aus der Produktplanung ergeben, werden in der Regel in der Form eines Steckbriefes zusammengefasst, der häufig auch als Rahmen- oder Konzeptheft bezeichnet wird (siehe Abschn. 8.1). Im sogenannten Lastenheft wird die Summe der Anforderungen an die Produktentwicklung festgehalten, wobei üblicherweise ein übergeordnetes Lastenheft für das Gesamt-Produkt und untergeordnete Lastenhefte für Systeme, Module und Bauteile erstellt werden. Die Lastenhefte sind eine wesentliche Grundlage für die Zusammenarbeit von Auftraggebern und Auftragnehmern, so zum Beispiel bei der Zusammenarbeit eines Produktherstellers mit Lieferanten von Produktkomponenten und auch bei der Zusammenarbeit von Lieferanten untereinander.

Die Entwicklung der Anforderungsbasis und die Erstellung von Lasten- und Pflichtenheften wurde bereits in Abschn. 7.2 diskutiert. Im Folgenden werden verschiedene Dokumente für das Arbeiten mit Anforderungen vorgestellt. Außerdem werden Standards diskutiert, die eine vereinheitlichte Struktur, standardisierte Schnittstellen sowie standardisierte Prozesse vorschlagen.

8.2.1 Anforderungsliste

Die Anforderungsliste dokumentiert alle Anforderungen in einer übersichtlichen tabellarischen Form. Die Anforderungsliste sollte mindestens Informationen zur Organisation, Identifikation, dem eigentlichen Inhalt der Anforderung und der Verfolgbarkeit (Erstellung und Änderungshistorie) enthalten. I. d. R. werden die Einzelanforderungen nach den Teilsystemen oder nach Hauptmerkmalen gegliedert (siehe Bild 7.12) ebenso ist eine Klassifizierung in verbindliche Forderungen und fakultative Wünsche üblich. Methoden zur Ermittlung von Anforderungen finden sich im Abschn. 7.3.1. Kriterien und Methoden, die bei der Erstellung einer Anforderungsliste helfen, werden dort bereitgestellt.

Abb. 8.5 zeigt den formalen Aufbau einer solchen Anforderungsliste. Gemäß Abschn. 7.2.3 wird hier eine Strukturierung in Funktionalanforderungen, nicht-Funktionalanforderungen (z. B. Qualitätsanforderungen) und Rahmenbedingungen vorgeschlagen. Allerdings gibt es für den formalen Aufbau von Anforderungslisten keinen einheitlichen Standard. Typischerweise entwickeln Organisationen eigene, jeweils auf ihren Anwendungsfall zugeschnittene Tabellenformate.

Als konkretes Beispiel ist hier das Hubwerk eines Fassadenaufzugs zur Reinigung von Hausfassaden aufgeführt, der in Abb. 8.6 schematisch dargestellt ist. Abb. 8.7 zeigt einen Auszug aus der zugehörigen Anforderungsliste mit allen relevanten Informationen inkl. einer Benennung der Quellen, aus denen die Anforderungen stammen, nämlich einerseits aus einem Entwicklungsauftrag (zum Beispiel von der Geschäftsleitung oder einem Kunden) aber auch aus einer einschlägigen Norm, in diesem Fall der DIN EN 1808 (Sicherheitsanforderungen an hängende Personenaufnahmemittel).

Benutzer		Anforderungsliste für Projekt, Produkt		Ausgabe: Identifikation Klassifizierung Blatt: Seite:		
ID	Prio.	Anforderungen	Verantw.	Änderung	Begründung	
Eindeutige Identifikationsnummer	Priorisierung	Rahmenbedingungen:				
		Funktionalanforderungen:				
		Qualitätsanforderungen:				
<div>Hinweis: Anforderungen ggf. in Teilsysteme (Funktions- bzw. Baugruppen) oder nach Merkmalen der Leitlinie aufgliedern.</div>						
Ersetzt:		Ausgabe vom				

Abb. 8.5 Formaler Aufbau einer Anforderungsliste

8.2.2 Standards und Richtlinien für Lasten- und Pflichtenhefte

In der VDI-Richtlinie 2519 Blatt 1 (2001a) wird eine Vorgehensweise bei der Erstellung eines Lasten- und Pflichtenheftes für Materialflusssysteme und zugehörige Automatisierungssysteme erläutert. Weiterhin werden Kriterien zur Qualitätsbeurteilung von Lasten- und Pflichtenheften aufgestellt. In der VDI-Richtlinie 2519 Blatt 2 (2001b) und VDI/VDE Richtlinie 3694 (2014) werden – für Automatisierungs- und Materialflusssysteme – Gliederungsvorschläge für Lasten- und Pflichtenhefte aufgestellt. Dabei werden neben allgemeinen Gesichtspunkten (z. B. die Beschreibung der Ausgangssituation, übergreifende Eckdaten, Datenmanagement) insbesondere die Systembeschreibung, die Schnittstellen, die systemtechnischen Anforderungen, die Inbetriebnahme, die Qualität und die Projektorganisation behandelt.

Der Verband der Automobilindustrie (VDA) hat eine „Automotive Standardvorlage für Komponentenlastenhefte“ vorgeschlagen (VDA 2007), die auf der Zusammenstellung von „Best Practices“ beruht. Die VDA-Struktur besteht inhaltlich aus zwei

Teilen, in denen die übergreifenden Anforderungen, die für das Gesamtprodukt und alle Komponenten gelten, von den spezifischen Anforderungen an die jeweilige Komponente getrennt werden. Ferner wird in diesem Dokument eine Basis für standardisierte IT-Unterstützung durch Requirements Engineering Tools geschaffen.

Ein branchenübergreifender Standard oder eine allgemeine Norm für Pflichten- und Lastenhefte liegt bisher nicht vor. Die o. g. Richtlinien und Standards lassen sich aber durchaus auf andere Anwendungsfelder der Mechatronik und des Maschinenbaus übertragen.

8.2.3 Generische Lastenheftstruktur für mechatronische Komponenten

Bei komplexen Produkten ist die Beschreibung aller Anforderungen in einem einzigen Produktlastenheft (PLH) weder sinnvoll noch möglich. Stattdessen werden neben dem PLH zahlreiche Komponentenlastenhefte definiert. Entsprechend den jeweiligen Anforderungsebenen gemäß Abb. 8.2 steht der Begriff Komponentenlastenheft dabei für

- Systemlastenheft
- Modullastenheft
- Baugruppenlastenheft
- Bauteillastenheft

Um die Konsistenz der Anforderungen in diesen unterschiedlichen Lastenheften zu gewährleisten wird auch hier vorgeschlagen, die Anforderungen in übergreifende

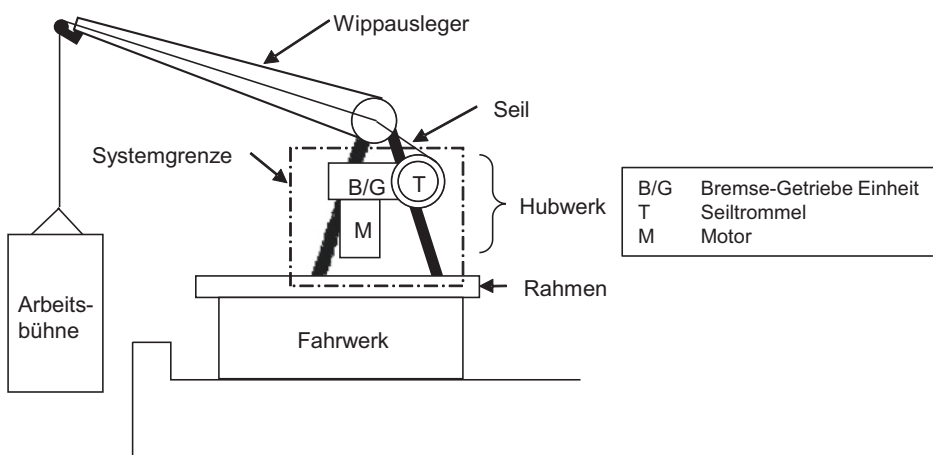


Abb. 8.6 Hubwerk eines Fassadenlifts, Systemdarstellung mit Systemgrenze

Firma:					Anforderungsliste für das Hubwerk eines Fassadenaufzugs zur Reinigung von Hausfassaden		Auftragsnummer: A20190034	
Version:			Datum:		Projektleiter: Alexandra Müller (AM) Bearbeiter: Max Mustermann (MM)			
ID	Verantwort	Prio.	Änderung	Wer	(Auszug)		Bemerkung	Quelle
Rahmenbedingungen								
R-1	AM	F	15.02.2019	MM	Einsatz unter mitteleuropäischen Klimabedingungen			
R-2	AM	F	15.02.2019	MM	Zulassung in Deutschland			
R-3	AM	F	15.02.2019	MM	Der Fassadenaufzug ist über auf dem Dach montierte Schienen verfahrbar			Entwicklungsauftrag
R-4	AM	F			Berücksichtigung aktueller Normen			
R-5	AM	F			Hubhöhe 28 m			Entwicklungsauftrag
R-6	AM	F			Tragsseillänge: 50 m			
R-7	AM	F			Einsatz nur bei ruhigen Windverhältnissen			Entwicklungsauftrag
R-8	AM	F			Hubwerk bestehend aus Antrieb, Getriebe, Bremse und Seiltrieb			Entwicklungsauftrag
R-9	AM	W			Montage des Hubwerks auf vorgegebenen Rahmen (1500 mm x 1500 mm)		Zeichnung des Rahmens siehe Anhang 1	
R-10	AM	F			platzsparende Konstruktion			Entwicklungsauftrag
R-11	AM	F			Bestellte Stückzahl: 7000 Stück			Entwicklungsauftrag
R-12	AM	F			Masse der Arbeitsbühne: 110 Kg		Masse 1	Entwicklungsauftrag
R-13	AM	F			Maximale Tragkraft: 200 Kg		Masse 2	Entwicklungsauftrag
R-14	AM	F			Maximale Last: 310 Kg		Summe der Massen 1, 2	Berechnungen
R-15	AM	F			Hubgeschwindigkeit: 10 min/m +/- 5%			Entwicklungsauftrag
R-16	AM	W			Auslegung und Konstruktion der Betriebsbremse nach Fail-Safe-Prinzip			
R-17	AM	F			Seiltrieb: Zweiseiltragssystem aus Drahtseilen			
Funktionalanforderungen								
F-1					Antrieb:			
F-1-1	MM	F			8-poligen Asynchron-Drehstrommotor			
F-1-2	MM	F			Der Antrieb muss in der Lage sein, mindestens 125% der Betriebslast anzuheben und maximal 250%			DIN EN 1808:2015-8.3.1
F-1-3	MM	F	14.07.2019	MM	Benötigte Motorleistung von 506,85 W			Berechnungen
F-1-4	MM	F			Kraftübertragung formschlüssig			DIN EN 1808:2015-8.1.3
F-2					Getriebe:			
F-2-1	MM	F			Anschlussmöglichkeit des Getriebes an einen geeigneten 8-poligen Asynchron-Drehstrommotor		ergibt sich aus F-1-1	Entwicklungsauftrag
F-2-2	MM	F			Integration des Getriebes in die Seiltrommel		ergibt sich aus R-10	
F-2-3	MM	F	14.07.2019	MM	Gesamtübersetzung von 58,905			Berechnungen
F-3					Betriebsbremse:			
F-3-1	MM	F			Die Betriebsbremse muss selbstständig ansprechen bei Ausfall der Energieversorgung, bzw. bei Ausfall der Stromversorgung für den Steuerkreislauf			DIN EN 1808:2015-8.1.6.1
F-3-2	MM	F			Der mit Bemessungsgeschwindigkeit bewegte und mit der 1,25fachen max. Betriebslast beaufschlagte Fassadenaufzug muss in 10 cm zu stoppen sein			DIN EN 1808:2015- 8.1.6.3
F-3-3	MM	F			Bremsbeläge aus nichtbrennbaren Werkstoffen, durch Abdeckungen gegen das Eindringen von Schmiermitteln, Wasser, Staub u.s.w. schützen			DIN EN 1808:2015-8.1.6.4
F-3-4	MM	F			Bremswirkung durch Druckfedern: Diese müssen geführt sein und dürfen nicht mit mehr als 80% der elast. Torsionsgrenze des Werkstoffs belastet werden. Bandbremsen sind nicht zugelassen.			DIN EN 1808:2015-8.3.2.3
F-4					Seiltrieb:			
F-4-1	MM	F			Entwurf einer kompakten Seiltrommel		ergibt sich aus R-10 mit d als der Seilnenddurchmesser und H ≥ 20 für kraftbetriebene Hubwerke, H Durchmesserverhältnis von Umlenkrollen oder Trommelwinden	DIN EN 1808:2015-8.1.2
F-4-2	MM	F			Minstdurchmesser der Seiltrommel Dmin ≥ H · d			
F-4-3	MM	F			...			
Q					Qualitätsanforderungen			
Q-1	AM	W			Korrosionsbeständigkeit		Einsatz im Freien	
Q-2	AM	F			Lebensdauer des Hubwerks von mindestens 4000h bei 60000 Lastzyklen			
Q-3	AM	F			bei 1m Abstand maximale Lärmbelastung: ≤ 80dB			DIN EN 1808:2015-9.2.5.1

Abb. 8.7 Auszug aus der Anforderungsliste für das Hubwerk eines Fassadenaufzugs

und spezifische Anforderungen aufzuteilen (siehe Abschn. 8.2.2). Die übergreifenden Anforderungen gelten für das Gesamtprodukt und alle Komponenten und werden an alle Komponentenlastenhefte „vererbt“. Spezifische Anforderungen müssen für jede Komponente separat definiert werden.

Auf der Basis der o. g. Standards wird in Abb. 8.8 eine generische Lastenheftstruktur vorgeschlagen, die als Ausgangspunkt und Checkliste für mechatronische Produkte des Maschinen-, Anlagen- und Fahrzeugbaus geeignet ist. Für die spezifische Entwicklungsaufgabe sind gegebenenfalls nicht alle Punkte relevant und abhängig vom spezifischen Anwendungsfall müssen Anforderungskategorien ergänzt werden.

Übergreifende Anforderungen	Spezifische Anforderungen
<div><div>Allgemeine Projektvorgaben</div><div>Zielsetzung Organisation und organisatorische Abläufe Untelierantenmanagement Produktionsprozess- und Produktfreigabe Pflichtenheft Variantenmanagement Erprobungsmanagement Änderungsmanagement Allgemeiner Entwicklungs- und Lieferumfang</div></div>	<div><div>Allgemeine Projektvorgaben</div><div>Kurzbeschreibung des Entwicklungsumfangs Zielsetzung Zuordnung der Komponente Ausführungsbestimmungen Entwicklungs- und Lieferumfang Angebotsumfang Beschaffenheit und Haltbarkeit Entwicklungsablauf Qualität und Zuverlässigkeit</div></div>
<div><div>Terminplanung im Projekt</div><div>Berichtswesen und Dokumentation</div><div>Informationsaustausch Dokumentations- und Archivierungspflichten Priorität und Aktualität von Dokumenten Änderungsdokumentation und Teilelebenslauf Fahrzeugdokumentation Rückverfolgbarkeit Kennzeichnung von Teilen</div></div>	<div><div>Projektmanagement und -organisation</div><div>Verantwortlichkeiten im Projekt und Projektmanagement-Plan Dokumentation</div></div>
<div><div>Qualitätsanforderungen an die Produktgestaltung</div><div>Qualitätsmanagementsystem Präventive QM-Methoden und Risikoabsicherung Reifegradabsicherung in der Lieferkette Requalifikation Reklamationsbearbeitung Fehlermanagement</div></div>	<div><div>Systemumgebung</div><div>Funktionale Systemumgebung Physische Systemumgebung Systemschaltbild Mensch-Maschine Schnittstelle</div></div>
<div><div>Geheimhaltung</div><div>Produktdatenmanagement</div><div>CAX und EDM-Lieferantenintegration CAD-Anforderungen Stückliste und Dokumentationsmethode Referenzpunktsystem und Funktionsmaße Anforderungen an die Zeichnungserstellung</div></div>	<div><div>Technische Anforderungen</div><div>Benennung und Teile-Ident-Nr. Block- und Prinzipschaltbild Funktionen Steuergerätekonzept Schnittstellen (Daten, Stoffe, Energie) Spezifische Kenndaten Sicherheitsanforderungen Gewichtsziele Einbau und Montage Formgestaltung und Design Ergonomie Technische Materialanforderungen Medienbeständigkeit und chemische Anforderungen Umweltverträglichkeit Mechanische Anforderungen Lebensdauer Elektrische Anforderungen Elektromagnetische Verträglichkeit Elektrostatische Entladung Klimatische Anforderungen Serviceanforderungen Transportschutz Logistikanforderungen Qualitätssicherungsanforderungen</div></div>
<div><div>Umweltverträglichkeit</div><div>Recyclingkonzept Umwelteigenschaften der Werkstoffe Demontagekonzept</div></div>	<div><div>Erprobung, Absicherung und Inbetriebnahme</div><div>Prüfmittel und Erprobungsträger Prüfungen und Erfüllungsnachweise Prüfablaufplan, Virtuelle Erprobung und Simulation Testparameter und Zyklen Beschaffenheit des zu testenden Musterstandes Betriebszustände</div></div>
<div><div>Werkstoffspezifikation und Oberflächen</div><div>Werkstoffgebote und -verbote Allgemeine Werkstoffanforderungen Witterungsbeständigkeit Oberflächenschutz Korrosionsschutz</div></div>	
<div><div>Logistik-Anforderungen</div><div>Kundendienst- und Serviceanforderungen</div><div>Norm- und Wiederholteile</div><div>Definitionen, Begriffe, Abkürzungen</div><div>Mitgeltende Unterlagen</div></div>	

Abb. 8.8 Generische Lastenheftstruktur für Mechatronische Komponenten
links: übergreifende Anforderungen
rechts: spezifische Anforderungen

8.3 Software für das Arbeiten mit Anforderungen

Die Dokumentation der Anforderungen und das Erstellen der vorgenannten Dokumente werden mithilfe von Software Tools unterstützt. Einfache Office Anwendungen erleichtern das digitale Erfassen der Anforderungen und bieten eine Möglichkeit zur digitalen Sammlung und Bearbeitung in Form von Listen und Tabellen (vgl. Abschn. 8.2.1). Allerdings stößt das Arbeiten mit Anforderungen auf diesem Weg schon bei der Entwicklung von Systemen mit mittlerer Komplexität sehr schnell an praktische

Grenzen. Ein prozessbegleitendes und konsistentes Bearbeiten der miteinander in Wechselwirkung stehenden Einzelanforderungen ausschließlich mit Office-Funktionalitäten ist mit zunehmender Komplexität und Dynamik des Zielsystems daher nicht mehr durchführbar.

Auf dem Markt existiert eine Vielzahl von spezifischen Software Tools, die das Arbeiten mit Anforderungen unterstützen. Ihnen ist gemein, dass die Einzelanforderungen in einer Datenbank abgelegt werden und Dokumente wie das Lastenheft für ein bestimmtes Bauteil bzw. ein System mittels Export aus der Datenbank erstellt werden können. Allerdings müssen die Software Tools in der Regel an die unternehmensspezifischen Prozesse, an spezifische Schnittstellen, an Geschäfts- und Sicherheitsanforderungen angepasst werden. Moderne Anforderungsmanagement Software Tools verfügen über ein Workflow Management, mit dem die Verwaltung der Anforderungen in den Entwicklungsprozess und das Projektmanagement eingebunden werden kann.

Im Folgenden wird beschrieben, wie die grundlegenden Aktivitäten beim Arbeiten mit Anforderungen durch Software Tools unterstützt werden.

8.3.1 Anforderungen definieren und dokumentieren

In Software Systemen werden Anforderungen in Form von sogenannten Objekten in einer Datenbank erfasst und mit Attributen versehen. Attribute bestehen typischerweise aus drei Teilen: dem Attributtyp, der Attributdefinition und dem Attributwert. Der Attributtyp definiert den Informationstyp, den das Attribut speichern kann. Die Attributdefinition kann weitere Parameter für das Attribut festlegen. Beispielsweise kann die Attributdefinition Standardwerte bereitstellen oder den Bereich des eigentlichen Attributwerts einschränken. Für die in Abschn. 8.2.1 vorgestellte Anforderungsliste haben die Einzelanforderungen die Attribute *Identifikator ID*, *Verantwortliche Person*, *Priorität*, *Änderungsdatum*, *Bemerkung* und *Quelle der Anforderung*. In der Vorlage ist es möglich, die Attribute im Typ und in der Ausprägung zu spezifizieren und einen Default-Wert vorzugeben. Z. B. ist das Attribut *Bemerkung* vom Typ Text und im Attributwert wird der Inhalt der Bemerkung abgespeichert.

Um das Arbeiten mit Anforderungen durch Tools zu unterstützen, werden vordefinierte Vorlagen verwendet, die an die spezifischen Informationsstrukturen, Prozesse und Kontextfaktoren der jeweiligen Entwicklungsorganisation angepasst sind. Diese Vorlagen dienen auch der Strukturierung und Gliederung der Einzelanforderungen, z. B. nach der in Abschn. 7.3.1 dargestellten erweiterten Hauptmerkmalsliste. In der Datenbank werden die Gliederungsebenen ebenfalls als Objekte hinterlegt. Dabei bestehen mehrere Gliederungsmöglichkeiten, die parallel verwendet werden. Eine Gliederung erfolgt nach System-, Subsystem- und Komponentenanforderungen, wie in Abb. 8.2 dargestellt. Außerdem können Einzelanforderungen in Rahmenbedingungen, Funktionalanforderungen und Qualitätsanforderungen gegliedert werden (siehe Abb. 8.5). Die

jeweilige Gliederung stellt eine hierarchische Struktur dar und Attribute der Gliederung können als „Eltern-Kind-Beziehungen“ vererbt werden. Des Weiteren erleichtern Software Tools die Handhabung von Abhängigkeiten und unterstützen somit die Rückverfolgbarkeit. In einer klassischen Anforderungsliste wie in Abb. 8.7 gezeigt, wird eine vorhandene Abhängigkeit als Text in der Spalte *Bemerkung* dokumentiert (Anforderung F-2-1 ergibt sich aus F-1-1). Mithilfe eines Software Tools kann die Abhängigkeit mittels Verlinkung dokumentiert werden und Änderungen in der einen würden in der von ihr abhängigen Anforderung automatisch aufgezeigt.

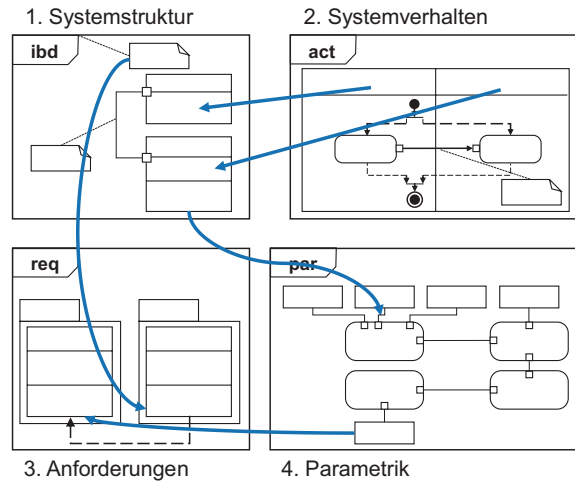
Anforderungen auf Systemebene, die Auswirkungen auf mehrere, miteinander in Wechselwirkung stehende Subsysteme haben, können mithilfe eines gemeinsamen Systemmodells dargestellt werden. Modellbasiertes Systems Engineering (MBSE) ist die formalisierte Anwendung der Modellierung zur Unterstützung von Systemanforderungen, Entwurfsanalysen, Verifizierungen und Validierungen. Zur Beschreibung eines Systemmodells ist eine geeignete Kombination aus Modellierungssprache, Methode und Software Tool zu wählen (Zingel 2013). Ansätze zur interdisziplinären Systemmodellierung wurden im Rahmen einer umfangreichen Studie von INCOSE (International Council on Systems Engineering) untersucht. Dabei wurde SysML als geeignete software-unabhängige, grafische Modellierungssprache identifiziert (Estefan 2007). SysML steht für Systems Modeling Language und basiert auf UML in der Version 2.0. Nach Anpassungen und Überarbeitungen wurde im April 2006 die SysML als Standard anerkannt und 2007 SysML 1.0 von der OMG (Object Management Group) offiziell veröffentlicht (OMG). Die Anforderungen an das System und die Relationen zu anderen Anforderungen werden in Anforderungsdiagrammen abgebildet. Einzelanforderungen an die Subsysteme und Komponenten lassen sich mit diesem Modell aus Systemanforderungen ableiten.

Relationen werden in SysML in vier verschiedenen Beziehungsebenen definiert: Systemstruktur, Systemverhalten, Anforderungen und Parametrik in Form von mathematischen Beziehungen (Friedenthal et al. 2014). In Abb. 8.9 sind die Beziehungsebenen grafisch dargestellt. Anforderungen sind ein integraler Bestandteil des Systemmodells. Systemmodelle ermöglichen über die grafische Repräsentanz hinaus eine automatisierte Korrelation der Systemartefakte (blaue Pfeile in Abb. 8.9) (Weilkiens 2008).

Die möglichen Beziehungsarten sind in Tab. 8.1 aufgelistet (Dick et al. 2017; Weilkiens 2008). Diese werden in SysML und auch in RM-Software Tools verwendet. Änderungen in der Systemstruktur oder im Systemverhalten haben direkte Auswirkungen auf die Anforderungen und werden, da sie im Systemmodell hinterlegt sind, von der Software automatisch erkannt und transparent gemacht.

Als Beispiel ist hier das bereits in Abb. 8.7 diskutierte Hubwerk eines Fassadenaufzugs zur Reinigung von Hausfassaden aufgeführt. In Abb. 8.10 ist das Anforderungsdiagramm auf oberster Ebene für die Rahmenbedingungen gezeigt. Der Übersichtlichkeit wegen wurden nur die Attribute Identifikation und der beschreibende Text dargestellt. Die Informationen aus dem Anforderungsdiagramm lassen sich leicht in eine Tabellenform überführen, wie in Tab. 8.2 gezeigt. Die Tabellenansicht zeigt jedoch nicht die Abhängigkeiten.

Abb. 8.9 Generische Darstellung der vier Beziehungsebenen mit Verlinkung. (eigene Darstellung in Anlehnung an Weikiens 2008)



Damit der Austausch von Informationen zwischen dem Systemmodell und der RM Software störungsfrei funktioniert, muss die Schnittstelle zwischen beiden Werkzeugen klar definiert sein und Regeln für die Synchronisation der Daten müssen vorab vereinbart sein. So werden die Attribute im Systemmodell den Attributen in der RM Software zugeordnet. Eine Regel könnte beinhalten, dass nur Attribute mit mindestens dem Status *Ready for Review* synchronisiert werden.

8.3.2 Anforderungen ändern, versionieren und rückverfolgen

Im Laufe des Produktentwicklungsprozesses müssen Anforderungen angepasst oder revidiert werden und das häufig mehrfach und in allen Phasen des Produktentwicklungsprozesses. RM Software Tools stellen Funktionen bereit, die sowohl die Historie einer Anforderung über zahlreiche Versionen als auch die Rückverfolgbarkeit der Auswirkungen von veränderten Anforderungen ermöglichen. Wenn eine Anforderung verändert wird, sollten die Auswirkungen der Änderungen geklärt und geänderte Attribute versioniert werden. Um die Transparenz zu erhöhen, werden Anforderung mit einem Attribut „Status“ versehen, der beispielsweise folgende Stati vorsieht: *Draft*, *Ready for Review*, *To Be Revised*, *Released* (VDA 2007). In einem Attribut „Kommentar“ können Begründungen zur Änderung festgehalten werden. Der Verlauf der Änderungen wird in einer Historie abgespeichert. Die notwendigen Entscheidungsprozesse im Unternehmen können damit wirksam unterstützt werden.

Tab. 8.1 Beziehungsarten

Beziehungsart/Relation	Beschreibung
Derive Requirement Relationship	Lässt sich eine Anforderung von einer anderen Anforderung ableiten, wird ihre Relation als „Derive Requirement Relationship“ bezeichnet. Sie ist von der abgeleiteten Anforderung auf die ursprüngliche Anforderung gerichtet und wird mit „deriveReq“ gekennzeichnet.
Namespace Containment	Ist eine Anforderung in einer anderen Anforderung enthalten, spricht man von „Namespace Containment“.
Satisfy Relationship	Wird eine Anforderung von einem Designelement erfüllt, handelt es sich um eine „Satisfy Relationship“. Sie ist vom Designelement zur Anforderung gerichtet und wird mit „satisfy“ gekennzeichnet.
Copy Relationship	Ist eine Anforderung eine Kopie einer anderen Anforderung, wird die Beziehung zwischen diesen als „Copy Relationship“ bezeichnet. Sie ist von der Kopie zum Original gerichtet und wird mit „copy“ gekennzeichnet.
Verify Relationship	Kann eine Anforderung durch einen Test verifiziert werden, spricht man von „Verify Relationship“. Sie ist vom Test auf die zu verifizierende Anforderung gerichtet und wird mit „verify“ gekennzeichnet.
Test Case	Ein Test Case definiert einen Fall, der überprüft, ob das betrachtete System die Anforderung erfüllt.
Refine Relationship	Wird eine Anforderung durch weitere Anforderungen/ Modellelemente detaillierter beschrieben, so spricht man von „Refine Relationship“. Sie ist von der verfeinerten/ detaillierteren Anforderung/Modellelement auf die zu verfeinernde/allgemeinere Anforderung gerichtet und wird mit „refine“ gekennzeichnet.
Trace Relationship	Besteht eine Beziehung zwischen einer Anforderung und einem beliebigen Modellelement, handelt es sich um eine „Trace Relationship“, vorausgesetzt, ein Fall von Traceability liegt vor. Sie wird mit „trace“ gekennzeichnet. Sie ist beispielsweise von einer funktionalen Anforderung auf eine nicht-funktionale Anforderung gerichtet.

Abb. 8.11 zeigt die grafische Oberfläche einer RM Software. Rechts im Bild ist das Eigenschaftsfenster (Properties) aufgeklappt. Im Reiter „Discussion“ kann der Entscheidungsprozess zur Änderungshistorie nachverfolgt werden. Im Reiter „Versions“ lassen sich alle Änderungen nachverfolgen. Bei Bedarf können auch ältere Versionen der Anforderung angezeigt und Änderungen zur aktuellen Version kenntlich gemacht werden.

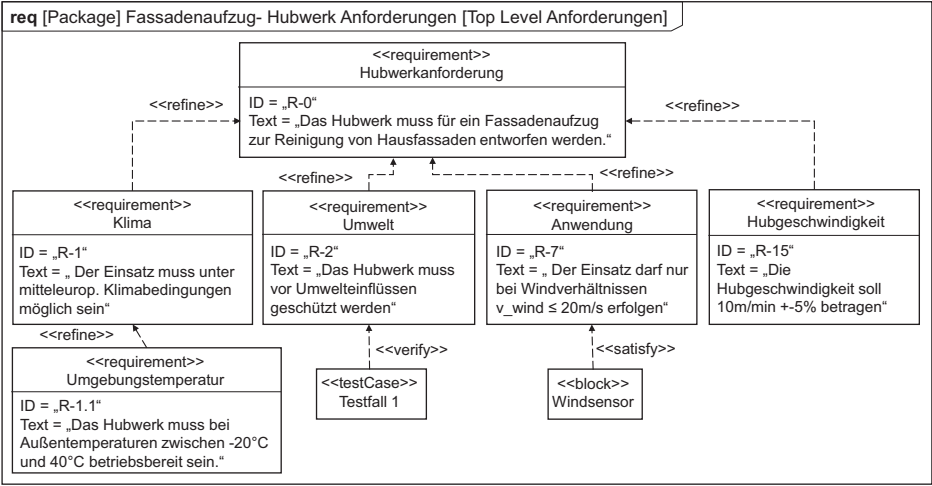


Abb. 8.10 SysML Darstellung der Anforderungen für die Rahmenbedingungen des Fassadenaufzugs

Tab. 8.2 Tabellarische Form der Anforderungen aus der SysML Darstellung

ID	Titel	Text
R-0	Hubwerkanforderung	Das Hubwerk muss für ein Fassadenaufzug zur Reinigung von Hausfassaden entworfen werden
R-1	Klima	Der Einsatz muss unter mittel-europ. Klimabedingungen möglich sein
R-1.1	Umgebungstemperatur	Das Hubwerk muss bei Außentemperaturen zwischen –20 °C und 40 °C betriebsbereit sein
R-2	Umwelt	Das Hubwerk muss vor Umwelteinflüssen geschützt werden
R-4	Anwendung	Der Einsatz darf nur bei ruhigen Windverhältnissen erfolgen
R-15	Hubgeschwindigkeit	Die Hubgeschwindigkeit soll 10 m/min + –5 % betragen

Im Kontext des Requirements Engineering wird die Rückverfolgbarkeit (Traceability) über die Beziehungen zwischen unterschiedlichen Objekten auf derselben Ebene ermöglicht oder über die verschiedenen Ebenen (System, Sub-System, Komponente) hinweg. D. h., es handelt sich um Eltern-Kind-Beziehungen, bei der Eltern eine Vielzahl von Kindern, aber Kinder auch eine Vielzahl von Eltern haben können (N-M-Beziehungen). RM Software Tools unterstützen die Dokumentation dieser Beziehungen typischer Weise durch einfache „Drag-and-Drop“ Funktionalitäten, wobei die Richtungsabhängigkeit zu beachten ist. „Traces“ werden auf die Informationen zurückgeführt, auf die sie reagieren (Dick et al. 2017).

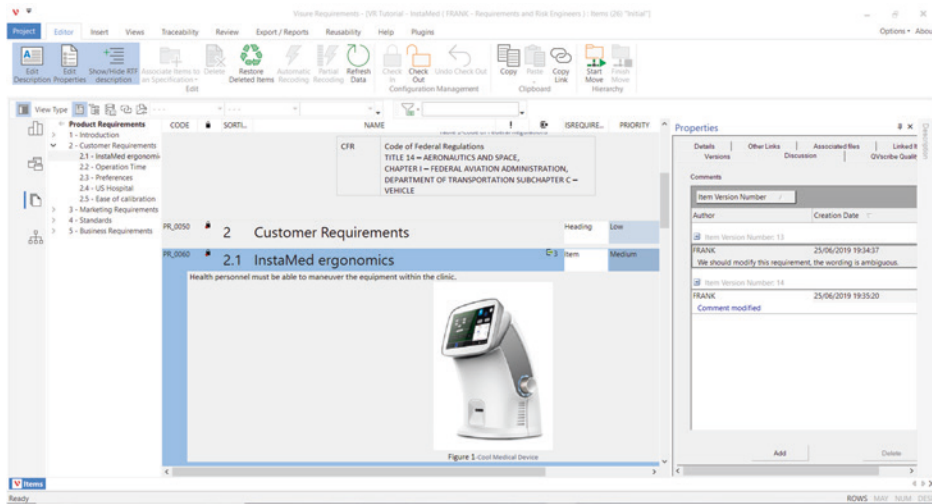


Abb. 8.11 RM Software *Visure Solutions*, GUI mit Diskussionsfenster (rechts im Bild)

Die konsequente Umsetzung der Rückverfolgbarkeit in Entwicklungsprojekten ist allerdings mit hohen Erfassungskosten verbunden. So sind zum Beispiel in der Automobilindustrie mehrere zehntausend Anforderungen und daraus resultierend große Mengen an sich potenziell beeinflussenden Design-Artefakten, Quellcodes, und Testfällen durchaus üblich (Houdek 2013). Verschiedene Entwicklungsartefakte wie Anforderungen, CAD-Modelle, Quellcode oder Testprotokolle werden häufig mit individuellen Werkzeugen erstellt und verwaltet. Viele dieser Werkzeuge sind nicht interoperabel und erlauben deshalb keine übergreifende Rückverfolgbarkeit. Daten aus heterogenen Werkzeugen müssen zunächst aufwendig homogenisiert werden. Daher sollte die Tiefe der Rückverfolgbarkeit sorgfältig geplant werden und mittels geeigneter Traceability Software unterstützt werden (Egyed et al. 2009). In diesem Zusammenhang ist es darüber hinaus wichtig, die Veränderung von Anforderungen auch mit dem Änderungsprozess (siehe Kap. 20) zu verzahnen. Die RM Software und der RM Workflow sollten möglichst nahtlos in die Software Tools zum Projekt- und Änderungsmanagement integriert sein.

8.3.3 Anforderungen kommunizieren und über Schnittstellen austauschen

Der Nutzen der heute am Markt erhältlichen Software Tools beschränkt sich nicht nur auf die Unterstützung des unternehmensinternen Requirements Engineering und Management, sondern fördert auch die Zusammenarbeit zwischen Herstellern und Lieferanten durch eine systemgestützte Abstimmung und Aktualisierung der Anforderungen.

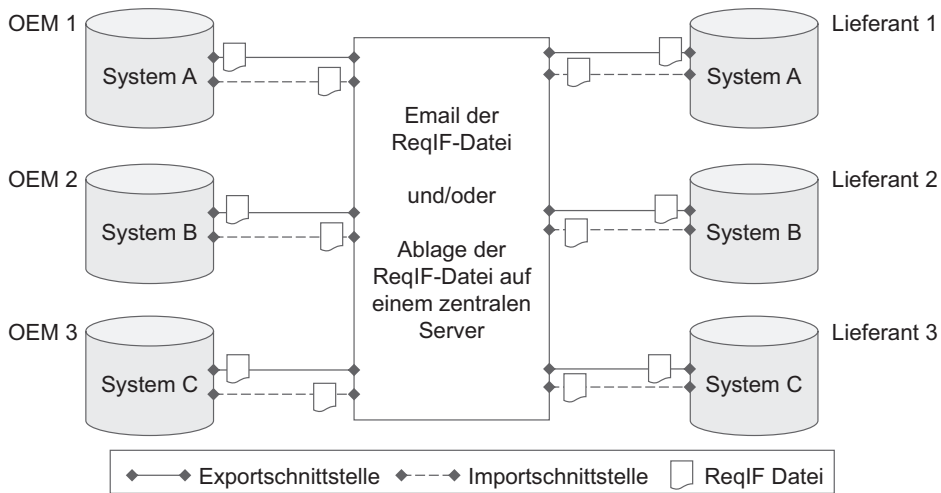


Abb. 8.12 Austausch von Anforderungen mittels ReqIF-Standard (VDA 2007)

Damit die Kommunikation zwischen Hersteller (OEM) und Lieferant zu jeder Zeit gewährleistet ist und nicht durch die Anwendung unterschiedlicher Software Tools eingeschränkt wird, ist eine standardisierte Schnittstelle erforderlich, welche die Attribute über ein standardisiertes Format beschreibt. Ein solches Format bietet das Requirements Interchange Format (ReqIF), welches ursprünglich im Rahmen eines Konsortiums aus deutschen Automobilherstellern entwickelt wurde. Der ReqIF -Standard ist ein toolunabhängiges, xml-basiertes und frei verfügbares Austauschformat für Anforderungen und wurde mithilfe realer Austauschszenerarien entwickelt (VDA 2007). Das ReqIF Format wurde an das internationale Konsortium OMG übergeben und wird dort stetig weiterentwickelt. Zum Austausch von Anforderungen müssen die Software Tools beim OEM und Lieferanten über ReqIF Import und Exportschnittstellen verfügen. Ein beispielhafter Austausch mittels ReqIF ist in Abb. 8.12 dargestellt.

Literatur

- Bender, K. (2005). *Embedded Systems: Qualitätsorientierte Entwicklung*. Berlin: Springer.
- Dick, J., Hull, E., & Jackson, K. (2017). *Requirements engineering* (4. Aufl.). Switzerland: Springer.
- Egyed, A., Grünbacher, P., Heindl, M., & Biffl, F. (2009). Value-based requirements traceability: Lessons learned. Design requirements engineering: A ten-year perspective (=Lecture Notes in Business Information Processing) (Nr. 14, S. 240–257). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-92966-6_14. (springer.com). Zugriffen: 18. Dez. 2016). ISBN 978-3-540-92965-9.

- Estefan, J. A. (2008). Survey of model-based systems engineering (MBSE) methodologies. *IncoSE MBSE Focus Group*, 25(8), 1–12.
- Friedenthal, S., Moore, A., Steiner, R., & Steiner, R. (2014). *A practical guide to SysML: The systems modeling language* (3. Aufl.). Amsterdam: Elsevier.
- Houdek, F. (2013). Managing large scale specification projects. *19th Intl. Working Conference on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality*. Essen, Germany.
- OMG. <https://www.omg.org/spec/SysML/About-SysML/>. Zugegriffen: 17. Aug. 2019.
- VDA. (2007). *Automotive VDA-Standardvorlage Komponentenlastenheft* (1. Aufl.). Frankfurt a. M.: Henrich Druck + Medien GmbH & Co. KG.
- VDI-Richtlinie 2206. (2004). *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*. Berlin: Beuth.
- VDI-Richtlinie 2221. (2019a). *Entwicklung technischer Produkte und Systeme*. Düsseldorf: VDI.
- VDI-Richtlinie 2221. (2019b). *Blatt 2 Entwicklung technischer Produkte und Systeme - Gestaltung individueller Produktentwicklungsprozesse*. Düsseldorf: VDI.
- VDI-Richtlinie 2519. (2001a). *Blatt 1 Vorgehensweise bei der Erstellung von Lasten-/Pflichtenheften*. Düsseldorf: VDI.
- VDI-Richtlinie 2519. (2001b). *Blatt 2 Lastenheft/Pflichtenheft für den Einsatz von Förder- und Lagersystemen*. Düsseldorf: VDI.
- VDI-Richtlinie 4500. (2006). *Technische Dokumentation*. Düsseldorf: VDI.
- VDI/VDE-Richtlinie 3694. (2014). *Lastenheft/Pflichtenheft für den Einsatz von Automatisierungssystemen*. Düsseldorf: VDI.
- Weikiens, T. (2008). *Systems Engineering mit SysML-UML: Modellierung, Analyse, Design*. Heidelberg: dpunkt.
- Zingel, C. (2013). *Basisdefinition einer gemeinsamen Sprache der Produktentwicklung im Kontext der Modellbildung technischer Systeme und einer Modellierungstechnik für Zielsystem und Objektsystem technischer Systeme in SysML auf Grundlage der ZHO Prinzipis* (Bd. 70)., IPEK Forschungsberichte Karlsruhe: IPEK.