

Sebastian Schmidt

**Erweiterte Anwendungsfallmodellierung (e-AFM)
– Ein Beitrag zur nutzerzentrierten Entwicklung
von Power-Tools**

Advanced Use Case Modeling (e-AFM) –
A Contribution to the User-Centered Development of
Power Tools

Band 114

Systeme ■ Methoden ■ Prozesse

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. A. Albers
Univ.-Prof. Dr.-Ing. S. Matthiesen
(Hrsg.)

Copyright: IPEK ▪ Institut für Produktentwicklung, 2018
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft
Alle Rechte vorbehalten

Druck: Stolzenberger Druck und Werbung GmbH & Co. KG, Leimen
06224-7697915

ISSN 1615-8113

Erweiterte Anwendungsfallmodellierung (e-AFM) – Ein Beitrag zur nutzerzentrierten Entwicklung von Power-Tools

Zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften
der Fakultät für Maschinenbau
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

genehmigte
Dissertation

von

Dipl.-Ing. Sebastian Schmidt
aus Kirchheim am Neckar

Tag der mündlichen Prüfung: 26. November 2018

Hauptreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. S. Matthiesen

Korreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Meboldt

Vorwort der Herausgeber

Wissen ist einer der entscheidenden Faktoren in den Volkswirtschaften unserer Zeit. Der Unternehmenserfolg wird mehr denn je davon abhängen, wie schnell ein Unternehmen neues Wissen aufnehmen, zugänglich machen und verwerten kann. Die Aufgabe eines Universitätsinstitutes ist es, hier einen wesentlichen Beitrag zu leisten. In den Forschungsarbeiten wird ständig Wissen generiert. Dieses kann aber nur wirksam und für die Gemeinschaft nutzbar werden, wenn es in geeigneter Form kommuniziert wird. Diese Schriftenreihe dient seit mehr als 20 Jahren als eine Plattform zum Transfer und macht damit das Wissenspotenzial aus aktuellen Forschungsarbeiten am IPEK - Institut für Produktentwicklung Karlsruhe* am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) verfügbar. Die Forschung des IPEK ist dabei strukturiert in die Kategorien Systeme, Methoden und Prozesse, um so der Komplexität heutiger Produktentwicklung ganzheitlich gerecht zu werden. Erst die Verknüpfung dieser drei Kategorien ermöglicht die Synthese innovativer Systeme durch Nutzung neuester Methoden und Prozesse. Gleichzeitig werden durch die Systemsynthese die erforschten neuen Methoden und Prozesse validiert und deren Mehrwert für die Praxis abgesichert. Dieses Forschungskonzept prägt nicht nur das IPEK-Leitbild sondern auch den Charakter dieser Schriftenreihe, da immer alle drei Kategorien und deren Wechselwirkungen berücksichtigt werden. Jeder Band setzt hier individuelle Schwerpunkte und adressiert dabei folgende Forschungsgebiete des IPEK:

- das Entwicklungs- und Innovationsmanagement,
- die Entwicklungs- und Konstruktionsmethodik,
- der Leichtbau von der Ebene des ganzen Systems bis hinunter zur Optimierung des Bauteils,
- die Validierung technischer Systeme auch unter Berücksichtigung der NVH Aspekte (Noise, Vibration, Harshness) mit dem Fokus auf Schwingungen und Akustik an Komponenten und in den Gesamtsystemen sowie deren subjektiver Beurteilung durch den Menschen,
- die Antriebssystemtechnik mit den Schwerpunkten komplette Antriebslösungen für Fahrzeuge und Maschinen,
- das Design, die Tribologie und Erprobung von Kupplungen und Bremsen sowie
- die Gerätetechnik mit dem Schwerpunkt auf Power-Tools.

Die Forschungsberichte stellen Ergebnisse unserer Forschung sowohl anderen Wissenschaftlern als auch den Unternehmen zu Verfügung um damit die Produktentwicklung in allen ihren Facetten mit innovativen Impulsen zu optimieren.

Albert Albers und Sven Matthiesen

* Eh.: Institut für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau, Universität Karlsruhe (TH)

Vorwort zu Band 114

Vorherzusehen wie der spätere Nutzer mit einem zu entwickelnden Produkt umgehen wird, ist für die Entwicklung von Produkten essentiell! Das ist schwierig, oft nur stochastisch vorhersagbar und häufig Grund für Produktflops, Reklamationen und Rückrufaktionen.

Gerade bei Produkten, in denen das technische System in direkter Wechselwirkung mit dem Produktnutzer steht, ist die Berücksichtigung des späteren Umgangs mit dem Produkt besonders wichtig. Stark ausgeprägt sind diese Wechselwirkungen bei professionellen Power Tools wie beispielsweise Bohrhämmer, Schlagschrauber, Kettensägen oder Winkelschleifern, da hier der Anwender im Leistungsfluss des technischen Systems steht und einen erheblichen Einfluss auf die Funktionserfüllung hat. Die Funktionserfüllung eines Power Tools hängt davon ab, von welchem Anwender in welcher Anwendung und unter welchen Umgebungsbedingungen das System eingesetzt wird. Die Produktentwicklung muss nutzerzentriert erfolgen.

Nutzerzentrierte Produktentwicklungsansätze stellen die Erwartungen und Anforderungen des Nutzers ins Zentrum der Produktentwicklung. Seit vielen Jahren werden solche Ansätze unter User Centered Design, Design Thinking oder Usability Ansätzen erforscht und angewandt. Die Beschreibung der Nutzung des späteren Produktes geschieht heute meist semantisch und nur in seltenen Fällen durch quantitative, gemessene Größen. So äußern auch von Herrn Dipl.-Ing. Sebastian Schmidt im Rahmen seiner Forschungsarbeit befragte Experten, dass sie Anwender aus ihrem Kundenstamm stark in die Entwicklungsprojekte einbinden, dass aber zu wenig quantitative Daten durch Verwendung geeigneter Messtechnik beim Kunden erhoben werden können.

Eine quantitative Beschreibung der Anwendungsfälle eröffnet dem Konstrukteur neue Möglichkeiten in der nutzerzentrierten Konstruktion und bei der Überprüfung der Passgenauigkeit des technischen Systems zum Produktnutzer. Heute verfügbare Messtechnik, die während der Produktnutzung am Produkt und Produktnutzer eingesetzt werden kann, eröffnet neue Chancen der quantitativen Beschreibung des Nutzungsverhaltens.

Dieser Thematik widmet sich die von Herrn Dipl.-Ing. Sebastian Schmidt vorgelegte Forschungsarbeit. Sie beschreibt die Methodik „erweiterte Anwendungsfallmodellierung“, die das Ziel hat, das Nutzungsverhalten von Power Tools zu identifizieren, zu messen, zu beschreiben und für die Produktenwicklung nutzbar zu machen. Es gilt aus den beobachteten und vermessenen Nutzungsverhalten und weiteren repräsentativen Tätigkeiten Anforderungen an die zu entwickelnden Produkte abzuleiten. Für die Nutzungsanalyse, die die Grundlage der erweiterten Anwendungsfallmodellierung darstellt, werden mehrere von Herrn Sebastian Schmidt entwickelte Methoden zur Datenerhebung vorgestellt. Eine besondere Herausforderung ist die Verarbeitung dieser Daten. Dazu hat

Herr Sebastian Schmidt eine „Analyse-GUI“ zur Auswertung der aufgezeichneten Daten entwickelt. Mit Hilfe der „Analyse-GUI“ können verschiedene Messdaten kombiniert und zeitsynchron dargestellt werden wie z. B. Messdaten und Fotos der Probanden, Videos der Anwendung aus unterschiedlichen Perspektiven, gemessene Gelenkwinkel und Körperpositionen aus Motion Tracking sowie Pulssignale, GPS-Positionsdaten, Beschleunigungs- und Drehzahldaten kombiniert mit Beschleunigungsdrehzahldaten der verwendeten Produkte.

Die Beschreibung von repräsentativen, anforderungsdefinierenden Anwendungsfällen lehnt Sebastian Schmidt an Definitionen und Vorgehensweisen der Softwareentwicklung und Modellbildung mit SysML an. Die existierenden Beschreibungen sind auf informationstechnische Systeme ausgerichtet. Diese werden im Rahmen der Forschungsarbeit weiterentwickelt, um beispielsweise Bewegung des Anwenders, Arbeitsweisen und Arbeitshaltung abzubilden.

Mit der vorgelegten Arbeit gelingt es Herrn Sebastian Schmidt, deutlich über die klassischen Modellierungsansätze hinauszugehen. Er kombiniert zwei klassische Modellierungsansätze und schließt eine Lücke in der Anwendungsfallmodellierung durch Methoden der Identifikation und Beschreibung des Nutzungsverhaltens unter Einsatz von Messtechnik. Ihm gelingt es dabei, Anwendungsfälle über Messtechnik quantitativ beschreibbar zu machen und die Ergebnisse in den Prozess der Produktentwicklung einzuordnen und damit nutzbar zu machen. Damit wird ein wertvoller Forschungsbeitrag zu nutzerzentrierten Entwicklungsansätzen geleistet, die auch für Unternehmen von großer Bedeutung sind und die Anstrengungen der Nutzerorientierung in der Produktentwicklung und deren Erfolg positiv beeinflussen.

Dezember 2018

Sven Matthiesen

Kurzfassung

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wird die Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (e-AFM) entwickelt. Die Methodik unterstützt Produktentwickler bei der nutzerzentrierten Entwicklung von Power-Tools.

In vielen Anwendungen stehen technische Systeme in direkter Beziehung mit dem Menschen oder wechselwirken mit ihm. Besonders stark sind diese Wechselwirkungen bei handgehaltenen Geräten, sogenannten Power-Tools. Bei Power-Tools hängt die Funktionserfüllung stark von dem Nutzungsverhalten ab – von welchem Anwender, in welcher Anwendung, unter welchen Umweltbedingungen und mit welchem Arbeitsziel es genutzt wird. Daher sollte das Nutzungsverhalten möglichst umfänglich erfasst, beschrieben und für die Produktentwicklung nutzbar gemacht werden. Das Nutzungsverhalten kann bei der realen Benutzung von Power-Tools beobachtet werden. Aus dem Nutzungsverhalten lassen sich Anforderungen und quantifizierbare Messgrößen für die Produktentwicklung inklusive der Validierung ableiten. Um eine Vergleichbarkeit über mehrere Anwender zu erreichen, muss das Nutzungsverhalten geclustert, abstrahiert und in Anwendungsfälle (generalisierte Tätigkeiten) überführt werden. Anwendungsfälle können mit der Systems Modeling Language (SysML) modelliert werden. Allerdings besteht Forschungsbedarf, um die Modellierungssprache, der Entwicklungspraxis von Power-Tools anzupassen.

Auf Basis des Stands der Forschung wird eine initiale Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (e-AFM) entwickelt. Die Methodik besteht aus drei Phasen mit Aktivitäten und unterstützenden Methoden. Die e-AFM-Methodik geht über die klassischen Modellierungsansätze hinaus. Sie kombiniert die Top-Down mit der Bottom-up-Modellierung und stellt Entwicklern Methoden sowie Handlungsempfehlungen zur Verfügung, um das Nutzungsverhalten bei der Power-Tool-Benutzung zu erfassen, zu beschreiben und zu analysieren. Um die Methodenentwicklung bestmöglich auf die Bedürfnisse von Power-Tool-Entwicklern auszurichten, werden Interviews mit Experten sowie eine projektbegleitende Fallstudie durchgeführt. Basierend auf den daraus gewonnenen Erkenntnissen wird die Methodik weiterentwickelt und in zwei Fallbeispielen validiert.

Abschließend wird im Ausblick aufgezeigt, wie die Forschung in dem Forschungsfeld der Anwendungsfallmodellierung weitergeführt werden kann.

Abstract

Within this thesis, the methodology of extended use case modelling (e-UCM) is developed. It supports product developers by user-centered development of power tools.

In many applications, technical systems interacting directly with the user. These interactions are particularly strong in hand-held devices, so-called power tools. In the case of power tools (e.g. chainsaws, angle grinders or brush cutters), the performance of the overall system depends on the user, the application, the environmental conditions and the objectives. Therefore, the usage behaviour should be identified, described and made usable for the product development. The usage behaviour can be observed during the real usage of power tools. The usage behaviour helps to derive requirements for the product development including the validation. In order to allow comparability between several users, the context-specific usage behaviour must be clustered and abstracted in order to translate it into generalized use cases. Use cases can be modelled by using the Systems Modelling Language (SysML). However, there is research needed to adapt the modelling language to the development practice of power tools.

Based on the state of the art, an initial methodology for extended use case modelling (e-UCM) will be developed. The methodology consists of three phases with activities and methods. The e-UCM methodology exceeds classical modelling approaches. It combines top-down with bottom-up modelling techniques and provides methods and recommendations to capture, describe, and analyse usage behaviour. In order to adjust the methodology to the needs of Power Tool developers, interviews with experts and a project study will be conducted. Based on the findings, the methodology will be improved and validated in two case studies.

Finally, the outlook highlights how future research in the field of use case modelling can be carried forward.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen, der mich durch die mir übertragene Verantwortung, das mir entgegengebrachte Vertrauen und die Gestaltungsfreiräume wissenschaftlich, fachlich und persönlich in großem Maße vorangebracht hat.

Für die Übernahme des Korreferats bedanke ich mich ganz herzlich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mirko Meboldt, der mir wichtige Impulse für die Arbeit gegeben hat.

Dem gesamten IPEK-Team möchte ich für die kollegiale und konstruktive Atmosphäre danken, die mich stets motiviert und inspiriert hat. Insbesondere den aktuellen sowie den ehemaligen Kolleginnen und Kollegen des Maschinenbauhochhauses möchte ich meinen Dank aussprechen. Die wissenschaftlichen und nichtwissenschaftlichen Gespräche, die Unterstützung in fachlichen wie auch organisatorischen Angelegenheiten haben mich meinem Ziel nähergebracht. Darüber hinaus haben mir die Brettspiele-Abende und Kicker-Turniere mit euch immer sehr viel Freude bereitet.

Ein besonderer Dank gilt Thomas Nelius, für seine Unterstützung und die Motivation das Beste aus mir heraus zu holen.

Ganz herzlich danken möchte ich Nicolas Reiß, Rene Germann, Kevin Hölz, Jan Breitschuh und Nikola Bursac für die anregenden Forschungsgespräche.

Dank geht außerdem an alle Projektpartner und Studienteilnehmer sowie an alle studentischen Abschlussarbeitern und hilfswissenschaftlichen Mitarbeitern, die ich im Laufe der Jahre betreuen durfte. Sie alle haben zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Mein größter Dank gilt meiner Familie – meiner Freundin Kerstin sowie meinen Eltern Ursula und Rainer. Ihr habt mir die notwendigen Freiräume zur Realisierung dieser Arbeit verschafft, mich all die Jahre unterstützt, aber auch von Zeit zu Zeit davon abgelenkt. Hierfür bedanke ich mich von ganzem Herzen.

Kirchheim am Neckar, den 15.12.2018

Sebastian Schmidt

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Fokus und Ziele der Arbeit.....	3
1.2	Struktur der Arbeit	3
2	Grundlagen und Stand der Forschung	6
2.1	Interdisziplinäre Entwicklung	6
2.1.1	Interdisziplinäre Power-Tool Entwicklung.....	6
2.1.2	Modellbasierte Entwicklung	8
2.2	Grundlagen zu Anwendungsfällen (use cases).....	13
2.2.1	Modellierungsansätze Top-Down und Bottom-up	16
2.2.2	Beschreibungsformen von Anwendungsfällen	17
2.2.3	Fehlbedienungen (misuse cases)	21
2.2.4	Bewertung von Anwendungsfällen.....	22
2.2.5	Detaillierungsebenen von Anwendungsfällen	23
2.2.6	Szenario vs. Anwendungsfall.....	25
2.2.7	Anwendungsfall 2.0	27
2.2.8	Fazit	28
2.3	Nutzerzentrierte Produktentwicklung	30
2.3.1	Produktentwicklungsansätze Design Thinking und User-Centered Design	31
2.3.2	„Anwender“ vs. „Nutzer“ vs. „Kunde“.....	35
2.3.3	Ergonomie und User Experience (UX).....	36
2.3.4	Fazit	40
2.4	Validierung in der Gerätebranche.....	40
2.4.1	Das IPEK-XiL-Validierungsframework	41
2.4.2	Validierung im Kontext von Power-Tools	42
2.4.3	Studien in der Gerätebranche Feld vs. Labor	47
2.4.4	Fazit	48
2.5	Methoden der Anwendungsfallermittlung.....	49
2.5.1	Artefakt-basierte Methoden.....	49
2.5.2	Kreativitätsmethoden	51
2.5.3	Methoden der Nutzersimulation	53
2.5.4	Beobachtungsmethoden.....	54
2.5.5	Befragungsmethoden	55
2.5.6	Methoden und Messtechnik zum Messen in der Anwendung.....	56
2.5.7	Fazit	65
2.6	Fazit zum Stand der Forschung.....	66
3	Motivation und Zielsetzung der Arbeit	68
3.1	Motivation.....	68

3.2	Zielsetzung.....	69
4	Forschungsdesign	71
4.1	Forschungsfragen	71
4.2	Forschungsvorgehen.....	74
5	Experten-Interview	76
5.1	Studiendesign und Auswertemethodik.....	76
5.1.1	Der Interviewleitfaden.....	76
5.1.2	Durchführung und Auswertung der Interviews	77
5.2	Ergebnisse aus dem Experten-Interview	78
5.3	Fazit	84
6	Entwicklung einer initialen Methodik zur Anwendungsfallmodellierung	85
6.1	Anwendungsfälle im Kontext der Produktentwicklung.....	85
6.2	Phasen der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (e-AFM)	90
6.3	Fazit	93
7	Anwendung der initialen Methodik.....	94
7.1	Studiendesign.....	94
7.2	Projektdurchführung	94
7.2.1	Vorstellung eines Freischneiders	95
7.2.2	Anwendungsfall-Analyse	95
7.2.3	Identifikation des Nutzungsverhaltens	96
7.2.4	Dokumentation des Nutzungsverhaltens.....	98
7.2.5	Analyse des Nutzungsverhaltens.....	99
7.3	Diskussion.....	104
7.4	Fazit Fallstudie	105
8	Weiterentwicklung der Methodik zur erweiterten Anwendungsfallmodellierung .106	
8.1	Phasen und Aktivitäten der weiterentwickelten Methodik.....	106
8.2	Anwendungsfall-Analyse	109
8.2.1	Aktivität Systemgrenze definieren.....	110
8.2.2	Aktivität Systemkontext identifizieren und analysieren	112
8.2.3	Aktivität Stakeholder identifizieren und analysieren	113
8.2.4	Aktivität Anwendungsfälle identifizieren und analysieren	119
8.2.5	Fazit	122
8.3	Nutzungs-Analyse	123
8.3.1	Aktivität Nutzungsverhalten identifizieren.....	124
8.3.2	Aktivität Nutzungsverhalten dokumentieren	130
8.3.3	Aktivität Nutzungsverhalten analysieren	134
8.3.4	Fazit	143
8.4	Modellierung von Anwendungsfällen	144

8.4.1	Aktivität Anwendungsfälle beschreiben.....	145
8.4.2	Aktivität Anwendungsfälle detaillieren.....	147
8.4.3	Aktivität Nutzungsverhalten generalisieren	149
8.4.4	Aktivität Nutzungsverhalten mit Anwendungsfällen vernetzen	150
8.4.5	Fazit	152
8.5	Regeln und Empfehlungen zur Methodikanwendung.....	154
8.5.1	Regeln und Empfehlungen für die Anwendungsfall-Analyse	154
8.5.2	Regeln und Empfehlungen für die Anwendungsfallmodellierung	154
8.5.3	Empfehlungen für die Nutzungs-Analyse	155
8.6	Fazit zur Methodenentwicklung	157
9	Anwendung und Validierung der Methodik	159
9.1	Fallbeispiel: Winkelschleifer.....	159
9.1.1	Vorstellung eines Winkelschleifers.....	159
9.1.2	Anwendungsfall-Analyse	160
9.1.3	Nutzungs-Analyse	165
9.1.4	Fazit	168
9.2	Fallbeispiel Lehrveranstaltung Gerätekonstruktion	169
9.2.1	Studiendesign.....	170
9.2.2	Ergebnisse	171
9.2.3	Fazit	171
9.3	Fazit zur Anwendung und Validierung der Methodik.....	172
10	Zusammenfassung und Ausblick.....	175
10.1	Zusammenfassung.....	175
10.2	Ausblick.....	177
11	Literaturverzeichnis	179
12	Betreute Abschlussarbeiten	196
13	Abbildungsverzeichnis	197
14	Anhang.....	200
14.1	Methodenübersicht zur Identifikation von Anwendungsfällen und des Nutzungsverhaltens.....	200
14.2	Leitfaden für Experten-Interviews	201
14.3	PT-Systemkontext-Template	206
14.4	PT-Stakeholder-Vorlage	207
14.5	PT -Persona-Vorlage.....	208
14.6	PT-Anwendungsfall-Vorlage.....	211
14.7	PT-Erfassungsbogen inkl. Selbsteinschätzung.....	212
14.8	Ergebnisse aus den Fallbeispielen	224
14.9	Datenaufbereitung Analyse-GUI.....	226

Glossar

Anwenderverhalten (Power-Tool): Das Anwender- oder Nutzerverhalten beschreibt das Verhalten eines Anwenders bei der Nutzung eines Power-Tools.¹

Anwendungsfall (MBSE): „Ein Anwendungsfall (engl. use case) beschreibt eine Menge von Aktionen eines Systems, die zu einem beobachtbaren Ergebnis führen, welches typischerweise für die Akteure oder Stakeholder einen Wert hat.“² Der Akteur interagiert mit dem System, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Der Anwendungsfall wird normalerweise so benannt, wie das Ziel aus Sicht des Akteurs heißt. Bei der Zielerreichung laufen eine Folge von Aktionen ab. Der Anwendungsfall bündelt diese Abläufe (Szenarien).³ Dabei kann in Abhängigkeit von dem Ergebnis und den Randbedingungen zwischen Haupt-, Alternativ- und Fehlerszenario unterschieden werden.⁴

Anwendungsfall (Power-Tools): Ein Anwendungsfall im Kontext von Power-Tools beschreibt, auf eine generalisierte Art und Weise, die Tätigkeiten (Menge von Aktionen) die mit einem Power-Tool durchgeführt werden oder durchgeführt werden könnten. Die Tätigkeiten werden mit einem bestimmten Ziel durchgeführt, es empfiehlt sich den Anwendungsfall wie das Ziel zu benennen. Anwendungsfälle können aus dem Nutzungsverhalten abgeleitet oder anhand von Anwendungswissen definiert werden.⁵

Anwendungsstudien sind Untersuchungsmethoden der Marktforschung. Sie dienen dem Aufbau von Anwendungswissen. Im Rahmen dieser Arbeit werden unter Anwendungsstudien insbesondere Studien „im Feld“ (in der natürlichen Umgebung des Anwenders) verstanden.⁶

Anwendungswissen: Anwendungswissen bezeichnet das Wissen über die Benutzungssituationen eines Power-Tools. Nicht wie man ein Power-Tool benutzt,

¹ In Anlehnung an die Definition Fahrerverhalten nach Schneider, J. H. 2010, S.24

² Weilkiens T. 2014, S.231

³ In Anlehnung an microTOOL GmbH 2018

⁴ In Anlehnung an DIN EN 62559-1

⁵ Eigene Definition

⁶ vgl. Jordan, F. & Vataman, J. 2018

sondern wie die Anwender ein Power-Tool nutzen, welches Nutzungsverhalten die Anwender besitzen.⁷

Betrachtungsraum: Der Betrachtungsraum legt die Systemgrenze fest und sollte alle für das Entwicklungsziel relevanten Anwendungen, Anwender, Umgebungs- und Einflussbedingungen beinhalten.⁸

Consumables: Consumables sind Verbrauchsmaterialien, welche in Verbindung mit einem Power-Tool genutzt werden.⁹

Methode: „[Eine Methode] kennzeichnet die Beschreibung eines regelbasierten und planmäßigen Vorgehens, nach dessen Vorgabe bestimmte Tätigkeiten auszuführen sind, um ein gewisses Ziel zu erreichen.“¹⁰

Methodik: Als Methodik wird die Kombination unterschiedlicher Einzelmethoden verstanden.¹¹

Nutzungsverhalten (Power-Tool): Das Nutzungsverhalten beschreibt das Verhalten des Gesamtsystems bestehend aus Anwender, Power-Tool und Umwelt. Das Nutzungsverhalten kann bei der realen Benutzung von Power-Tools beobachtet werden. Es ist abhängig vom Anwender, dem verwendeten Power-Tool, der Umwelt und dem Arbeitsziel.¹²

Power-Tool-Verhalten: Das Power-Tool-Verhalten beschreibt das Verhalten, wie das Power-Tool auf die Interaktion mit einem Anwender oder auf Störungen reagiert.¹³

Systemgrenze: „Die Systemgrenze separiert ein geplantes System von seiner Umgebung. Sie grenzt den im Rahmen des Entwicklungsprozesses gestaltbaren und

⁷ Eigene Definition

⁸ Eigene Definition

⁹ Eigene Definition

¹⁰ Lindemann, U. 2009, S. 58

¹¹ In Anlehnung an die Definition Methodik nach Lindemann, U. 2009, S. 58 f.

¹² In Anlehnung an die Definition Fahrverhalten nach Schneider, J. H. 2010, S.24

¹³ In Anlehnung an die Definition Fahrzeugverhalten nach Zomotor, A. 199

veränderbaren Teil der Realität von Aspekten in der Umgebung ab, die durch den Entwicklungsprozess nicht verändert werden können.“¹⁴

Umgebung: Die Umgebung umgibt ein System. Es findet allerdings keine gegenseitige Beeinflussung statt.¹⁵

Umwelt: Die Umwelt (auch Systemkontext genannt) beinhaltet alle äußeren Faktoren, die auf ein System einwirkt und damit seinen Zustand beeinflussen. Dabei findet eine gegenseitige Beeinflussung statt.¹⁶

Verhalten: Als Verhalten wird die Reaktion eines Systems auf konkrete Einflussgrößen (Kräfte, Energie, Stoff, Information) in einem bestimmten Zeitraum verstanden.¹⁷

¹⁴ Pohl und Rupp 2011, S. 24

¹⁵ vgl. Albers, A. et al. 2016

¹⁶ vgl. Albers, A. et al. 2016

¹⁷ In Anlehnung an Zingel, C. 2013 S.24

1 Einleitung

„In vielen Anwendungen stehen technische Systeme in direkter Beziehung mit dem Menschen oder wechselwirken mit ihm. Besonders stark sind diese Wechselwirkungen bei handgehaltenen Geräten, sogenannten Power-Tools.“¹⁸ Power-Tools wie beispielsweise Bohrhämmer, Schlagschrauber, Freischneider oder Winkelschleifer zeichnen sich dadurch aus, dass sich der Anwender im Informations- und im Leistungsfluss mit dem Power-Tool befindet und einen erheblichen Einfluss auf die Funktionserfüllung besitzt¹⁹. Die Funktionserfüllung hängt stark davon ab, von welchem Anwender, in welcher Anwendung und unter welchen Umweltbedingungen das Gerät eingesetzt wird²⁰. Aus den Wechselwirkungen zwischen Anwender, Power-Tool und Umweltbedingungen können Anforderungen für die Entwicklung und Validierung von Power-Tools abgeleitet werden. Da Power-Tools je nach Anwendung, Anwender, Branche und Arbeitsziel unterschiedlich eingesetzt und beansprucht werden, ist es häufig herausfordernd alle Einsatzzwecke und Belastungskollektive zu identifizieren oder vorherzusehen. Auch die Gerätehersteller betreiben einen großen Aufwand, um den Power-Tool-Anwender und dessen Anforderungen an das Gerät möglichst umfänglich zu verstehen. So werden beispielsweise umfangreiche Anwendungsstudien oder Befragungen durchgeführt, um diese Anforderungen abzuleiten²¹. Aus diesen Untersuchungen kann ein detailliertes Verständnis über das Nutzungsverhalten gewonnen, und quantifizierbare Messgrößen für die Entwicklung und Testfälle für die Validierung abgeleitet werden. Als Nutzungsverhalten wird dabei das Verhalten des Gesamtsystems bestehend aus Anwender, Power-Tool und Umwelt verstanden. Das Nutzungsverhalten kann bei der realen Benutzung von Power-Tools beobachtet werden. Es ist abhängig vom Anwender, dem verwendeten Power-Tool, der Umwelt und dem Arbeitsziel. Das Nutzungsverhalten kann in sogenannte Anwendungsfälle unterteilt werden. Ein Anwendungsfall im Kontext von Power-Tools beschreibt, auf eine generalisierte Art und Weise, die Tätigkeiten (Menge von

¹⁸ Matthiesen S. et al. 2016c, S.223

¹⁹ vgl. Schmidt, S. et al. 2015

²⁰ vgl. Matthiesen, S. et al. 2013b

²¹ Robert Bosch GmbH 2017, S. 1

Aktionen) die mit einem Power-Tool durchgeführt werden oder durchgeführt werden könnten. Die Tätigkeiten werden mit einem bestimmten Ziel durchgeführt, es empfiehlt sich den Anwendungsfall wie das Ziel zu benennen. Anwendungsfälle können aus dem Nutzungsverhalten abgeleitet oder anhand von Anwendungswissen definiert werden.²² Durch den Einsatz von Anwendungsfällen kann die reale Benutzung effizient in der Produktentwicklung abgebildet werden. Anwendungsfälle können in Abhängigkeit eines Entwicklungsziels in Testfälle überführt werden, welche als Grundlage für die Validierung dienen (vgl. Abbildung 1-1).



Abbildung 1-1: Schemadarstellung - vom realen Nutzungsverhalten zur Validierung²³

Für die Entwicklung von kundenorientierten und erfolgreichen Produkten ist es wichtig, dass ein Entwickler die Anwendung, Arbeitsabläufe, Einsatzorte und Randbedingungen der realen System-Benutzung sowie gegebenenfalls auftretende Fehlbedienungen kennt oder vorausdenkt, um daraus die relevanten Anforderungen für die Entwicklung abzuleiten²⁴. Häufig muss hierfür ein Detailverständnis aufgebaut werden, denn „gut konstruieren kann nur, wer die Details versteht“²⁵. Bisher gibt es in der Gerätebranche keinen Standard für die methodische Identifikation und Beschreibung des Nutzungsverhaltens und die Überführung in Anwendungsfälle. Eine Beschreibung erfolgt meist individuell und findet nicht domänenübergreifend statt. Daher ist eine Nachvollziehbarkeit kaum möglich. Der Komplexität heutiger Produktentstehung kann jedoch nur durch eine Nachvollziehbarkeit der Anforderungen und einer kontinuierlichen Validierung begegnet werden²⁶.

²² Eigene Definition

²³ Bildquelle: Matthiesen, S. et al. 2018a; Matthiesen, S. et al. 2018b; www.ipek.kit.edu

²⁴ vgl. Schmidt, S. et al. 2015, S.2

²⁵ Matthiesen, S. 2017, S.1

²⁶ vgl. Ebel, B. 2015, S.2

1.1 Fokus und Ziele der Arbeit

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung einer Methodik zur Anwendungsfallmodellierung, die den Herausforderungen heutiger interdisziplinärer Produktentstehungsprozesse gewachsen ist. Hierzu zählen insbesondere eine vernetzte, nachvollziehbare und situationsangepasste Modellierung des Nutzungsverhaltens. Dabei muss die Methodik den Entwickler bei einer effizienten Identifikation und Beschreibung des Nutzungsverhaltens von Power-Tools und der Überführung in Modelle unterstützen. Weiterhin soll sie auf möglichst einfachen Regeln und Handlungsempfehlungen basieren, die dynamisch angewendet werden können. Als Methodik wird im Rahmen dieser Arbeit eine strukturierte Vorgehensweise mit Phasen und Aktivitäten bezeichnet, welche Einzelmethode zur Unterstützung der Anwendungsfallmodellierung kombiniert²⁷. Die Methodikentwicklung ist auf die Bedürfnisse der Entwicklung von professionellen Power-Tools ausgerichtet. Die Übertragbarkeit der Methodik auf andere Branchen wird jedoch angestrebt. Somit leistet diese Arbeit einen Beitrag zur Karlsruher Schule der Produktentwicklung (KaSPro), welche die Forschung am Ansatz der PGE – Produktgenerationsentwicklung, Entwicklungs- und Validierungsmethoden vereint.

1.2 Struktur der Arbeit

Die Forschungsarbeit ist entsprechend Abbildung 1-2 in zehn Kapitel eingeteilt, die im Folgenden kurz vorgestellt werden. Um das genannte Ziel zu erreichen, baut die Arbeit auf den erforderlichen Grundlagen auf und bezieht dabei den aktuellen Stand der Forschung ein (vgl. Kapitel 2). Hierbei werden Schwerpunkte auf die interdisziplinäre Entwicklung, den Grundlagen zu Anwendungsfällen, der nutzerzentrierten Produktentwicklung, der Validierung in der Power-Tool-Branche und Methoden der Anforderungsermittlung gelegt. Daraus leitet sich in Kapitel 3 die Motivation und Zielsetzung der Arbeit ab. In Kapitel 4 werden aus der Zielsetzung die zu behandelnden Forschungsfragen abgeleitet und das methodische Forschungsvorgehen zur Beantwortung der Fragen beschrieben. Aufbauend auf der Zielsetzung und den Forschungsfragen werden in Kapitel 5 die Ergebnisse aus Interviews mit Experten aus der Gerätebranche dargelegt. Aus der geschärften Bedarfsermittlung

²⁷ In Anlehnung an die Definition Methodik nach Lindemann, U. 2009, S. 58 f.

findet in Kapitel 6 die Entwicklung einer initialen Methodik statt. Die Methodik wird in einer projektbegleitenden Fallstudie validiert, kontinuierlich mit den beteiligten Entwicklern diskutiert und Potentiale für die Weiterentwicklung abgeleitet (vgl. Kapitel 7). Die gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Weiterentwicklung der Methodik ein (vgl. Kapitel 8). Anschließend wird die Methodik im Rahmen zweier Fallbeispiele angewendet, sowie vor dem Hintergrund der durchgeführten Untersuchungen diskutiert (Kapitel 9). Kapitel 10 fasst die Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Forschungsaktivitäten.

Kapitel 1: Einleitung			
Kapitel 2: Grundlagen und Stand der Forschung			
Interdisziplinäre Entwicklung	Nutzerzentrierte Produktentwicklung	Methoden der Anwendungsfallermittlung	
Grundlagen zu Anwendungsfällen	Validierung in der Gerätebranche		
Kapitel 3: Motivation und Zielsetzung			
Motivation		Zielsetzung	
Kapitel 4: Forschungsdesign			
Forschungsfragen		Forschungsvorgehen	
Kapitel 5: Experteninterview in der Gerätebranche			
Studiendesign und Auswertemethodik		Ergebnisse	
Kapitel 6: Entwicklung einer initialen Methodik			
Anwendungsfälle im Kontext der Produktentwicklung		Phasen der erweiterten Anwendungsfallmodellierung	
Kapitel 7: Anwendung der initialen Methodik			
Studiendesign	Projektdurchführung	Diskussion	
Kapitel 8: Weiterentwicklung der Methodik			
Phasen der Methodik	Nutzungs-Analyse	Modellierung von Anwendungsfällen	Regeln und Empfehlungen
Kapitel 9: Anwendung und Validierung			
Fallbeispiel Winkelschleifer		Lehrveranstaltung Gerätekonstruktion	
Kapitel 10: Zusammenfassung und Ausblick			
Zusammenfassung		Ausblick	

Abbildung 1-2: Aufbau und Struktur der Arbeit

2 Grundlagen und Stand der Forschung

In diesem Kapitel werden die Grundlagen für diese Arbeit und der relevante Stand der Forschung darlegt. In Kapitel 2.1 wird zunächst ein Überblick über das Themengebiet der interdisziplinären Produktentwicklung gegeben. Kapitel 2.2 verdeutlicht die Grundlagen von Anwendungsfällen. In Kapitel 2.3 wird die nutzerzentrierte Produktentwicklung mit Fokus auf dem Anwender diskutiert. Im Anschluss daran wird in Kapitel 2.4 die Validierung in der Gerätebranche behandelt. Kapitel 2.5 geht auf Methoden der Anwendungsfallermittlung ein, bevor Kapitel 2.6 mit dem Fazit zum Stand der Forschung abschließt. Auf dieser Basis werden in Kapitel 3 die Motivation und die Zielsetzung dieser Arbeit abgeleitet.

2.1 Interdisziplinäre Entwicklung

2.1.1 Interdisziplinäre Power-Tool Entwicklung

Heutige Power-Tools wie beispielsweise Bohrhämmer, Schlagschrauber, Freischneider oder Winkelschleifer zeichnen sich dadurch aus, dass sie meist nicht mehr rein mechanische Systeme sind, sondern komplexe Mechanik, Sensorik und Elektronik vereinen. Daher sind für die Entwicklung von Power-Tools zunehmend interdisziplinäre Entwicklungsteams notwendig. Diese Teams werden durch agile Entwicklungsmethoden wie Design Thinking und User-Centered Design sowie modellbasierte Entwicklungsansätze unterstützt. In diesem Kapitel wird das Kompetenzprofil von interdisziplinär-agierenden Systemingenieuren dargelegt, welche für Entwicklung inklusive der Validierung und Modellbildung notwendig sind.²⁸ Für den Wohlstand in Deutschland und Europa sind die produzierende Industrie und der Export der entstandenen Produkte wesentliche Wirtschaftsfaktoren.²⁹ An die Entwickler dieser Produkte werden immer größere Anforderungen gestellt und es ist für einen einzelnen Entwickler nur noch selten möglich, den gesamten Produktentstehungsprozess zu überblicken³⁰. Die entwickelten Produkte sind heute meist mechatronische Systeme, die sich dadurch auszeichnen, dass sie aus mechanischen, elektronischen

²⁸ Die in diesem Kapitel dargestellten Untersuchungen wurden im Rahmen der Publikation Matthiesen, S. et al. 2015a veröffentlicht

²⁹ vgl. Dispan, J. 2016

³⁰ vgl. acatech 2012; Anderl R. et al. 2012

und informationstechnischen Teilsystemen bestehen, welche funktional zusammenarbeiten³¹.

Nach DISPAN ist die Industrie in Deutschland und Europa durch vielfältige strukturelle Veränderungen geprägt. Er führt auf, dass globale Megatrends wie beispielsweise Globalisierung, demografischer Wandel und Digitalisierung die Unternehmen der Metall- und Elektroindustrie vor große Herausforderungen stellen. Daneben sieht DISPAN speziell die Hersteller von Elektrowerkzeugen durch folgende Entwicklungstrends vor Herausforderungen gestellt: (1) zunehmende Nachfrage nach kundenspezifischen Lösungen, (2) smarte Power-Tools durch Industrie 4.0, (3) steigende Nachfrage nach Akku-Technologien. Allerdings hebt er auch die innovativen und qualitativ hochwertigen Elektrowerkzeuge im Profisegment sowie das umfassende Produktspektrum, als die spezifischen Erfolgsfaktoren für die Elektrowerkzeug-Branche in Deutschland hervor. Des Weiteren sind für ihn die starken Marken mit entsprechender Kundenbindung sowie die Nähe und das Verständnis zu dem anspruchsvollen Markt ein essenzieller Erfolgsfaktor.³²

Deutsche Unternehmen verfügen über eine hohe Kompetenz in der Entwicklung und der Produktion von Power-Tools und erzielen dadurch erhebliche Umsätze³². Um langfristig die Konkurrenzfähigkeit sicherzustellen, bedarf es einer ausreichenden Zahl qualifizierter Ingenieure, die in der Lage sind, mechatronische Produkte zu entwickeln und diese auch zu validieren. Es werden Ingenieure benötigt, die speziell für diese Herausforderungen ausgebildet sind. Von Mechatronikingenieuren und –Ingenieurinnen wird erwartet, dass sie mit breitem Allgemeinwissen und vertieftem Detailwissen, ergänzt durch hohe Methodenkompetenz, komplexe Fragestellungen mit innovativen Ansätzen lösen und so grundlegend neue Prozesse, Systeme und Produkte unter Nutzung von mechatronischen Synergiepotenzialen entwickeln.³³ Zudem werden ein vernetztes Denken und interdisziplinäres Verständnis erwartet. Die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech-Studie) sowie die Gesellschaft für Systems Engineering (GfSE) fordern daher, das Kompetenzprofil von Ingenieuren in Richtung eines „Systemingenieurs“³⁴ bzw. „Systemkonstruktors“³⁵ anzupassen. Dies

³¹ vgl. Ropohl, G. 2009

³² vgl. Dispan, J. 2016

³³ vgl. Rudolph, R. 2016, acatech 2012

³⁴ vgl. INCOSE Technical Operations 2013

³⁵ vgl. acatech 2012

stellt besondere Anforderungen an die akademische Ausbildung von Ingenieuren. Die Zeit der Generalisten ist aufgrund der notwendigen tiefen fachlichen Kenntnis innerhalb der Entwicklungsaufgabe vorbei. Auch ein Team von reinen Spezialisten kann Herausforderungen in der mechatronischen Produktentwicklung nicht lösen, da ihnen der Blick für den ganzheitlichen Systemzusammenhang schwerfällt. Es werden Systemingenieure und -ingenieurinnen mit einem sogenannten T-shaped Profil gefordert. T-shaped Ingenieure besitzen Spezialwissen auf einem Gebiet und haben ein darauf ausgerichtetes Breitenwissen³⁶. Für Mechatronik-Ingenieure bedeutet dies, dass sie Spezialwissen in einem der Disziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik oder Informationstechnik und daran gekoppeltes Breitenwissen besitzen. Dieses T-shaped Profil bildet die Verständnisgrundlage für den mechatronischen Produktentstehungsprozess³⁷, welche in der Power-Tool-Entwicklung immer stärker benötigt wird.

2.1.2 Modellbasierte Entwicklung

Um diese interdisziplinäre Systemmodellierung zu ermöglichen, sind eine domänenübergreifende Beschreibungssprache und interdisziplinäres Modellverständnis notwendig. Die Beschreibungssprache und das Modell müssen sowohl von Maschinenbau-, Elektrotechnik- als auch Informationstechnik-Ingenieuren verstanden werden. Zukünftig soll die modellbasierte Systementwicklung, mit der Sprache Systems Modeling Language (kurz SysML), als Beschreibungssprache die Kommunikationshürden zwischen verschiedenen Domänen überwinden und das Kommunikationsmittel für die domänenübergreifende Systembeschreibung sein.

Das Systems Engineering (SE) ist eine Methode zur ganzheitlichen Betrachtung und Entwicklung komplexer Systeme, mit dem Ziel, die interdisziplinäre Zusammenarbeit zu fördern. Bei heutigen Entwicklungsprojekten, die oftmals sehr umfangreich sein können, ist es, für eine einzelne Person meist nicht mehr möglich ein System vollständig zu überblicken. Allerdings ist es von enormer Bedeutung, dass alle Projektmitglieder ein einheitliches Verständnis über das Zielsystem haben, denn nur dann ist es möglich zu einer optimalen Gesamtlösung zu gelangen³⁸. In der

³⁶ vgl. Matthiesen, S. et al. 2017d, S.737 ff.

³⁷ vgl. acatech 2012b

³⁸ vgl. Weilkens, T. 2014

Systementwicklung (SE, engl. Systems Engineering) existiert die Vision, alle Entwicklungsergebnisse modellbasiert abzulegen. Dabei beschränkt sie sich nicht auf eine einzelne Projektphase, sondern betrachtet den gesamten Produktlebenszyklus, von der Entwicklung über die Fertigung, Nutzung, bis hin zur Rücknahme (vgl. Abbildung 2-1).

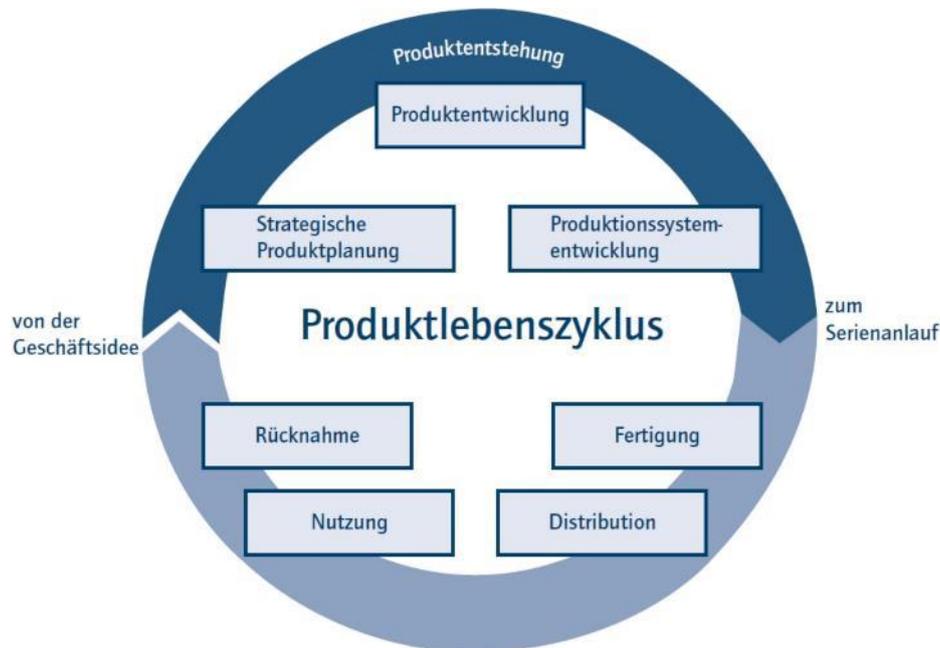


Abbildung 2-1: Produktentstehung als Teil des Produktlebenszyklus³⁹

Entscheidend beim Systems Engineering (SE) ist, dass nicht die Betrachtung einzelner Komponenten und Teilprobleme im Fokus stehen, sondern unter Berücksichtigung aller Schnittstellen ein ganzheitliches Systemverständnis aufgebaut wird. Es wird damit ein systematischer Top-Down Ansatz realisiert.⁴⁰ Das International Council on Systems Engineering (INCOSE) bezeichnet Systems Engineering als „[...] ein interdisziplinärer Ansatz der Methoden und Prozesse für die Realisierung von erfolgreichen Systemen zur Verfügung stellt [...]“⁴¹ und definieren ihn wie folgt:

Definition: Systems Engineering

„Systems Engineering ist ein interdisziplinärer Ansatz welcher die Entwicklung von Systemen methodisch ermöglichen soll. Systems Engineering fokussiert ein ganzheitliches und zusammenwirkendes

³⁹ Bildquelle: Gausemeier et al. 2000, S.19

⁴⁰ vgl. Petzold, K. 2015

⁴¹ vgl. Kaffenberger R. et al. 2012

Verständnis der Stakeholder-Anforderungen, der Entdeckung von Lösungsmöglichkeiten und der Dokumentation von Anforderungen sowie das Synthetisieren, Verifizieren, Validieren und die Entwicklung von Lösungen. Das gesamte Problem wird währenddessen von der Konzeptentwicklung bis zur Systementwicklung betrachtet. Das Systems Engineering stellt hierfür geeignete Methoden, Prozesse und Best Practices bereit.“⁴²

Systems Engineering wird seit den 50er Jahren insbesondere bei der amerikanischen Luft- und Raumfahrt eingesetzt. Allerdings sind die klassischen Methoden des Systems Engineerings papier- oder dokumentenbasiert⁴³. Aus dem Systems Engineering ging die modellbasierte Systementwicklung (MBSE, engl. Model-Based Systems Engineering) hervor. Der entscheidende Unterschied ist, dass das Model-Based Systems Engineering auf digitalen Systemmodellen basiert.⁴⁴ Model-Based Systems Engineering könnte sich als integrative Methode etablieren und eine Brücke zwischen den verschiedenen Ingenieurdisziplinen bilden.⁴⁵

Definition: Model-Based Systems Engineering (MBSE)

Model-Based Systems Engineering ist ein phasenübergreifender formalisierter Prozess um Anforderungsmanagement-, Entwicklungs-, Analyse-, Verifikations- und Validierungsaktivitäten zu unterstützen.⁴⁶

Das Ziel der MBSE-Förderer besteht darin, einen vollständig modellbasierten Entwicklungsprozess, zu schaffen⁴⁷. Dabei verfolgt die MBSE nicht das Ziel, die domänenspezifischen Methoden und Tools zu ersetzen, vielmehr den ganzheitlichen Systementwurf, und die Konsistenz zu unterschiedlichen Modellen sicherzustellen und geeignete Schnittstellen für fachspezifische Werkzeuge bereitzustellen. Model-Based Systems Engineering bietet das Potenzial, diese Herausforderungen zu bewältigen, indem ein einheitliches Systemverständnis durch ein Systemmodell als zentrales

⁴² Bursac 2016, S.6 aus INCOSE 2015, übersetzt nach Gausemeier J. et al. 2013

⁴³ vgl. Tavory, S. S. 2010, Eigner M. et al. 2012, Gausemeier J. et al. 2013

⁴⁴ vgl. Eigner M. et al. 2012

⁴⁵ vgl. Eigner M. et al. 2012

⁴⁶ vgl. INCOSE 2015

⁴⁷ vgl. Tavory, S. S. 2010

Element für alle Entwicklungsaktivitäten entwickelt wird⁴⁸. Im Kontext von MBSE ist zu beachten, dass der Erfolg eines Systemmodells maßgeblich von dem Modeling Triple anhängig ist: Dies sind (1) die Sprache, welche die für die Modellierung zur Verfügung stehenden Elemente definiert, (2) die Methode, welche die Schritte zur Erstellung des Modells anleitet und (3) das Tool, welches als (Software)-Werkzeug die Modellierung ermöglicht⁴⁹. LOHMEYER stellt fest, dass die SysML als bloße Sprache noch keinen hohen Nutzen erzielt, jedoch in Kombination mit geeigneten Modellierungsmethoden zielführend eingesetzt werden kann⁵⁰. MATTHIESEN ET AL. zeigt zudem auf, dass bestehende SysML-Lehrkonzepte, die Lernenden durch das gemeinsame Einführen von Sprache, Methode und Tool überfordern⁵¹.

In der Methodikentwicklung wird den Herausforderungen des Modeling Triples ebenfalls begegnet (vgl. Kapitel 8). Dabei liegt der Fokus auf Elementen zur Beschreibung von Anwendungsfällen (Sprache) sowie auf der Vorgehensweise (Methode). Diese Arbeit geht jedoch nur am Rande auf die softwaretechnische Modellierung von Anwendungsfällen ein. Als Modellierungssprache werden Elemente der System Modeling Language (kurz SysML) genutzt. Die SysML wurde von der Unified Modeling Language (kurz UML) abgeleitet und für die Modellierung technischer Systeme angepasst⁵². Hierfür stellt sie unterschiedliche Diagramme mit zugehörigen Modellelementen zur Verfügung:⁵³

- Mit **Strukturdiagrammen** (Blockdefinitionsdiagramm, interne Blockdiagramme, Zusicherungs- und das Paketdiagramm) kann der strukturelle Aufbau und die internen Wechselwirkungen von Systemen beschrieben werden.
- Mit **Verhaltensdiagrammen** (Aktivitäts-, Anwendungsfall-, Sequenz- und Zustandsdiagrammen) kann das funktionale Konzept (Funktionen und Zuständen) und Wechselwirkungen zwischen beispielsweise Anwender und dem technischen System abgebildet werden.
- **Anforderungsdiagramme** sind in der UML nicht vorhanden, sie wurden für die SysML neu definiert. Mit ihnen können Ziele, Anforderungen und

⁴⁸ vgl. Fraunhofer Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM 2018

⁴⁹ vgl. Albers, A. et al. 2016b

⁵⁰ vgl. Lohmeyer, Q. 2013 aus Scherer, H. 2016

⁵¹ vgl. Matthiesen, S. et al. 2014b

⁵² vgl. Kaffenberger R. et al. 2012

⁵³ vgl. Weilkens, T. 2014

Randbedingungen modelliert und mit den entsprechenden Modellelementen verknüpft werden.

Im Rahmen dieser Arbeit werden insbesondere Anwendungsfalldiagramme für die Modellierung von Anwendungsfällen genutzt, welche durch Aktivitäts- oder Zustandsdiagramme ausdetailliert werden (vgl. Kapitel 2.2.2.2). Für die Beschreibung des Systemkontexts (vgl. Kapitel 8.2.2) werden interne Blockdefinitionsdiagramme und für die Stakeholder-Analyse (vgl. Kapitel 8.2.3) Blockdefinitionsdiagramme genutzt. Zudem werden für die Ausdetaillierung und Beschreibung von Anwendungsfällen einige SysML-Beschreibungsarten weiterentwickelt und auf die Bedürfnisse von Power-Tool-Entwickler angepasst.

Da jeder Entwicklungsprozess einzigartig und individuell ist,⁵⁴ sind iterative und dynamische Ansätze in der Produktentwicklung immer stärker gefragt. Hierbei ist es notwendig, sowohl das Zielsystem als auch das Objektsystem kontinuierlich weiterzuentwickeln. Dies ist mit der System Modeling Language (SysML) möglich.⁵⁵ Zahlreiche Studien belegen den Mehrwert, den eine ganzheitliche Systemmodellierung schaffen kann.⁵⁶ Diese Studien weisen allerdings auch gleichzeitig darauf hin, dass eine ganzheitliche Systemmodellierung einen erheblichen Mehraufwand mit sich bringt.⁵⁷ EHRENSPIEL UND MEERKAMM heben die Notwendigkeit einer disziplinübergreifenden Systemmodellierung hervor, stellen jedoch gleichzeitig infrage, „ob eine Systems Modeling Language (SysML), die notwendigerweise sehr abstrakt sein muss, für das gemeinsame Entwickeln der Spezialisten so effektiv ist, dass es sich für sie lohnt, die Sprache zu lernen. Sie müsste Qualitäts- und Zeitvorteile bieten gegenüber dem jetzigen getrennten [Entwickeln].“⁵⁸ Hierdurch geht klar hervor, dass der Ansatz der SysML viele Potenziale für die interdisziplinäre Produktentwicklung bieten kann. Es sollte allerdings untersucht werden, wie die abstrakte Sprache der SysML effizient und zielführend in der Produktentwicklung und im Kontext der erweiterten Anwendungsfalldiagrammmodellierung eingesetzt werden kann.

⁵⁴ vgl. Albers A. 2010

⁵⁵ vgl. Bursac, N. 2016

⁵⁶ vgl. Matthiesen, S. et al. 2016b; Albers, A. et al. 2014

⁵⁷ vgl. Albers, A. & Zingel, C. 2013; Cloutier, R. & Bone, M. 2010

⁵⁸ Ehrlenspiel, K. & Meerkamm, H. 2016, S. 8

CATIC steht einer ganzheitlichen Modellierung bzw. Dokumentation eher skeptisch gegenüber. Er beschäftigt sich mit Wissensmanagement und sieht vor allem in der Nutzung und Wiederverwendung den Erfolgsfaktor anstatt in der Dokumentation von Wissen. Er vertritt die Ansicht, eher wenig Wissen zu dokumentiert, dieses allerdings zu nutzen, anstatt dem „Dokumentations-Tod“ zu verfallen⁵⁹. Bei der Entwicklung der Methode zur erweiterten Anwendungsfallmodellierung wird versucht einen Mittelweg zwischen der ganzheitlichen Modellierung von Anwendungsfällen und deren effektiven Wiederverwendung zu finden.

2.2 Grundlagen zu Anwendungsfällen (use cases)

In diesem Kapitel werden die Grundlagen von Anwendungsfällen (engl. use cases) und die Vorgehensweise der Anwendungsfallmodellierung dargelegt. Anwendungsfälle sind ein wichtiges Element der Modellierungssprache Unified Modeling Language (kurz UML) sowie der interdisziplinären Modellierungssprache System Modellig Language (kurz SysML) (vgl. Kapitel 2.1). Sie bilden die Grundlage für die Methodenentwicklung in Kapitel 8.

JACOBSON stellte 1987 erstmals sein Konzept von Anwendungsfällen als Methode für die Systemanalyse und -synthese vor. Jacobson nutzt sie, um die Funktionalität eines zu entwickelnden Systems auf der Basis einfacher Modelle zu untersuchen und beschreiben zu können. Für ihn beschreibt ein Anwendungsfall das nach außen sichtbare Verhalten eines Systems aus Sicht eines Nutzers.⁶⁰ Sie werden häufig als Hilfsmittel zur Anforderungsermittlung aus Anwendersicht verwendet und stellen abgeschlossene Abläufe dar, die zusammengenommen das Systemverhalten vollständig beschreiben.⁶¹ Anwendungsfälle werden bislang vorwiegend in der Informatik eingesetzt. Im Bereich des Maschinenbaus wird eher selten von Anwendungsfällen gesprochen (vgl. Kapitel 2.2.5). Nach KELTER sind Anwendungsfälle als Methode vielfach nur vage definiert, weshalb eine Vielzahl von Definitionen und Vorstellungen bestehen, was ein Anwendungsfall ist und wie eine

⁵⁹ vgl. Catic A. 2015

⁶⁰ vgl. Jacobson, I. 1998; Staud, S. 2010, S. 271

⁶¹ vgl. Jacobson, I. 1998

Anwendungsfallmodellierung systematisch erfolgen sollte.⁶² COCKBURN ermittelte mehr als 18 unterschiedliche Definitionen, welche sich in Zweck, Inhalt und Struktur unterscheiden.⁶³ Die UML Spezifikation von der Object Management Group® (OMG®) spezifiziert einen Anwendungsfall als eine Funktion (Menge von Aktionen), die von einem System mit einem gewissen Ergebnis ausgeführt werden, das üblicherweise von Bedeutung für einen Akteur oder Stakeholder ist⁶⁴. Nach ZINGEL beschreibt ein Anwendungsfall „zeitlich zusammenhängende und zielgerichtete logische Abfolge von Funktionen eines technischen Systems“⁶⁵. WEILKIENS und die DIN 62559-1 (Anwendungsfallmethodik Teil1-Entwurf) vereinen vieler dieser Definitionen und definieren einen Anwendungsfall im Sinne der MBSE wie folgt:

Definition: Anwendungsfall (MBSE Teil1/2)

„Ein Anwendungsfall (engl. use case) beschreibt eine Menge von Aktionen eines Systems, die zu einem beobachtbaren Ergebnis führen, welches typischerweise für die Akteure oder Stakeholder einen Wert hat.“⁶⁶

Des Weiteren ist in der Definition die Rede von Hauptszenarien sowie zugehörige Alternativ- und Ausnahmeszenarien. Auf diese Erweiterung wird in Kapitel 2.2.6 (S.27) im Detail eingegangen, woraus sich auch der zweite Teil der Definition eines Anwendungsfalls (MBSE) ableitet. Die Definition eines Anwendungsfall bei Power-Tools ist in Kapitel 2.4.2 (S.42) dargelegt.

Anwendungsfälle können in einem Anwendungsfall-Modell abgebildet werden. Abbildung 2-2 zeigt die Bestandteile eines Anwendungsfallmodells⁶⁷, die kombiniert eingesetzt werden können: Anwendungsfall-Diagramm mit Anwendungsfällen, Anwendungsfall-Beschreibungen in natürlicher oder formaler Sprache sowie zusätzliche verknüpfte Modell-Informationen.⁶⁸ Die Modell-Bestandteile sind über das Anwendungsfall-Modell miteinander vernetzt. Ein Anwendungsfall-Diagramm bietet

⁶² vgl. Kelter, U. 2013

⁶³ vgl. Cockburn, A. 2000

⁶⁴ vgl. SparxSystems Software GmbH 2015; Object Management Group 2018, S. 519

⁶⁵ vgl. Zingel, C. 2013 S.19 nach Weilkiens, T. 2014

⁶⁶ Weilkiens T. 2014, S.231

⁶⁷ vgl. Alt, O. 2012

⁶⁸ vgl. Pohl, K. und Rupp, C. 2011

meist nur eine sehr abstrakte und generische Sicht auf einen Anwendungsfall.⁶⁹ Es gibt vielmehr einen Überblick über die Anwendungsfälle eines Systems oder einer Systemkomponente und stellt die Akteure und deren Beteiligung an den Anwendungsfällen grafisch dar.⁷⁰ Die einfache und reduzierte Darstellung eines Anwendungsfall-Diagramms wird dafür geschätzt, dass sie selbst von ungeschulten Lesern einfach verstanden werden kann und schnell einen Einblick in die Beschreibung ermöglicht.⁷¹

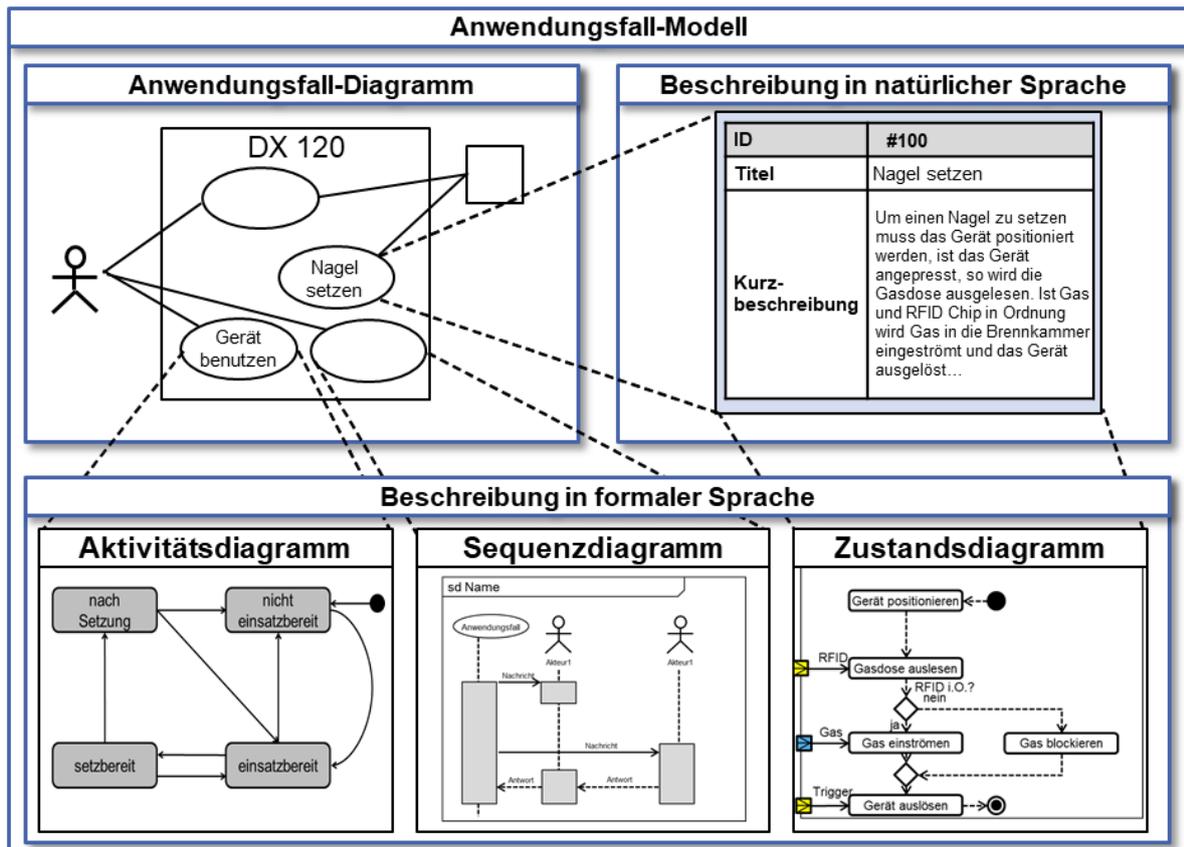


Abbildung 2-2: Anwendungsfallmodell

Als Notation für Anwendungsfälle wird in dieser Arbeit die Notation gemäß der SysML Spezifikation Version 1.4⁷² verwendet. Abbildung 2-3 verdeutlicht die wichtigsten Elemente eines Anwendungsfall-Diagramms. Ein Anwendungsfall wird als Ellipse mit einem Titel dargestellt. Anwendungsfälle werden aus Anwendersicht formuliert. Die

⁶⁹ vgl. Rupp, C. und Sophisten 2014

⁷⁰ vgl. Sikora, E. 2011

⁷¹ vgl. Hauber, R. 2007

⁷² vgl. OMG 2015

Benennung sollte eindeutig sein und mindestens aus einem Subjekt und einem Verb bestehen⁷³. Neben den Anwendungsfällen werden auch die Akteure eingezeichnet die mit den Anwendungsfällen in Beziehung stehen. Dabei werden die Anwendungsfälle in Verbindung mit einem Akteur gesetzt, welcher diesen ausführt. Dadurch wird erkennbar, welcher Akteur, welche System-Funktionen verwendet.

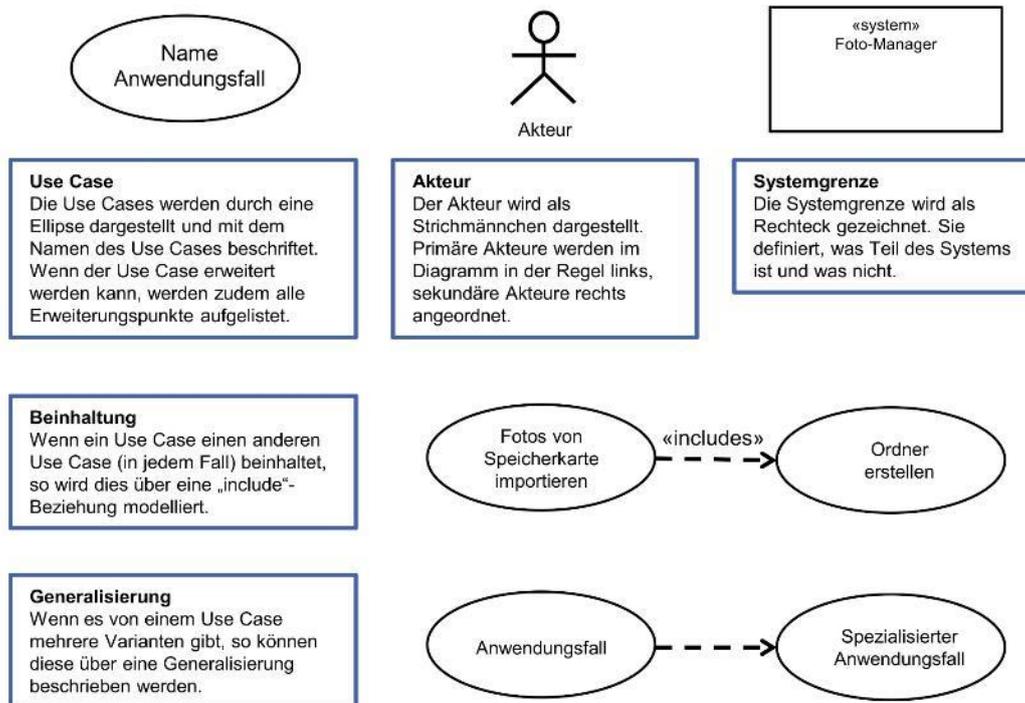


Abbildung 2-3: Grundelemente eines Anwendungsfall-Diagramms⁷⁴

2.2.1 Modellierungsansätze Top-Down und Bottom-up

Für die Modellierung von Anwendungsfällen gibt es zwei Modellierungsansätze – Top-Down und Bottom-up (vgl. Abbildung 2-4). Die klassischen Methoden der Anwendungsfallmodellierung gehen in der Regel Top-Down vor. Dabei arbeitet man sich vom Abstrakten zum Konkreten vor, man beginnt mit dem Schaffen eines Überblicks über das System, Details werden vernachlässigt. Es ist ein Ansatz, welcher zu weiten Teilen auf bereits vorhandenes Wissen zurückgreift. Anwendungsfälle werden vorwiegend überlegt und nicht durch Interaktion mit dem Anwender beispielsweise durch Anwendungsstudien ermittelt. Es werden Akteure und Anwendungsfälle identifiziert, beschrieben und ein Anwendungsfallmodell erstellt. Bei der Bottom-up-Modellierung arbeitet man vom Konkreten zum Abstrakten, man beginnt mit dem Detail

⁷³ vgl. Cockburn, A. 2003

⁷⁴ Bildquelle: in Anlehnung an Moser, C. 2012, S.95; vgl. OMG 2015

und generiert daraus einen Überblick. In der Mikrosystementwicklung werden die beiden Ansätze bereits kombiniert. MÜLLER-GLASER nennt die kombinierte Vorgehensweise den meet-in-the-middle oder both-against-the-middle-Ansatz und führt auf, dass die Entwicklung eines Systementwurfs Top-Down geschieht und die Komponenten-Entwicklung Bottom-up erfolgt.⁷⁵

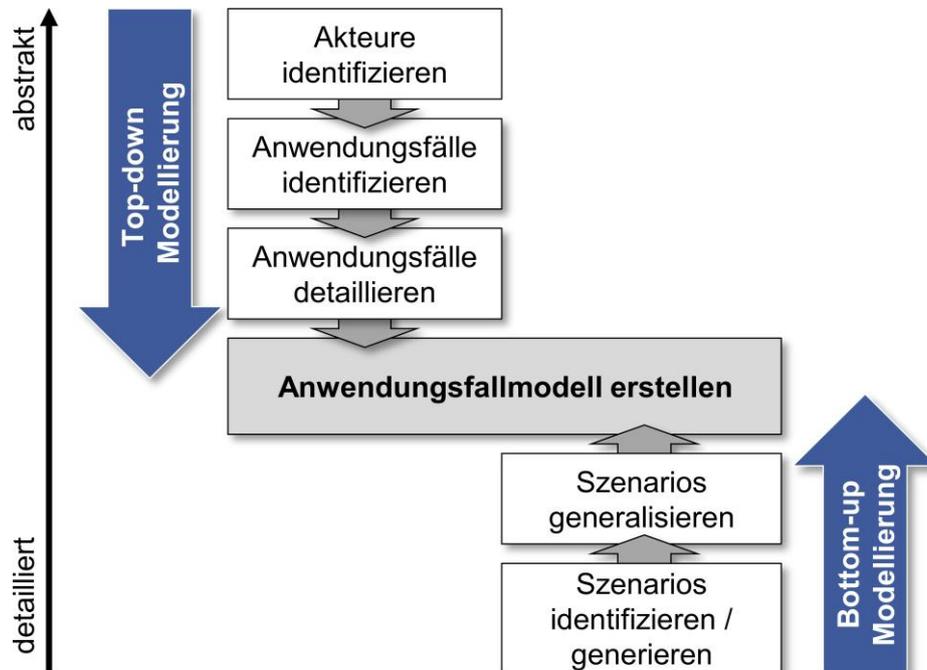


Abbildung 2-4: Modellierungsansätze Top-Down und Bottom-up⁷⁶

2.2.2 Beschreibungsformen von Anwendungsfällen

Wie in Abbildung 2-2 zu erkennen ist, stellt ein Anwendungsfall lediglich eine sehr abstrakte Beschreibung des Systemverhaltens dar. Daher sollten Anwendungsfälle durch detaillierte Beschreibungen und zusätzliche Informationen angereichert werden. Eine Beschreibung von Anwendungsfällen kann entweder in **natürlicher Sprache** (textuelle, tabellarische Beschreibung) oder **formaler Sprache** (Sequenz-, Zustands- und Aktivitätsdiagramme) erfolgen.⁷⁷ Die existierenden Beschreibungen sind meist für informationstechnische Systeme ausgerichtet. Für eine Beschreibung von Power-Tools bei der der Mensch im Leistungsfluss steht, sind diese Beschreibungsformen

⁷⁵ vgl. Müller-Glaser, K. D. 1997 S.477

⁷⁶ Bildquelle: in Anlehnung an Cockburn, A. 2003

⁷⁷ vgl. Ebel, B. 2015; Rupp, C. & Queins, S. 2015.; Cockburn, A. 2000; Jacobson, I. 1998

jedoch nicht immer ausreichend. Aus diesem Grund werden im Rahmen dieser Arbeit bestehende Beschreibungen angepasst, erweitert oder neu entwickelt (vgl. Kapitel 8).

2.2.2.1 Beschreibung in natürlicher Sprache

Zur Beschreibung von Anwendungsfällen haben sich textuelle Beschreibungen etabliert. Einen definierten Standard gibt es allerdings noch nicht.⁷⁸ Meist wird für die textuelle Beschreibung in Abhängigkeit des Reifegrades unterschiedlich stark formalisierte Vorlagen verwendet, von einer reinen Kurzbeschreibung bis zu einer umfangreich ausgearbeiteten Anwendungsfall-Beschreibung.⁷⁹ In der Literatur werden unterschiedliche Vorlagen (Templates) zur textuellen Spezifikation von Anwendungsfällen verwendet⁸⁰. Die meisten davon basieren auf dem Anwendungsfall-Template von COCKBURN. Abbildung 2-5 verdeutlicht die Vorlage⁸¹. Eine weiterentwickelte Vorlage, die auf Power-Tools angepasst ist, wird in Kapitel 8.4 dargelegt.

USE CASE #	<the name ist the goal as a short active verb phrase>	
Goal in Context	<a longer statement of the goal in context if needed>	
Scope Level	<what system is being considered black box under design> <one of: Summary, Primary Task, Sub-function>	
Preconditions	<what we expect is already the state of the world>	
Success End Condition	<the state of the world upon successful completion>	
Failed End Condition	<the state of the world if goal abandoned>	
Primary, Secondary Actors	<a role name or description for the primary actor> <other systems relied upon to accomplish use case>	
Trigger	<the action upon the system that starts the use case>	
Description	Step	Action
	1	<put here the steps of the scenario from trigger to goal delivery and many other cleaning up after>
	2	<...>
	3	
Extensions	Step	Branching Action
	1	<condition causing branching> <action or name if sub-use case>
Sub-Variations	Step	Branching Action
	1	<list of variations>

Abbildung 2-5: Anwendungsfall-Template⁸²

⁷⁸ vgl. Sikora, E. 2011

⁷⁹ vgl. Cockburn, A. 2000

⁸⁰ vgl. Cockburn, A. 2000, Hruschka, P. et al. 2009, Friedenthal, S. et al. 2008, Alt, O. 2012

⁸¹ vgl. Cockburn, A. 2003, Moser, C. 2012

⁸² Bildquelle: Cockburn, A. 2000

Das in Abbildung 2-5 dargestellt Anwendungsfall-Template enthält viele Attribute, welche mit Informationen gefüllt werden können. Dies ist jedoch nicht immer zweckmäßig. Die Beschreibung eines Anwendungsfalls sollte situationsangepasst und unterschiedlich detailliert möglich sein. ARMOUR UND MILLER unterscheiden daher zwischen drei Detaillierungsgraden (vgl. Abbildung 2-6): initiale Beschreibung (geringster Detaillierungsgrad), Basis-Beschreibung (mittlerer Detaillierungsgrad) und vollständig ausgefülltes Template (höchster Detaillierungsgrad)⁸³. BAUMANN spricht von einer kontinuierlichen Verfeinerung⁸⁴. Je nach Bedarf werden nur gewisse Attribute des Templates ausgefüllt. Jede der drei Detaillierungsgrade ergänzt die Vorhergehende. Es muss jedoch nicht starr zwischen diesen Stufen gesprungen werden, es sind auch Kombinationen möglich. Allerdings sollte eine initiale Beschreibung mit Nummer, Titel und Kurzbeschreibung immer vorgenommen werden.

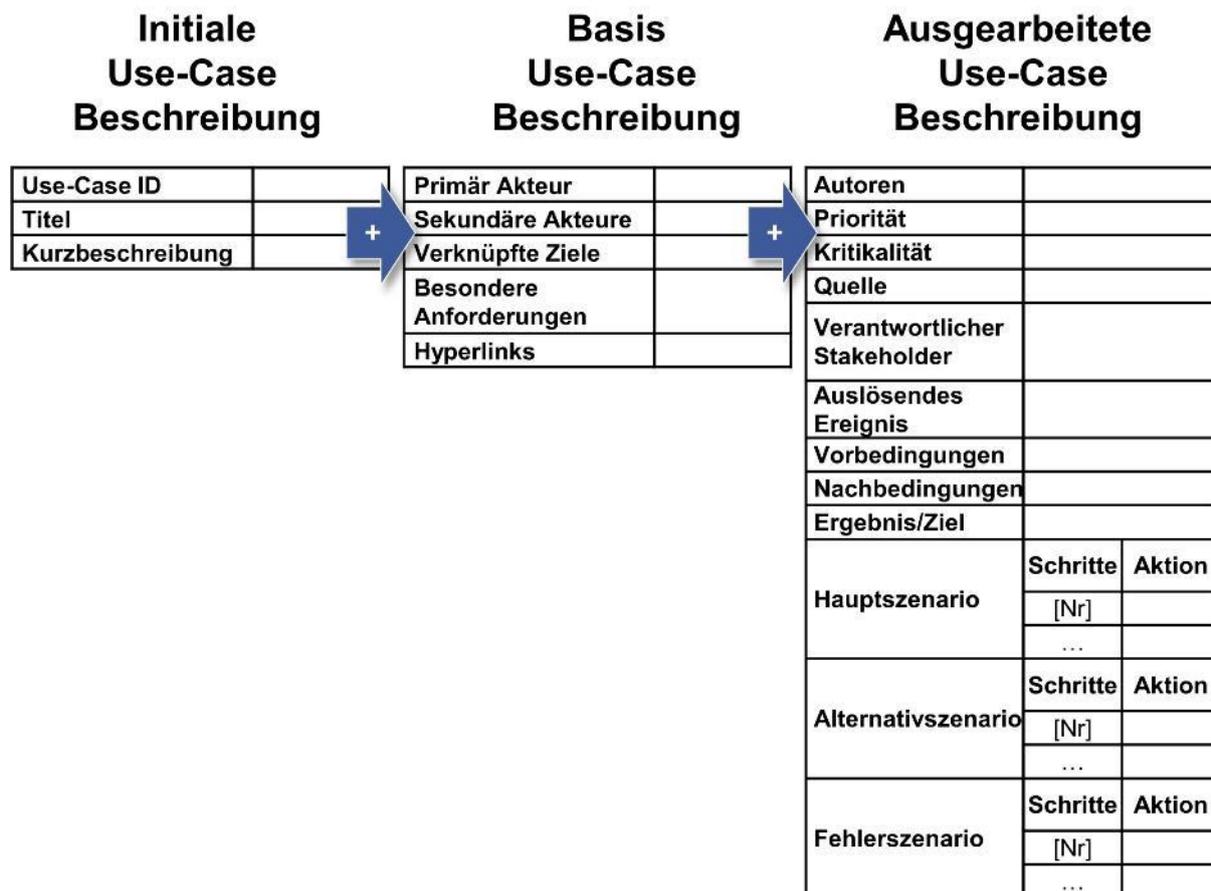


Abbildung 2-6: Unterschiedlich detailliert ausgearbeitete Anwendungsfallschablone⁸⁵

⁸³ vgl. Armour, F. & Miller, G 2001

⁸⁴ vgl. Baumann, R. 2017

⁸⁵ Bildquelle: in Anlehnung an Armour, F. & Miller, G 2001

2.2.2.2 Beschreibung in formaler Sprache

Neben der Beschreibung von Anwendungsfällen in natürlicher Sprache (textuelle, tabellarische Beschreibung), können Anwendungsfällen auch in formaler Sprache (Sequenz-, Zustands- und Aktivitätsdiagramme) beschrieben werden⁸⁶. Diese Beschreibungsformen werden vor allem in der Elektro- und Regelungstechnik sowie der Informatik häufig genutzt. Großer Vorteil dieser Beschreibungsformen ist, dass sie meist deutlich kürzer und durch definierte Elemente eindeutiger sind als Texte.

Ein **Zustandsdiagramm** (engl. state machine, kurz stm) ist ein Verhaltensdiagramm der System Modeling Language (kurz SysML). Zustandsautomaten beschreiben das Verhalten eines Systems oder Komponenten durch Darstellung der möglichen Zustände und Zustandsübergänge.⁸⁷

Ein **Aktivitätsdiagramm** (engl. activity diagram, kurz act) ist ein Verhaltensdiagramm der System Modeling Language (kurz SysML). Es stellt die Vernetzung von elementaren Aktionen und deren Verbindungen mit Kontroll- und Datenflüssen grafisch dar. Mit Aktivitätsdiagrammen können komplexe Abläufe wie beispielsweise Geschäftsprozesse, Workflows und komplexe Algorithmen modelliert und visualisiert werden. Sie können in Verantwortungsbereiche unterteilt und damit gewissen Aktionen und bestimmten Modellelementen zugeordnet werden.⁸⁸

Ein **Sequenzdiagramm** (englisch sequence diagram, kurz sd) ist ein Verhaltensdiagramm der System Modeling Language (kurz SysML). Es beschreibt, welche Objekte an einer Sequenz beteiligt sind, welche Informationen (Nachrichten) sie austauschen und in welcher zeitlichen Reihenfolge der Informationsaustausch stattfindet. Sequenzdiagramme besitzen eine implizite Zeitachse, welche im Diagramm von oben nach unten fortschreitet.⁸⁸

2.2.2.3 Herausforderungen beim Einsatz von Anwendungsfällen im Maschinenbau

Anwendungsfälle werden bislang vorwiegend für die Entwicklung von informationstechnischen Systemen eingesetzt. Im Bereich des Maschinenbaus und der Gerätebranche werden Anwendungsfälle bislang wenig eingesetzt. Eine von

⁸⁶ vgl. Pohl, K. und Rupp, C. 2011

⁸⁷ vgl. Alt, O. 2012; Weilkiens, T. 2014; Friedenthal, S. et al. 2011

⁸⁸ vgl. Alt, O. 2012; Weilkiens, T. 2014; Friedenthal, S. et al. 2011

SCHMITT UND HESS durchgeführte Umfrage zum Einsatz von Anwendungsfällen in der Praxis ergab, dass knapp Dreiviertel der befragten Unternehmen Anwendungsfälle einsetzen. Allerdings weisen SCHMITT UND HESS auch darauf hin, dass Hersteller von Systemen ohne Softwareanteil – wie dies im Bereich des klassischen Maschinenbaus und der Gerätebranche typischerweise der Fall ist – sich eher selten mit Anwendungsfällen beschäftigen. Lediglich 8 % der Befragten wenden Anwendungsfälle bei technischen Systemen an.⁸⁹

Zu leicht widersprüchlichen Ergebnissen gelangt GROßMANN mit einer Umfrage bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMUs) im Maschinen- und Anlagenbau. GROßMANN meint, dass für rund 45 % der von ihm befragten Unternehmen, Anwendungsfälle für die Erstellung von Testfällen eine wichtige Rolle spielen⁹⁰. Als Werkzeuge zur Beschreibung von Anwendungsfällen verwenden die meisten Studienteilnehmer Diagramme (57 %) oder textuelle Beschreibungen (41 %). Aus der Studie geht ebenfalls hervor, dass Anwendungsfälle einen wichtigen Beitrag für die Spezifikation von funktionalen Anforderungen, der Benutzerinteraktionen, sowie die Dokumentation von Anforderungen als Vertragsgegenstand leisten. Allerdings wurde von den Studienteilnehmern auch Kritik hinsichtlich der schwierigen Lesbarkeit von Anwendungsfällen und die geringe Akzeptanz, sowohl beim Kunden als auch in den eigenen Fachabteilungen, hervorgehoben. Als größte Herausforderung wurde von den Teilnehmern jedoch der Erstellungsaufwand und die Schwierigkeiten bei der Ermittlung der passenden Beschreibungsform und Detaillierungstiefe gesehen⁹¹.

2.2.3 Fehlbedienungen (misuse cases)

Neben beabsichtigten und willentlich durchgeführten Anwendungsfällen sollten auch Fehlbedienungen oder missbräuchliche Anwendungsfälle (engl. misuse case) bei der Systemmodellierung berücksichtigt werden. SINDRE UND OPDAHL haben daher 2001 Misuse cases eingeführt, um sicherheitskritische Funktionen des Systems und das Verhalten bei Fehlbedienungen in den Betrachtungsfokus zu rücken. Das System soll im Falle eines Misuses ein gewisses Verhalten aufweisen, welches die Fehlbedienung

⁸⁹ vgl. Schmitt, H. & Heß, A. 2014

⁹⁰ vgl. Großmann, L. 2013

⁹¹ vgl. Schmitt, H. & Heß, A. 2014

verhindert oder in einen sicheren Zustand überführt. Mit einem Misuse case interagiert ein Misaktor, d. h. ein Akteur, der dem System, seiner Umgebung oder sich selbst Schaden zuführen möchte.⁹²

2.2.4 Bewertung von Anwendungsfällen

Für die Bewertung von Anwendungsfällen können unterschiedliche Bewertungskriterien genutzt werden. Eine Bewertung ist von Vorteil, um häufige oder kritische Anwendungsfälle zu identifizieren, sowie um bei der Bearbeitung von Anwendungsfällen eine Reihenfolge vorzugeben. Im Folgenden werden verschiedene Bewertungsverfahren vorgestellt:

Aufwandsabschätzung: Die Anwendungsfall-Point-Methode (engl. use case-point-methode, UCP-Methode) ermöglicht eine Aufwandsabschätzung für Entwicklungsprojekte. Die Methode wurde für softwarebasierte Entwicklungsprojekte konzipiert. Für jeden Anwendungsfall kann ein Wert für den Bearbeitungsaufwand aus Anzahl Anwendungsfälle, Anzahl Aktoren, technische Randbedingungen, sowie Projektumgebungsfaktoren berechnet werden.⁹³

Prioritäten: Zur Priorisierung von Anwendungsfällen kann eine Bearbeitungspriorität vergeben werden. ARMOUR UND MILLER empfehlen die relative Bearbeitungspriorität mit 1, 2, 3 zu versehen.⁹⁴ Damit kann aufgezeigt werden, welche Anwendungsfälle in der Produktentwicklung zuerst bearbeitet werden müssen.

Beide Bewertungsverfahren (Aufwand und Priorität) können zwar im Kontext dieser Arbeit auf Power-Tools übertragen werden, zur Bewertung von Anwendungsfällen mit Blick auf die Identifikation des Nutzungsverhaltens, werden hingegen folgende Bewertungskriterien vorgeschlagen:

- Die **Häufigkeit** gibt an, wie häufig ein Anwendungsfall ausgeführt wird.
- Der **Wissenstand** gibt an, wie viel Wissen bereits über einen Anwendungsfall vorhanden ist.
- Die **Kritikalität**⁹⁵ drückt aus, welche Bedeutung ein Anwendungsfall besitzt.

⁹² vgl. Sindre, G. & Opdahl, A. L. 2001

⁹³ vgl. Frohnhoff, S. et al. 2017

⁹⁴ vgl. Armour, F. & Miller, G. 2001

⁹⁵ Nach Klingler beschreibt der Kritikalitätswert die Wahrscheinlichkeit, dass ein Element an einem Änderungs-/Anpassungsvorgang beteiligt ist. vgl. Klingler 2017 S.72, nach Lindemann et al. 2009

Mithilfe dieser Bewertungskriterien können Anwendungsfälle ausgewählt werden, welche in einer Anwendungsstudie detailliert analysiert werden sollten. Anwendungsfälle mit einer hohen Häufigkeit und einem geringen Wissenstand sollten ebenso wie besonders kritische Anwendungsfälle erfasst werden.

2.2.5 Detaillierungsebenen von Anwendungsfällen

Anwendungsfälle können auf unterschiedlichen Ebenen beschrieben werden. Dabei kann zwischen den zwei Dimensionen **Design-Umfang** (engl. scope) und **Zielebene** (engl. level) unterschieden werden. Der **Design-Umfang** grenzt das zu entwickelnde System ein, es wird zwischen Geschäfts-, System- und Komponenten-Anwendungsfall (engl. business, system, component use cases) unterschieden. Die zweite Dimension ist die **Zielebene** (engl. level), welche zwischen Überblickziele, Anwenderziele und Subfunktionen unterscheidet. Die beiden Dimensionen können als Matrix dargestellt werden (vgl. Abbildung 2-7).⁹⁶

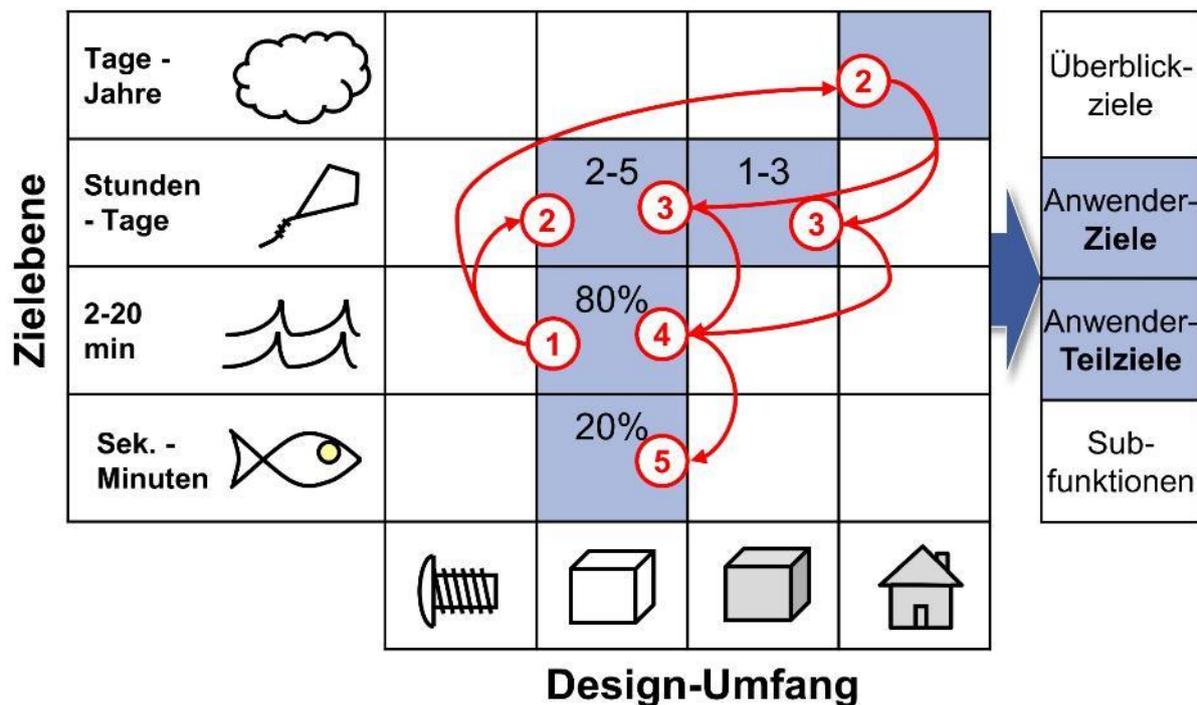


Abbildung 2-7: Anwendungsfall-Dimensionen Design-Umfang und Zielebene⁹⁷

⁹⁶ vgl. Cockburn, A. 2000

⁹⁷ Bildquelle: In Anlehnung an Cockburn, A. 2000. (links), eigene Darstellung (rechts)

Anwendungsfälle auf der Überblickziel-Ebene haben meist eine Dauer von Tagen, Monaten oder Jahren. Anwendungsfälle auf der Anwenderziel-Ebene sollten innerhalb eines Arbeitsganges, d. h. 2 bis 30 min erreicht werden können und die Bearbeitung von Anwendungsfällen auf der Subfunktion-Ebene dauert meist nur wenige Sekunden oder Minuten.⁹⁸

In der Literatur wird aufgeführt, dass Anwendungsfälle klassischerweise auf der Systemebene zur Erreichung von Anwenderzielen beschrieben werden. COCKBURN sieht die Anwendungsfallmodellierung als einen iterativen Entwicklungsprozess an⁹⁹. Er beschreibt, dass typischerweise 80 % der Anwendungsfälle auf der Anwenderziel-Ebene mit dem Design-Umfang System beschreiben werden (1). Aus den Anwenderzielen werden 2-5 Überblick-Anwendungsfälle auf Systemebene (2) oder 1-2 Überblick-Anwendungsfälle auf Geschäfts-Ebene (2) abgeleitet. Diese dienen wiederum dazu weitere Überblick-Anwendungsfälle auf Systemebene (3) zu erzeugen, welche die Anwenderzielebene (4) erweitern und diese durch ca. 20 % Subfunktions-Anwendungsfällen (5) detaillieren.¹⁰⁰

Das Modell von COCKBURN ist recht komplex und schwer verständlich, zudem werden aus dem Modell meist nur die fünf markierten Felder genutzt. Daher wird das Modell in dieser Arbeit auf folgende vier Ebenen reduziert: (1) Geschäfts-Anwendungsfälle auf der Überblickebene, (2) System-Anwendungsfälle auf der Anwender-Zielebene und -Teilzielebene und Sub-Funktions-Anwendungsfälle auf der Systemebene. Dabei ist zu beachten, dass die Anwender-Teilziele häufig notwendig sind, um das übergeordnete Anwenderziel zu erreichen. Ein Anwenderziel kann durch Subfunktionen sogenannte Aktivitäten ausdetailliert werden. Dies sind klassischerweise keine Anwendungsfälle mehr. Die Anwendungsfälle auf der Anwender-Ziel- bzw. Teilziel-Ebene besitzen eine Aktion die genau so heißt wie der Anwendungsfall. In der Regel verbergen sich mehrere Prozessschritte dahinter.

⁹⁸ vgl. Cockburn, A. 2003

⁹⁹ vgl. Cockburn, A. 2000

¹⁰⁰ vgl. Cockburn, A. 2000

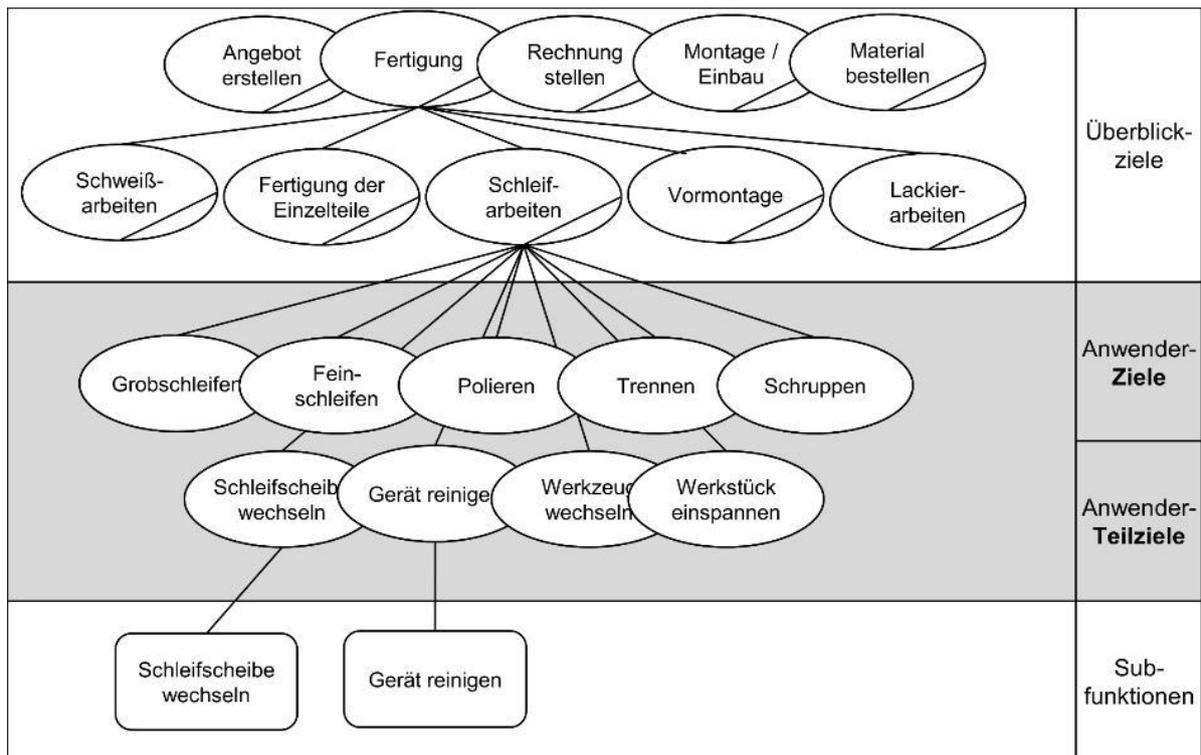


Abbildung 2-8: Anwendungsfall-Ebenen am Beispiel Schlosserei

Die unterschiedlichen Ebenen von Anwendungsfällen sollen am Beispiel „*Bau einer Stahlterrasse*“ in einer Schlosserei verdeutlicht werden (vgl. Abbildung 2-8). Auf der Übersichtsebene lassen sich die Geschäfts-Anwendungsfälle (Überblick) einer Schlosserei zur Erstellung einer Terrasse beschreiben. Für die Geschäfts-Anwendungsfälle „*Fertigung einer Terrasse*“ sind mehrere Geschäfts-Anwendungsfälle wie beispielsweise „*Fertigung der Einzelteile*“ und „*Schleifarbeiten durchführen*“ notwendig. Werden die Arbeiten mit einem Winkelschleifer auf der Anwenderzielebene analysiert „*Ablängen*“, „*Anfasen*“, „*Schrubben*“, „*Schleifen*“, „*Polieren*“, etc. Die System-Anwendungsfälle können die Anwenderteilziel-Anwendungsfälle „*Schleifpapier wechseln*“, „*Werkstück drehen*“, etc. sowie auf der Komponenten-Ebene die Anwendungsfälle „*Schleifscheibe wechseln*“, „*Gerät reinigen*“, „*Werkstück einspannen*“ beinhalten.

2.2.6 Szenario vs. Anwendungsfall

Wie bereits aus der Detaillierung von Anwendungsfällen hervorgeht, kann ein Anwendungsfall mehrere Aktionen besitzen. Diese Aktionen bilden unterschiedliche Abläufe ab. Ein einzelner Ablauf wird Szenario genannt. In Abhängigkeit von den Bedingungen und dem Ergebnis kann zwischen Haupt-, Alternativ- und Fehlerszenario

unterschieden werden.¹⁰¹ Das Hauptszenario stellt den normalen und idealen Ablauf dar. Alternativszenarien führen auf leicht unterschiedlichen Wegen zum gleichen Ziel oder Ergebnis. Dieser ideale Standardablauf erscheint häufig banal. Interessant hingegen ist das Verhalten bei Fehlerfällen, den sogenannten Fehlerszenarien¹⁰². Szenarien dienen dazu einen Anwendungsfall detailliert und aus unterschiedlichen Perspektiven zu betrachten. Somit soll verhindert werden, dass wichtige Systemfunktionen übersehen werden. Szenarien können als Vorstufe für eine Verhaltensmodellierung durch ein Aktivitätsdiagramm, Zustands- oder Sequenzdiagramm gesehen werden (vgl. Kapitel 2.2.2.1).

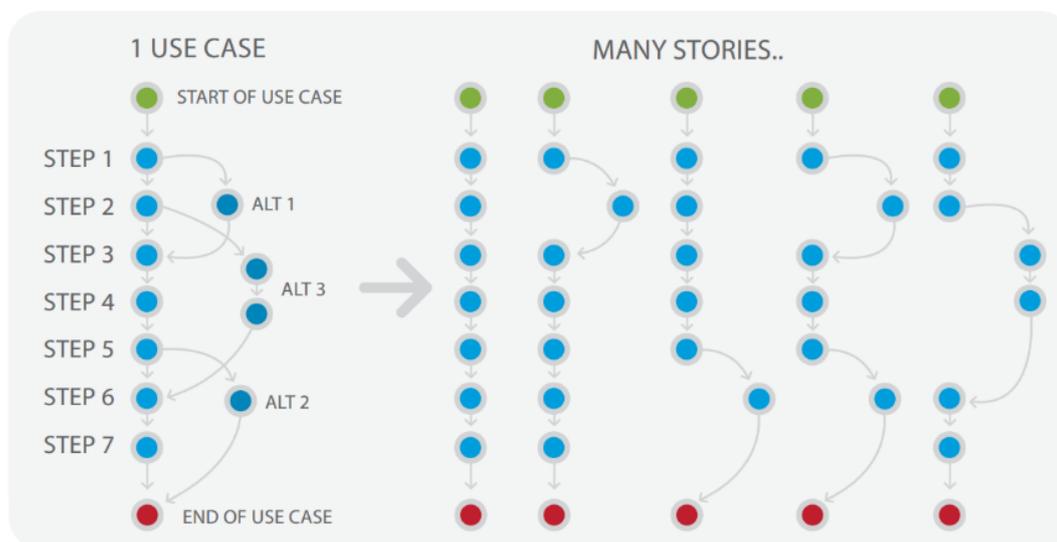


Abbildung 2-9: schematische Darstellung eines Anwendungsfalles mit Basic Flow und Alternative Flows¹⁰³

Ein Anwendungsfall entspricht demnach einer Menge von Szenarien, die das gleiche Ziel, aber verschiedene Bedingungen besitzen¹⁰⁴. Daher wird ein Anwendungsfall-Szenario auch als Ausprägungen oder als Instanz eines Anwendungsfalles bezeichnet.¹⁰⁵ Das Prinzip der Instanziierung stammt aus der Informatik und beschreibt den Zusammenhang zwischen Klassen und Instanzen. Eine Klasse ist ähnlich wie ein Anwendungsfall abstrakt formuliert, besitzt Attribute, allerdings keine konkreten Werte. Erst durch eine Instanziierung wird von einer Klasse eine Instanz (Objekt) erzeugt. Diese Instanz kann zu den in der Klasse definierten Attributen

¹⁰¹ In Anlehnung an DIN EN 62559-1

¹⁰² vgl. Cockburn, A. 2000; Armour, F. & Miller, G. 2001; Moser, C. 2012

¹⁰³ Bildquelle: microTOOL GmbH 2018

¹⁰⁴ vgl. Kelter, U. 2013

¹⁰⁵ vgl. Weilkiens, T. 2014

konkrete Werte besitzen. Das Prinzip der Instanziierung wird von der SysML-Modellierung allerdings nicht unterstützt. Dies liegt nach WEILKIENS darin begründet, dass bei einer Instanziierung eine Instanz/Objekt erzeugt wie auch wieder gelöscht werden kann. Die SysML ist zur Modellierung von physischen Systemen entwickelt worden. Da bei physischen Systeme nicht so einfach etwas gelöscht werden kann, wurde bei der SysML auf den Instanziierung-Prozess verzichtet.¹⁰⁶ Um in Kapitel 8.4.3 allerdings zwischen einem generalisierten Anwendungsfall und einer spezifischen Ausprägung - dem sogenannten Nutzungsverhalten zu unterscheiden – soll das Prinzip der Instanziierung weiter verfolgt werden.

Definition: Anwendungsfall-Szenario

Ein Anwendungsfall-Szenario stellt einen Ablauf eines Anwendungsfalls dar.¹⁰⁷

Definition: Anwendungsfall (MBSE Teil 2/2)

Ein Der Akteur interagiert mit dem System, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen.¹⁰⁸ Der Anwendungsfall wird normalerweise so benannt, wie das Ziel aus Sicht des Akteurs heißt. Bei der Zielerreichung laufen eine Folge von Aktionen ab. Der Anwendungsfall bündelt diese zu möglichen Abläufen (Szenarien).¹⁰⁹ Dabei kann in Abhängigkeit von dem Ergebnis und den Randbedingungen zwischen Haupt-, Alternativ- und Fehlerszenario unterschieden werden.¹¹⁰

Die Definition eines Anwendungsfall bei Power-Tools wird in Kapitel 2.4.2 (S.42) dargelegt.

2.2.7 Anwendungsfall 2.0

Wie bereits dargelegt, sind Anwendungsfälle ein bewährtes Mittel in der Softwareentwicklung. Im Jahr 2011 wurde von JACOBSON ET AL. ein Update der Anwendungsfall Methode veröffentlicht - das Konzept Anwendungsfall 2.0. Das Konzept nutzt

¹⁰⁶ vgl. oose Innovative Informatik 2017

¹⁰⁷ vgl. Weilkiens, T. 2014, S.277

¹⁰⁸ In Anlehnung an die Definition eines Anwendungsfalls von Weilkiens T. 2014, S.231

¹⁰⁹ microTOOL GmbH 2018

¹¹⁰ In Anlehnung an DIN EN 62559-1

dieselben Grundelemente, stellt jedoch Methoden und Handlungsempfehlungen zur Verfügung, um sie im Rahmen der agilen Softwareentwicklung einfacher nutzen zu können. Hierfür wird unter anderem die Technik des „Slicings“ – dem Aufsplitten eines Anwendungsfalls in kleinere Einheiten eingeführt. Die so entstehenden Slices können innerhalb einer Entwicklungsphase (Sprints) realisiert werden. Dieses scheinweise Umsetzen ist hilfreich, um ein frühzeitiges Feedback von den Stakeholdern zu erlangen.¹¹¹ Das Konzept Use Case 2.0 beeinflusst die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Methodik jedoch nicht. Sie ist weiterhin ohne Einschränkungen anwendbar.

2.2.8 Fazit

In dem vorangegangenen Kapitel wurden die Grundlagen zu Anwendungsfällen dargelegt und eine für diese Arbeit gültige Definition abgeleitet. In der MBSE ist ein Anwendungsfall definiert wie folgt: „Ein Anwendungsfall (engl. use case) beschreibt eine Menge von Aktionen eines Systems, die zu einem beobachtbaren Ergebnis führen, welches typischerweise für die Akteure oder Stakeholder einen Wert hat.“¹¹² Der Akteur interagiert mit dem System, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Der Anwendungsfall wird normalerweise so benannt, wie das Ziel aus Sicht des Akteurs heißt. Bei der Zielerreichung laufen eine Folge von Aktionen ab. Der Anwendungsfall bündelt diese Abläufe (Szenarien).¹¹³ Dabei kann in Abhängigkeit von dem Ergebnis und den Randbedingungen zwischen Haupt-, Alternativ- und Fehlerszenario unterschieden werden.¹¹⁴

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Anwendungsfall im Kontext von Power-Tools wie folgt verstanden: Ein Anwendungsfall im Kontext von Power-Tools beschreibt, auf eine generalisierte Art und Weise, die Tätigkeiten (Menge von Aktionen) die mit einem Power-Tool durchgeführt werden oder durchgeführt werden könnten. Die Tätigkeiten werden mit einem bestimmten Ziel durchgeführt, es empfiehlt sich den Anwendungsfall wie das Ziel zu benennen. Anwendungsfälle können aus dem Nutzungsverhalten abgeleitet oder anhand von Anwendungswissen definiert werden.¹¹⁵

¹¹¹ vgl. Rachmann, A. et al. 2014; Jacobson I. et al. 2011

¹¹² Weilkiens T. 2014, S.231

¹¹³ In Anlehnung an microTOOL GmbH 2018

¹¹⁴ In Anlehnung an DIN EN 62559-1

¹¹⁵ Eigene Definition

Diese abstrakte Beschreibung eines Anwendungsfalls wird dafür geschätzt, dass sie einfach verstanden werden kann und schnell einen Einblick über das Systemverhalten ermöglicht. Allerdings müssen Anwendungsfälle durch detaillierte Beschreibungen und zusätzliche Informationen angereichert werden. In der System Modeling Language existieren bereits umfangreiche Modellelemente, um Anwendungsfälle abzubilden. Meist erfolgt die Beschreibung von Anwendungsfällen in natürlicher Sprache (textuelle, tabellarische Beschreibung) oder formaler Sprache (Sequenz-, Zustands- und Aktivitätsdiagramme).¹¹⁶

Die existierenden Beschreibungen sind auf informationstechnische Systeme ausgerichtet. Für eine Beschreibung von Power-Tools sind diese Beschreibungsformen jedoch nicht ausreichend. Nach MOSER eignen sich Anwendungsfälle für Systeme mit klaren Dialogen zwischen Akteur und System. Für Systeme mit einem hohen Freiheitsgrad – wie beispielsweise Power-Tools – seien sie weniger geeignet.¹¹⁷ Durch eine Anpassung der Beschreibungsformen könnte dies möglich werden. Für den zielgerichteten Einsatz von Anwendungsfällen im Bereich der mechatronischen Power-Tool-Entwicklung, bedarf es daher der Anpassung von Beschreibungsformen, um beispielsweise Bewegungen des Anwenders, Arbeitsweisen und Arbeitshaltungen abzubilden. Zudem wäre die Verknüpfung mit Skizzen, Fotos und Videos vielversprechend, um real beobachtete Anwendungsfälle zu dokumentieren.

Neben der Anpassung der Beschreibungselemente für Power-Tools fehlt es aktuell auch an einer methodischen Vorgehensweise und an Handlungsempfehlungen für das Modellieren von Anwendungsfällen. Häufig ist vor allem die Wahl einer geeigneten Hierarchie- und Detaillierungsebene schwierig¹¹⁸. Aus den aufgeführten Gründen werden im Rahmen der Methodenentwicklung dieser Arbeit (vgl. Kapitel 5 und Kapitel 8), bestehende Beschreibungen auf die Power-Tool-Entwicklung angepasst, erweitert oder neu entwickelt sowie eine methodische Vorgehensweise zur Anwendungsfallmodellierung bereitgestellt.

¹¹⁶ vgl. Ebel, B. 2015; Rupp, C. & Queins, S.; Cockburn, A. 2000; Jacobson, I. 1998

¹¹⁷ vgl. Moser, C. 2012

¹¹⁸ vgl. Cockburn, A. 2003, S.93

2.3 Nutzerzentrierte Produktentwicklung

Die klassischen Produktentwicklungsprozesse wie beispielsweise dem Entwicklungs- und Konstruktionsansatz nach Pahl & Beitz¹¹⁹, dem V-Model¹²⁰ oder der Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte (VDI 2221)¹²¹ verändert sich zunehmend in Richtung nutzerzentrierter Ansätze, welche den Nutzer aktiv in den Produktentwicklungsprozess einbinden¹²². Zudem etablieren sich moderne Entwicklungsansätze wie Scrum oder Design Thinking, welche ebenfalls die Nutzereinbindung in den Produktentstehungsprozess als Schlüsselement sehen¹²³. Nach GLENDE variieren die Gründe für die Nutzereinbindung stark und reichen von der Erfassung des Wettbewerbsvergleichs, über die allgemeine Ermittlung von Meinungen, Denkweisen und Bedürfnissen bis hin zur Identifikation von Einsatzmöglichkeiten, Fehlbedienungen und Handhabungsprobleme¹²⁴. Nach DISPAN sei die Kundeneinbindung und das Verständnis des anspruchsvollen Power-Tool-Marktes ein wesentlicher Erfolgsfaktor der deutschen Hersteller von Elektrowerkzeuge¹²⁵. Herr Dr. JOST-BENZ (Leiter für "User Experience" bei der Robert Bosch Power Tool GmbH) sieht die frühzeitige Einbindung des Anwenders in die Produktentwicklung und absolute Kundenausrichtung ebenfalls als einen sehr wichtigen Erfolgsfaktor der Robert Bosch Power Tools GmbH: *„Sooft es möglich ist, gehen wir raus zum Kunden. Wir hören genau zu und beobachten im Detail, welche Tätigkeiten [der Anwender] ausübt und wie er Produkte im Alltag einsetzt: Welche Herausforderungen bestehen bei der Anwendung? Wie löst er Probleme bisher? Was würde er sich wünschen? [...] Wir beziehen [den Anwender] bei der Entwicklung von Produkten und Services von Anfang an mit ein und passen Funktion und Design den Bedürfnissen der jeweiligen Zielgruppe an. [...] Das ist die Grundlage unserer Innovationskraft [...].“*¹²⁶

¹¹⁹ vgl. Feldhusen, J. et al. 2013

¹²⁰ vgl. VDI 2206 (2004)

¹²¹ vgl. VDI 2221 (1993)

¹²² vgl. Reinicke, T. 2004

¹²³ vgl. Gloger, B. & Margetich, J. 2014

¹²⁴ vgl. Glende, S. 2010

¹²⁵ vgl. Dispan, J. 2016

¹²⁶ Robert Bosch GmbH 2017, S. 1

Dieses Ziel verfolgen auch diverse Methoden und Vorgehensweisen zur Gestaltung nutzergerechter Produkte wie die VDI 2221¹²⁷ und die DIN ISO 20282¹²⁸. In diesen Normen wird der Entwickler dazu motiviert, möglichst umfangreich das Verhalten und die Bedürfnisse bzw. Erwartungen des Nutzers hinsichtlich des Produkts zu erfassen und bei der Entwicklung zu berücksichtigen. Allerdings werden hierfür keine konkreten Methoden zur Verfügung gestellt.¹²⁹ Um eine durchgängige nutzerorientierte Produktentwicklung zu ermöglichen, fehlt es nach MATTHIESEN UND GERMANN zudem an unterstützenden Erfassungs- und Bewertungsmethoden zur Überführung der subjektiven Nutzeranforderungen „in messbare Konstruktionszielgrößen, welche direkt in der Produktentwicklung umgesetzt werden können“¹³⁰. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es an einer ganzheitlichen methodischen Vorgehensweise mangelt, welche den Produktentwicklungsprozess inklusive der Validierung unterstützt¹³⁰. Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung soll einen Beitrag leisten und Beschreibungsformen für das Nutzungsverhalten bereitstellt.

2.3.1 Produktentwicklungsansätze Design Thinking und User-Centered Design

Design Thinking ist der Aufsteiger bei den Technologie-Trends 2016¹³¹. Immer mehr Unternehmen setzen Design Thinking-Methoden ein, um ihre Produkte und Dienstleistungen näher am Nutzer auszurichten. Den Nutzer in den Mittelpunkt der Produktentwicklung zu stellen, ist jedoch nicht unbedingt etwas Neues. Das User-Centered Design (UCD) fordert bereits seit den 1990er Jahren eine umfassende Nutzerorientierung. Der Unterschied der beiden Produktentwicklungsansätze ist, dass Design Thinking (DT) eine Innovationsmethode zur Lösung komplexer Probleme ist, welche zum Ziel hat neue Ideen- und Innovationen zu entwickeln. User-Centered Design hingegen fokussiert sich auf die nutzerorientierte Ausgestaltung bestehender

¹²⁷ VDI 2221 - Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte

¹²⁸ DIN ISO 20282 - Einfachheit der Handhabung von Produkten des täglichen Gebrauchs - Teil 1: Gestaltungsanforderungen im Kontext von Anwendungs- und Benutzermerkmalen

¹²⁹ vgl. Kett S. et al. 2014

¹³⁰ Matthiesen, S. & Germann, R. 2017, S. 2

¹³¹ vgl. Matzke, P. 2017

Lösungen mit einer hohen Gebrauchstauglichkeit (Usability) und einem positiven Nutzungserlebnis (User Experience)¹³².

Laut BURMESTER sind beide Ansätze nutzerzentriert und beschreiben zusammen ein Methodenpool, zur nachhaltigen Unterstützung des Projekterfolgs, von der Entwicklung tief greifender Visionen und Lösungsansätze bis zum fertigen Produkt¹³³. Das wichtigste Grundprinzip beider Ansätze ist, dass der Mensch im Mittelpunkt der Entwicklung steht. Mit der Überarbeitung der DIN ISO 13407 zur DIN ISO 9410-210 wurde auch die Bezeichnung von „benutzerorientierte Gestaltung“ (User-Centered Design) zu "menschzentrierte Gestaltung" (Human-Centered Design) angepasst. Damit soll betont werden, dass neben den primären Nutzern auch Stakeholder betrachtet werden, die normalerweise keine Benutzer des Systems sind. Weitere Stakeholder werden sowohl beim Human-Centered Design als auch beim Design Thinking in allen Phasen der Produktentwicklung einbezogen – von der Analyse des Nutzungskontexts bis zur Validierung. Beide Ansätze weisen ein iteratives Vorgehen auf. Der Prozess des Human-Centered Design ist in den meisten Prozessmodellen (wie z. B. der DIN EN ISO 9241-210¹³⁴ oder der ISO/PAS 18152¹³⁵) in vier Phasen gegliedert, die iterativ durchlaufen werden (vgl. Abbildung 2-10).

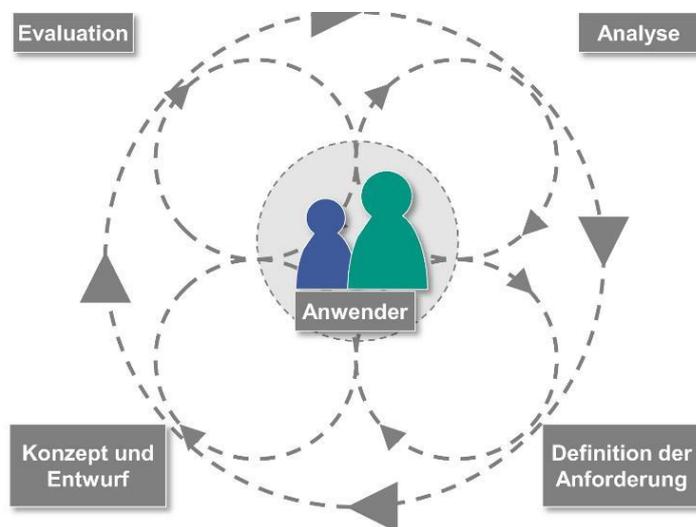


Abbildung 2-10: Prozess des Human-Centered Design (HCD) ¹³⁶

¹³² vgl. Usability in Germany (UIG) e.V. 2013; Gould, J. D. und Lewis, C. 1985

¹³³ vgl. Burmester, M. 2017

¹³⁴ vgl. DIN EN ISO 26800 (2011)

¹³⁵ vgl. Ergonomics of human-system interaction 2006

¹³⁶ Bildquelle: in Anlehnung an <https://profs.info.uaic.ro>

Die vier Phasen sind:¹³⁷

- **Analyse des Nutzungskontextes:** In der Analysephase wird der Nutzungskontext analysiert und beschrieben. Es werden Informationen über aktuelle oder zukünftige Nutzer und den Nutzungskontext gesammelt und in Nutzerprofilen zusammengefasst. Außerdem werden Aufgaben und Ziele der Nutzer, Arbeitsabläufe und Arbeitsumgebung sowie Randbedingungen (organisatorisch, technische und physische) analysiert.
- **Definition der Anforderungen:** Basierend auf den Erkenntnissen der Kontextanalyse werden die Nutzungsanforderungen spezifiziert. Die Norm betont an dieser Stelle besonders Ergonomie-, Gebrauchstauglichkeits- und organisatorische Anforderungen.
- **Konzeption und Entwurf:** In dieser Prozessphase werden Konzepte und Prototypen für das zukünftige Produkt entwickelt. Ergebnisse dieser Phase können unterschiedlichste Arten von Prototypen sein, welche sich durch unterschiedliche Zwecke wie beispielsweise Anschauungs- und Funktionsprototypen¹³⁸ oder durch unterschiedliche Wiedergabetreue und Integrationsgrade¹³⁹ unterscheiden.
- **Evaluation:** Die erstellten Konzepte und Prototypen werden evaluiert. Dies geschieht entweder durch reale Nutzer oder Fachleute auf dem Gebiet der Gebrauchstauglichkeit (inspektionsbasierte Evaluierung).

Auch Design Thinking folgt einem iterativen Prozess. Allerdings ist dieser in sechs Phasen eingeteilt. Dennoch gibt es viele Überschneidungen mit den Human-Centered Design-Ansätzen (vgl. Abbildung 2-11). Anders als Human-Centered Design ist Design Thinking in keiner offiziellen Norm beschrieben oder definiert. Design Thinking wurde von den Professoren der Stanford University David Kelley, Larry Leifer und Terry Winograd entwickelt und durch den SAP Mitgründer Hasso Plattner nach Europa gebracht. Design Thinking ist eher eine Denkweise und Sammlung von Prinzipien, Methoden und Techniken. Es wird ein großes Maß an Kreativität gefordert, welches durch eine inspirierende Arbeitsumgebung, ähnlich wie bei Künstlern, stimuliert wird.

¹³⁷ vgl. Burmester, M. 2017

¹³⁸ vgl. Leutenecker, B. et al. 2013

¹³⁹ vgl. Türk, D. et al. 2014

Abbildung 2-11: 6 Phasen des Design Thinking ¹⁴⁰

Bei beiden Ansätzen spielt die Analyse der Ausgangssituation eine entscheidende Rolle. Dazu gehören unter anderem die Analyse spezifischer Aufgaben und Eigenschaften der Nutzer sowie die Analyse der Nutzungsumgebung. Beide Ansätze nutzen einen ähnlichen Methoden-Pool. So verwenden Teams in beiden Entwicklungsprozessen beispielsweise die Persona-Methode (vgl. Kapitel 2.5.3), um sich leichter in den Nutzer eines Produkts hineinzuversetzen. Außerdem werden in Teams Prototypen entwickeln, um Ideen erfahrbar und durch den Nutzer überprüf- und erlebbar zu machen. Ein Erfolgsfaktor von Design Thinking ist die Arbeit in interdisziplinären Teams aus unterschiedlichen Fachbereichen. Damit werden unterschiedliche Blickwinkel in den Prozess einbezogen. Die DIN EN ISO 9241-210¹⁴¹ fordert für das Human-Centered Design zwar ebenfalls interdisziplinäre Teams, laut BURMESTER zeigt sich allerdings, dass vorrangig Experten im Bereich der Usability den Prozess steuern und vorantreiben¹⁴². Beim Design Thinking geht es um das Entwickeln und frühzeitige Testen von Visionen und kreativen Lösungsideen¹⁴³. Damit setzt Design Thinking früher an, als Human-Centered Design. Die Stärke von Human-Centered Design besteht darin, ein Produkt basierend auf den Anforderungen der Nutzer so auszugestalten, dass es intuitiv und einfach zu bedienen ist. In den letzten Jahren hat Human-Centered Design seinen Blickwinkel erweitert und es rücken neben der Gebrauchstauglichkeit, auch die Attraktivität und emotionale Wirkung eines Produkts (User Experience) mehr in den Vordergrund.

¹⁴⁰ Bildquelle: www.moysig.de

¹⁴¹ vgl. DIN EN ISO 9241-210

¹⁴² vgl. Burmester, M. 2017

¹⁴³ vgl. Plattner, H. et al. 2016

Die Ansätze Design Thinking, Human-Centered Design und erweiterte Anwendungsfallmodellierung schließen sich nicht gegenseitig aus, vielmehr können sie sich ergänzen. So kann beispielsweise mit Methoden der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (e-AFM) die Analyse des Nutzungskontextes unterstützt werden. Sie stellt verschiedene Methoden bereit, um Anwendungsfälle im Rahmen eines Workshops zu identifizieren sowie in der realen Anwendung das Nutzungsverhalten zu erfassen. Im Anschluss können Design Thinking-Ansätze angewendet werden, um innovative Ideen zu entwickeln und mit schnellen Prototypen zu validieren. Abschließend kann mit Methoden des Human-Centered Designs die Gebrauchstauglichkeit optimiert werden.

2.3.2 „Anwender“ vs. „Nutzer“ vs. „Kunde“

Im Rahmen dieser Arbeit steht der Anwender von Power-Tools im Fokus. Im deutschen Sprachgebrauch werden die Begriffe Anwender, Nutzer und Kunde häufig vermischt oder synonym verwendet. Im Folgenden werden die Begriffe für die Verwendung in dieser Arbeit voneinander abgegrenzt:

- Der **Kunden**-Begriff wird meist mit einem wirtschaftlichen Interesse verbunden.¹⁴⁴ Der Kunde kauft, least oder mietet ein Produkt.
- Der **Benutzer** oder kurz **Nutzer** umfasst alle Personen, die ein Produkt nutzen bzw. eine Dienstleistung in Anspruch nehmen, um ein bestimmtes Ergebnis zu erzielen. In der Gerätebranche werden die Personen, die ein Power-Tool benutzen häufig **Anwender** genannt.¹⁴⁵

Da in der Literatur und in Normen in der Regel von Nutzer die Rede ist – der Begriff Anwender in der Gerätebranche jedoch fest verankert ist - werden die Begriffe Nutzer und Anwender in dieser Arbeit synonym verwendet.¹⁴⁶ In der Literatur wird zwischen drei Nutzertypen unterschieden (vgl. Kapitel 2.3.2): Primäre Nutzer nutzen das Power-Tool– sie werden auch Hauptnutzer genannt. Sekundäre Nutzer kommen unmittelbar mit dem Produkt in Berührung – sie werden auch Nebennutzer genannt.

¹⁴⁴ vgl. Springer Fachmedien Wiesbaden 2014

¹⁴⁵ vgl. Anwenderbegriff bei Herstatt, C. 1991, S. 7.; Lettl, C. 2004

¹⁴⁶ vgl. Fichter, K. 2005, S.20

Beispiele hierfür sind Wartungs- und Reinigungskräfte. Tertiäre Nutzer werden von dem Produkt unbeabsichtigt beeinflusst. Beispiele für tertiäre Nutzer sind Anwohner, die von den Vibrationen und Geräuschen von Power-Tools beeinflusst werden.



Abbildung 2-12: Anwendertypen von Power-Tools ¹⁴⁷

2.3.3 Ergonomie und User Experience (UX)

Bei einer nutzerzentrierten Entwicklung von Power-Tools spielen Ergonomie, Gebrauchstauglichkeit und ein umfängliches Verständnis der Arbeitstätigkeit eine wichtige Rolle. Im Folgenden werden die Grundlagen dargelegt und im Kontext dieser Arbeit diskutiert.

Ergonomie setzt sich aus den griechischen Wörtern „Ergon“ (Arbeit) und „Nomos“ (Gesetz, Regel) zusammen.¹⁴⁸ Mit klassischen ergonomischen Fragestellungen beschäftigt sich meist die Disziplin der Arbeitswissenschaft. Ziel ist die Schaffung von möglichst guten Arbeitsbedingungen und einer möglichst geringen gesundheitlichen Belastung. Die individuellen Fähigkeiten, Grenzen und Eigenschaften des Menschen sind dabei ausschlaggebend.¹⁴⁹ Durch eine Analyse der Aufgabenstellung, der Arbeitsumwelt und der Mensch-Maschine-Interaktion soll sowohl eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit des gesamten Arbeitssystems, als auch eine Minderung der auf den Menschen einwirkenden Belastungen erzielt werden.¹⁵⁰

Ergonomie wird nach DIN EN ISO 26800 und der internationalen Fachgesellschaft für Ergonomie und Arbeitswissenschaft (IEA) wie folgt definiert:

¹⁴⁷ Bildquelle: www.hilti.de und www.goettinger-tageblatt.de

¹⁴⁸ vgl. Hettinger, T. & Wobbe, G. 1993; Adler, M. 2010, Lindqvist, B. & Skogsberg, L. 2008

¹⁴⁹ vgl. Schlick, C. M. et al. 2010

¹⁵⁰ vgl. Schmidtke, H. et al. 1989

Definition: Ergonomie

„Wissenschaftliche Disziplin, die sich mit dem Verständnis der Wechselwirkungen zwischen menschlichen und anderen Elementen eines Systems befasst, und der Berufszweig, der Theorie, Prinzipien, Daten und Methoden auf die Gestaltung von Arbeitssystemen anwendet mit dem Ziel, das Wohlbefinden des Menschen und die Leistung des Gesamtsystems zu optimieren“.¹⁵¹

Zudem wird betont, dass bei der Gestaltung von Arbeitssystemen stets der Mensch als Hauptfaktor und integraler Bestandteil des zu gestaltenden Systems, einschließlich des Arbeitsablaufs und der Arbeitsumgebung, gelten sollte.¹⁵² Bei der Betrachtung der beeinflussenden Faktoren des Mensch-Maschine-Systems (MMS) ist zu erkennen, dass gemäß dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept¹⁵³ jeder Arbeitsort durch äußere Bedingungen gekennzeichnet ist, die für jedes dort tätige Individuum (Mensch) eine Belastung darstellen. Die Belastungen können von der Arbeitsaufgabe, der Umwelt oder auch der Maschine herrühren. In Abhängigkeit von den individuellen Eigenschaften und Fähigkeiten des Individuums löst die (externe) Belastung eine (interne) Beanspruchung aus.

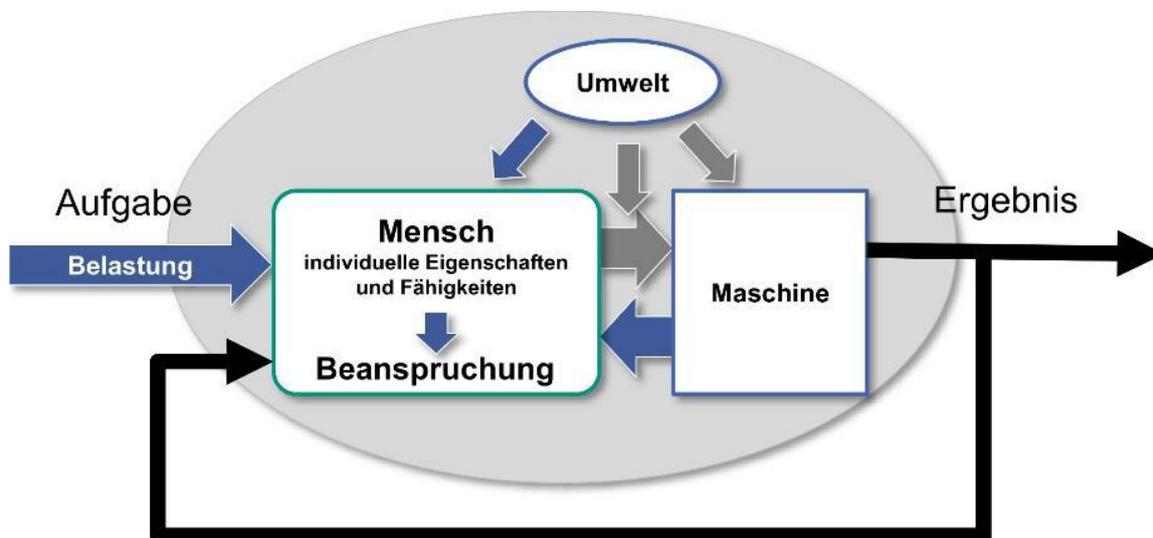


Abbildung 2-13: das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept¹⁵⁴

¹⁵¹ vgl. DIN EN ISO 26800

¹⁵² vgl. DIN EN ISO 6385

¹⁵³ vgl. DIN EN ISO 26800

¹⁵⁴ Bildquelle: nach <http://www.lfe.mw.tum.de/was-ist-ergonomie/>

Die Belastung kann durch eine gute Gebrauchstauglichkeit der Maschine reduziert werden. Gebrauchstauglichkeit (engl. **Usability**) kann mit Benutzerfreundlichkeit oder mit Benutzbarkeit eines Systems beschrieben werden¹⁵⁵. Gebrauchstauglichkeit ist definiert als: „Das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und mit Zufriedenheit zu erreichen.“¹⁵⁶ Unter Gebrauchstauglichkeit versteht man Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit. Es ist ein ganzheitliches Konzept zur Optimierung von Mensch-Maschine-Systemen, wodurch ein Wettbewerbsfaktor und ein Qualitätsmerkmal entstehen können¹⁵⁷. Hat ein Produkt eine gute Gebrauchstauglichkeit, dann ist es einfach zu benutzen. Im Umkehrschluss kann man das Produkt einfach benutzen, so lässt sich dies auf eine gute Gebrauchstauglichkeit zurückführen. Die Gebrauchstauglichkeit wird laufend durch neue Methoden erweitert, so wie beispielsweise User Experience. User Experience (kurz UX, deutsch Nutzererleben) erweitert den Begriff der Gebrauchstauglichkeit um ästhetische und emotionale Faktoren wie Aspekte der Vertrauensbildung oder Spaß bei der Nutzung. Die Gebrauchstauglichkeit fokussiert die eigentliche Nutzungssituation, wohingegen User Experience alle Effekte umfasst, die ein Produkt vor der Nutzung, während, sowie auch nach der Nutzung auf den Nutzer hat (vgl. Abbildung 2-14).

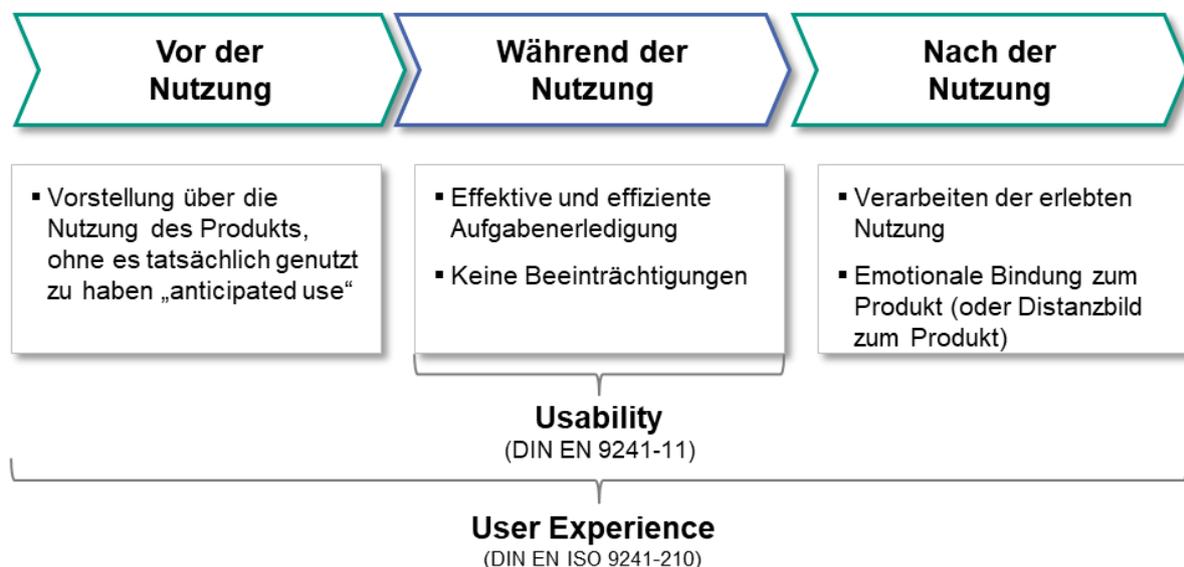


Abbildung 2-14: Unterscheidung zwischen Usability und User Experience ¹⁵⁸

¹⁵⁵ vgl. Richter, M. & Flückiger, M. D. 2013

¹⁵⁶ DIN EN 9241-11

¹⁵⁷ vgl. Urbas, L. & Ziegler, J. 2012

¹⁵⁸ Bildquelle: <http://www.procontext.com> nach DIN EN 9241-11 (1999)

Im Kontext der vorliegenden Arbeit werden Methoden behandelt, welche auf der Erfassung der Körperhaltung durch Motion Capturing basieren (vgl. Kapitel 2.5.6.1). In Abhängigkeit von der Art des Gelenks und dessen anatomischen Gegebenheiten ergeben sich verschiedene Bewegungsrichtungen und Winkelbereiche, in denen eine Bewegung möglich ist. Das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) unterteilt die Gelenkbereiche in ein Ampelschema und spricht dabei von Gelenkkomfortbereichen mit drei Bereichen – akzeptabel, bedingt akzeptabel und nicht akzeptabel. Die Komfortbereiche¹⁵⁹ werden in Abbildung 2-15 dargestellt.

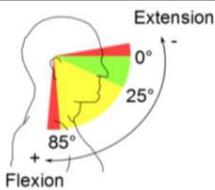
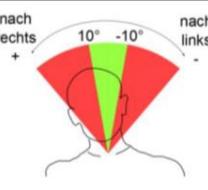
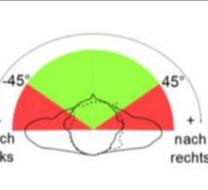
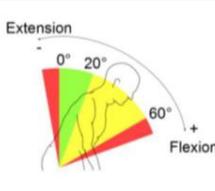
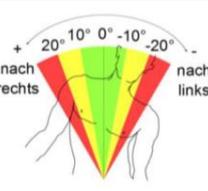
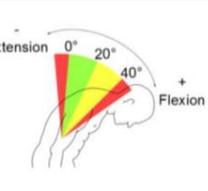
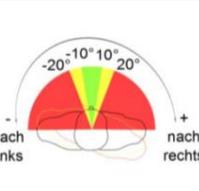
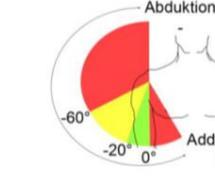
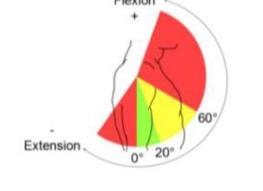
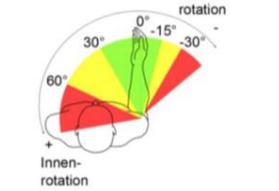
a) Kopfeignung 	b) Kopfseiteneignung 	c) Halstorsion 	d) Halskrümmung 		
grün: 0° bis 25° gelb: 25° bis 85° rot: <0° und >85°	grün: -10° bis 10° rot: <-10° und >10°	grün: -45° bis 45° rot: <-45° und >45°	grün: 0° bis 25° rot: <0° und >25°		
e) Rumpfeignung 	f) Rumpfseiteneignung 	g) Rückenkrümmung 	h) Rückentorsion 		
grün: 0° bis 20° gelb: 20° bis 60° rot: <0° und >60°	grün: -10° bis 10° gelb: 10° bis 20° und -20° bis -10° rot: <-20° und >20°	grün: 0° bis 20° gelb: 20° bis 40° rot: <0° und >40°	grün: -10° bis 10° gelb: 10° bis 20° und -20° bis -10° rot: <-20° und >20°		
i) Schultergelenk Oberarm-Adduktion/-Abduktion		j) Schultergelenk Oberarm-Flexion/-Extension		k) Schultergelenk Oberarm-Rotation	
					
grün: -20° bis 0° gelb: -60° bis -20° rot: <-60° und >0°		grün: 0° bis 20° gelb: 20° bis 60° rot: <0° und >60°		grün: -15° bis 30° gelb: -30° bis -15° und 30° bis 60° rot: <-30° und >60°	

Abbildung 2-15: Gelenkkomfortbereiche verschiedener Gelenke ¹⁶⁰

¹⁵⁹ Bislang wurden von der DGUV, IFA 2016 oder anderen Institutionen lediglich Komfortbereiche für diese Gelenke definiert. Für weitere Gelenke liegen aktuell keine Kennwerte vor

¹⁶⁰ Langhammer, P. 2016, S.18 (betreute Abschlussarbeit) nach IFA 2016

Je häufiger und länger sich eine Person in den Bereichen bedingt akzeptabel und nicht akzeptabel bewegt, umso größer ist die Wahrscheinlichkeit von muskuloskelettaler Ermüdung und Beschwerden.

2.3.4 Fazit

In dem vorangegangenen Kapitel wurden nutzerzentrierte Produktentwicklungsansätze vorgestellt und damit die Wichtigkeit der frühzeitigen Einbindung des Anwenders und der Erfassung der realen Systembenutzung (Nutzungsverhalten) hervorgehoben. Die Ansätze Design Thinking, Human-Centered Design und die erweiterte Anwendungsfallmodellierung schließen sich nicht aus, vielmehr können sie sich ergänzen. Die Methoden der Anwendungsfallmodellierung können die Analyse des Nutzungskontextes unterstützen, worauf Design Thinking und Human-Centered Design aufbauen. Für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit oder der Usability von Power-Tools, können Körperhaltung und Gelenkwinkel analysiert werden.

2.4 Validierung in der Gerätebranche

Entwicklungingenieure werden bei der Entwicklung inklusive der Validierung von Power-Tools, vor komplexe Herausforderungen gestellt. Bei Power-Tools steht der Anwender im Leistungsfluss mit dem technischen System und besitzt einen erheblichen Einfluss auf die Funktionserfüllung¹⁶¹. So zeigen beispielsweise MATTHIESEN ET AL., dass die Anpresskraft und die Arm-Haltung eines Anwenders beim Arbeiten mit einem Schlagschrauber einen signifikanten Einfluss auf dessen Schraubqualität haben, sowie, dass die physischen Eigenschaften des menschlichen Hand-Arm-Systems ebenfalls einen massiven Einfluss auf die Funktionserfüllung des Power-Tools besitzen¹⁶². Die Anwendungsqualität eines Power-Tools hängt daher stark davon ab, von welchem Anwender und unter welchen Umweltbedingungen das Produkt eingesetzt wird.¹⁶³ „Weiterhin werden Power-Tools selbst von Profis sehr unterschiedlich und teilweise ‚kreativ‘ eingesetzt.“¹⁶⁴ Für eine anwendungsorientierte

¹⁶¹ vgl. Schmidt, S. et al. 2015

¹⁶² vgl. Matthiesen, S. et al. 2015d; Matthiesen, S. et al. 2015b

¹⁶³ vgl. Matthiesen, S. & Germann, R. 2017

¹⁶⁴ vgl. Matthiesen S. et al. 2016c, S. 223

Produktentwicklung neuer Produktgenerationen muss daher die reale Verwendung des Power-Tools ausreichend detailliert erfasst oder vorausgedacht¹⁶⁵, sowie die gesamtsystemischen Wechselwirkungen zwischen Bediener, technischem System und Umgebung ermittelt und validiert werden¹⁶⁶.

2.4.1 Das IPEK-XiL-Validierungsframework

Ein kontinuierlicher Abgleich zwischen den geforderten und den erreichten Produktfunktionen – die Validierung – ist die zentrale Aktivität der Produktentwicklung¹⁶⁷. Für die Sicherstellung der Produktfunktionen ist die ganzheitliche Betrachtung der Systeme Anwender, System und Anwendung notwendig. Der IPEK-X-in-the-Loop-Ansatz greift etablierte Validierungsansätze (Model-in-the-Loop- (MiL), Software-in-the-Loop- (SiL) bzw. Hardware-in-the-Loop-Ansätze (HiL)) auf und erweitert diese um die Interessen der Mechanik bzw. Mechatronik sowie der Entwickler aus unterschiedlichen Fachdisziplinen¹⁶⁸. Der Ansatz ist in Abbildung 2-16 dargestellt.



Abbildung 2-16: IPEK-X-in-the-Loop (XiL)-Ansatz ¹⁶⁹

¹⁶⁵ vgl. Ropohl, G. 2009

¹⁶⁶ vgl. Matthiesen, S. et al. 2013b

¹⁶⁷ vgl. Albers, A. 2010

¹⁶⁸ vgl. Albers, A. et al. 2016, S.560 nach Albers, A. & Düser, T. 2010

¹⁶⁹ Bildquelle: Matthiesen, S. et al. 2018a

Er beschreibt, dass ein zu untersuchendes System nicht losgelöst betrachtet und getestet werden kann, sondern immer die gesamtsystemischen Wechselwirkungen betrachtet werden müssen. Die mit dem System interagierenden Systeme werden als Connected Systems bezeichnet. Bei einem Automobil (vgl. Abbildung 2-16) sind dies der Fahrer, das Rest-Fahrzeug und die Umwelt. Zudem sollten sich die Testbedingungen auf Anwendungsfälle zurückführen lassen, welche aus dem Nutzungsverhalten abgeleitet sind. Alle relevanten Teilsysteme oder Eigenschaften des Systems, welche im Test nicht real vorliegen, werden in dem Restsystem berücksichtigt und hinzusimuliert. Außerdem können die zu untersuchenden Systeme, wie auch die Connected Systems, auf unterschiedlichen Systemebenen vorliegen: als Gesamtsystem, Teil-System oder Funktionskontakt. Nach ALBERS muss in der jeweiligen Situation bzw. in Abhängigkeit des Verifizierungs- bzw. Validierungsziels die Art und Weise, wie die Wechselwirkungen der beteiligten Systeme berücksichtigt werden, individuell definiert werden¹⁷⁰. Somit können unterschiedliche Ausprägungen (rein virtuelle, rein physische oder auch gemischt physisch-virtuell) entstehen. Das „X“ ist dabei definiert als *„das physische und/oder virtuelle (Teil)-System, welches im Fokus einer spezifischen Validierungsaktivität steht und über welches dabei Erkenntnisse gewonnen werden sollen.“*¹⁷¹ Hieraus lassen sich zwei Sichten auf das „X“ ableiten. Häufig wird das „X“ als das System verstanden, welches von einem Entwickler zu entwickeln ist. Der Fokus der Validierung liegt in diesem Fall primär auf der Eigenschafts- bzw. Funktionserfüllung und man spricht von dem System-in-Development (SiD). Wenn nicht die Entwicklung eines Teil-Systems, sondern der Wissenszuwachs im Fokus stehen, so kann eher von System-under-Investigation (Sul) gesprochen werden.¹⁷²

2.4.2 Validierung im Kontext von Power-Tools

Um die zielgerichtete Entwicklung von Power-Tools und die frühe Validierung von kritischen Funktionen methodisch zu unterstützen, wurde der IPEK-X-in-the-Loop-Framework¹⁷² auf die Gerätebranche übertragen.¹⁷³ In Abbildung 2-17 ist das IPEK-XiL-Framework dargestellt. Es stellt ein ganzheitliches Validierungsframework unter

¹⁷⁰ vgl. Albers, A. et al. 2016

¹⁷¹ Albers, A. et al. 2016, S.560

¹⁷² vgl. Albers, A. et al. 2016

¹⁷³ vgl. Matthiesen, S. et al. 2013b

Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen den Connected Systems Anwender, Power-Tool und Umwelt dar. Je nach Untersuchungszweck kann das System Power-Tool in die Teilsysteme Power-Tool, Werkzeug und Consumable (Verbrauchmaterial) unterteilt werden. Abbildung 2-17 lässt sich wie folgt interpretieren: Das IPEK-XiL-Framework legt bei der Validierung eines Systems bzw. Teilsystems Anwendungen und Testfälle zugrunde und berücksichtigt jederzeit die Wechselwirkungen des Anwenders und der Umwelt. Aus dem kontextspezifischen Nutzungsverhalten werden generische Anwendungsfälle abgeleitet, welche in Testfälle überführt werden können.

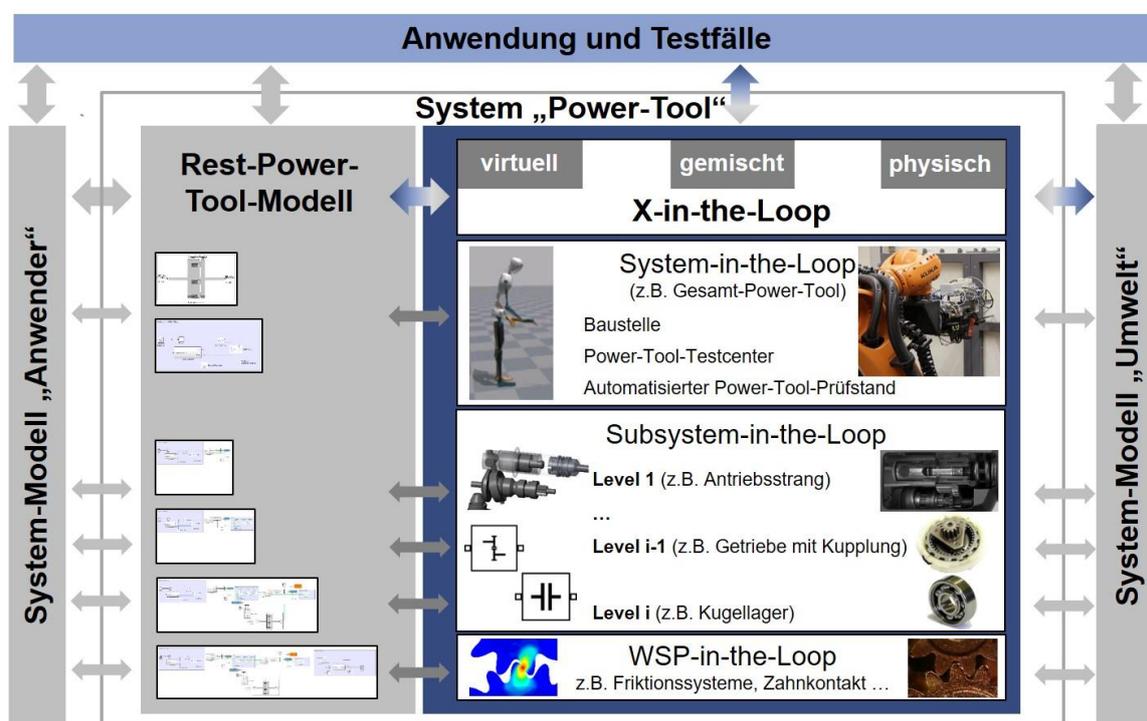


Abbildung 2-17: IPEK-X-in-the-Loop-Framework am Beispiel der Power-Tool Entwicklung ¹⁷⁴

Diese bilden die Grundlage für die Gerätevalidierung. Die XiL-Teilsysteme Anwender, Power-Tool und Umwelt sind in der Mitte der Grafik dargestellt. Sie werden mit den Testfällen beaufschlagt, wobei die Teilsysteme virtuell oder physisch vorhanden sein können. Sind Teile des Gesamtsystems nicht physisch vorhanden, muss deren Wirkung durch ein Rest-Modell hinzusimuliert werden. Die Betrachtung des System-in-Development (SiD) kann dabei auf unterschiedlichen Systemebenen geschehen, vom Gesamtsystem über Teil-Systeme bis hin zum einzelnen Wirkflächenpaar auf

¹⁷⁴ Bildquelle: Matthiesen, S. et al. 2018a

Bauteilebene. Mithilfe des IPEK-XiL-Frameworks können Teilsysteme sehr früh im Entwicklungsprozess realitätsnah, also entsprechend der eigentlichen Anwendung, auf ihre Eignung in einer zukünftigen Gerätegeneration, qualifiziert werden¹⁷⁵. Somit kann eine erhebliche Zeitersparnis, Kostensenkung, Risikominimierung und Qualitätssteigerung im Entwicklungsprozess betrieben werden¹⁷⁶. Im Folgenden werden die für diese Arbeit relevanten Begrifflichkeiten des IPEK-XiL-Frameworks¹⁷⁷ abgegrenzt.

Definition: Anwendungsfall (Power-Tool)

Ein Anwendungsfall im Kontext von Power-Tools beschreibt, auf eine generalisierte Art und Weise, die Tätigkeiten (Menge von Aktionen) die ein Anwender mit einem Power-Tool durchführen kann. Da der Anwender die Tätigkeit mit einem bestimmten Ziel durchführt, wird der Anwendungsfall normalerweise wie das Ziel der Tätigkeit benannt. Ein Anwendungsfall kann unterschiedlich detailliert beschrieben werden, so kann er den Ablauf und die Interaktion von Anwender und Power-Tool bei Ausführung der Tätigkeit beinhalten. Der Anwendungsfall beschreibt den Ablauf aus der Sicht des Anwenders, woraus sich das Anwender- und Power-Tool-Verhalten ableiten lässt. Anwendungsfälle können aus dem Nutzungsverhalten abgeleitet oder anhand von Erfahrung definiert werden. Mit Anwendungsfällen kann die Nutzung von Power-Tools vorgedacht oder die reale Benutzung abgebildet werden.¹⁷⁸

Definition: Test

„Ein Test ermittelt Systemeigenschaften eines [zu untersuchenden] Systems [...] und liefert Erkenntnisse über das System, insbesondere ob das System zuvor definierte Ziele, Anforderungen oder Hypothesen ganz, teilweise oder nicht erfüllt. Ein Test umfasst stets einen Testfall, eine Testumgebung und eine Testinterpretation.“¹⁷⁹

¹⁷⁵ vgl. Matthiesen, S. et al. 2013b

¹⁷⁶ vgl. Matthiesen, S. et al. 2014a

¹⁷⁷ vgl. Albers, A. et al. 2010

¹⁷⁸ Eigene Definition

¹⁷⁹ vgl. Ebel, B. 2015, S.137

Definition: Testfall
 „Ein Testfall beschreibt Randbedingungen, Eingangsgrößen und das erwartete Systemverhalten eines Systems unter Test.“¹⁸⁰

Neben den Begrifflichkeiten des IPEK-XiL-Framework sind die Begrifflichkeiten Nutzungs-, Nutzer- und Geräteverhalten relevant für diese Arbeit. Sie werden im Folgenden definiert. Dabei werden bestehende Definition aus der Automobilbranche genutzt und auf den Kontext von Power-Tools übertragen. In der Automobilbranche wird häufig von Fahrverhalten und Fahrmanövern gesprochen, ebenso wie in der Sozialforschung von dem Mediennutzungsverhalten und Nutzungssituationen die Rede ist.¹⁸¹ „Das Fahrverhalten umfasst das Gesamtverhalten des Fahrer-Fahrzeug-Umwelt-Regelkreises.“¹⁸² Das Fahrerverhalten beschreibt das Verhalten des Fahrers beim Führen seines Kraftfahrzeugs. Das Fahrzeugverhalten beschreibt das fahrzeug-spezifische Verhalten, also wie das Fahrzeug auf die Befehle des Fahrers oder auf Störungen reagiert.¹⁸³ Ein Fahrmanöver ist eine Aktion bzw. Aktionsfolge (Aneinanderreihung mehrerer Aktionen) eines Verkehrsteilnehmers, welche die aktuelle Fahr-situation in eine neue Fahrsituation überführt. Ein Fahrmanöver ist ein definierter, wiederkehrender Vorgang, der zu einer Änderung des Fahrverhaltens führt.¹⁸⁴ Ein Fahrmanöver definiert unter anderem Beschleunigungen, Kurvenfahrten, konstante Fahrten und Stillstände, welche die Vergleichbarkeit verschiedener Fahrzeuge ermöglicht (vgl. Abbildung 2-18).¹⁸⁵

Validierungs-Ziel		Anwendung und Testfall (Fahrmanöver)				Bewertungskriterien		
Technische Funktion	Validierungsthema und -ziel	Manöver-beschreibung	Fahreingaben	Fahrzeug-bedingungen	Umwelt-bedingungen	Analyse-kriterien (+ Ziele)	Bewertungs-kriterien (+ Ziele)	Objektivierung
...
Elektrisches Fahren ²	Elektrisches Fahrerlebnis im Hybridfahrzeug in der Stadt	Bestimmung der maximalen elektrischen Beschleunigung	Gaspedal-Sprung aus dem Stillstand, Pedalwert wird nach jedem Beschleunigungsversuch gesteigert (1%, 2%, 3%, ...)	Batterieladezustand > 80%	Temperatur = 20°C	Geschwindigkeit, Beschleunigung (Ziel: bei v = 0, a > 3 m/s ²)	Urbanes E-Fahr-Erlebnis, Dynamik	
...

Abbildung 2-18: beispielhafter Auszug aus einem Manöverkatalog¹⁸⁶

¹⁸⁰ vgl. Ebel, B. 2015, S.137

¹⁸¹ vgl. Schneider, J. H. 2010

¹⁸² Schneider, J. H. 2010, S.24

¹⁸³ vgl. Zomotor, A 1991

¹⁸⁴ vgl. Schneider, J. H. 2010

¹⁸⁵ vgl. Matros, K. et al. 2015; Albers, A. et al. 2015

¹⁸⁶ Bildquelle: in Anlehnung an Matros, K. et al. 2015; Albers, A. et al. 2015

Im Rahmen dieser Arbeit sind die Begrifflichkeiten Verhalten, Nutzungsverhalten, Anwenderverhalten und Power-Tool-Verhalten wie folgt definiert:

Definition: Verhalten

Als Verhalten wird die Reaktion eines Systems auf konkrete Einflussgrößen (Kräfte, Energie, Stoff, Information) in einem bestimmten Zeitraum verstanden.¹⁸⁷

Definition: Anwenderverhalten

Das Anwender- oder Nutzerverhalten beschreibt das Verhalten eines Anwenders beim Nutzen eines Power-Tools.¹⁸⁸

Definition: Nutzungsverhalten

Das Nutzungsverhalten beschreibt das Verhalten des Gesamtsystems bestehend aus Anwender, Power-Tool und Umwelt. Das Nutzungsverhalten kann bei der realen Benutzung von Power-Tools beobachtet werden. Es ist abhängig vom Anwender, dem verwendeten Power-Tool, der Umwelt und dem Arbeitsziel.¹⁸⁹

Definition: Power-Tool-Verhalten

Das Power-Tool-Verhalten beschreibt das gerätespezifische Verhalten, wie das Power-Tool auf die Interaktion mit einem Akteur oder auf Störungen reagiert.¹⁹⁰

Äquivalent zur Definition des Fahrverhaltens, ist das Nutzungsverhalten abhängig vom Anwender, der Anwendung und dem Anwendungsziel, dem Power-Tool, der Umwelt und dem Arbeitsziel. Das Nutzungsverhalten setzt sich aus unterschiedlichen Nutzungssituationen und Aktionen in einem situativen Kontext zusammen.¹⁹¹ Für eine Vergleichbarkeit über mehrere Anwender hinweg, muss das Nutzungsverhalten geclustert und abstrahiert werden, um es in Anwendungsfälle (generalisierte

¹⁸⁷ In Anlehnung an Zingel, C. 2013 S.24

¹⁸⁸ In Anlehnung an die Definition Fahrerverhalten nach Schneider, J. H. 2010, S.24

¹⁸⁹ In Anlehnung an die Definition Fahrverhalten nach Schneider, J. H. 2010, S.24

¹⁹⁰ In Anlehnung an die Definition Fahrzeugverhalten nach Zomotor, A. 1991

¹⁹¹ vgl. Schmidt, S. et al. 2015

Tätigkeiten) zu überführen. Zur Validierung werden aus den Anwendungsfällen Testfälle abgeleitet. Das situationsabhängige Nutzungsverhalten kann in Nutzungssituationen oder Nutzungszustände unterteilt werden. Für den Wechsel von einer Nutzungssituation in eine andere ist eine Aktion bzw. Aktionsfolge notwendig. In der Literatur werden diese Nutzungssituationen als Ausprägung eines Anwendungsfalls, Instanzen eines Anwendungsfalls oder auch als Anwendungsfall-Szenarien bezeichnet.¹⁹² Kapitel 2.2.5 geht im Detail auf Szenarien ein.

2.4.3 Studien in der Gerätebranche Feld vs. Labor

Die Studienart besitzt einen entscheidenden Einfluss auf die Untersuchungsergebnisse. Dabei bezeichnet „im Feld“ direkt in der natürlichen Umgebung beim Anwender, den Kunde oder den Konsumenten und „im Labor“ eine künstliche und kontrollierte Umwelt. Nach BECKER ist eine scharfe Unterteilung jedoch nicht möglich, vielmehr sollte man von einem Kontinuum mit beliebigen Zwischenformen sprechen¹⁹³.

Eine **Feldstudie** – auch Anwendungsstudie genannt – ist eine Analyse des Anwenders in seiner eigenen natürlichen Umgebung, während er seiner täglichen Arbeit nachgeht¹⁹⁴. Der Anwender wird bei seiner Arbeit möglichst nicht abgelenkt oder unterbrochen und es sind reale Umwelteinflüsse und Randbedingungen vorhanden, die im Labor nicht oder nur bedingt nachgestellt werden könnten. Feldstudien bieten unschätzbare Einblicke in die Arbeitsweise des Anwenders und stellen eine wichtige Methoden dar, um unbewusste Kundenanforderungen aufzudecken¹⁹⁵. Der Vorteil von Ergebnissen, die im Feld gewonnen wurden, ist ihre externe Validität¹⁹⁶, wonach die Ergebnisse eines Experiments auf die Realität übertragbar sind¹⁹⁷. Feldstudien haben aber auch einige Nachteile. Sie sind mit einem hohen zeitlichen und finanziellen Aufwand verbunden. Zudem ist es schwierig die Störvariablen in der realen Umgebung zu kontrollieren. Dies kann die interne Validität¹⁹⁸ stark beeinträchtigen.

¹⁹² vgl. Eigner, M. et al. 2012

¹⁹³ vgl. Becker, F. 2017

¹⁹⁴ vgl. Courage, C. & Baxter, K. 2005

¹⁹⁵ vgl. Jakob, N. 2002

¹⁹⁶ Die interne und externe Validität sind Gütekriterien einer empirischen Untersuchung. Die externe Validität bezeichnet die Generalisierbarkeit und Repräsentativität von einem gefundenen Ergebnis auf andere Personen, Situationen und/oder Zeitpunkte. vgl. Scherbaum, S. / Rudolf, M. 2018

¹⁹⁷ vgl. Pohl, K. & Rupp, C. 2011

¹⁹⁸ Die interne und externe Validität sind Gütekriterien einer empirischen Untersuchung. Ein Experiment ist intern valide, wenn die Messwerte der abhängigen Variable auf unabhängige Variablen zurückzuführen sind. vgl. Scherbaum, S. / Rudolf, M. 2018

Laborstudien finden in einer künstlichen und kontrollierten Umwelt statt. Hierdurch können Störfaktoren kontrolliert oder ausgeschaltet werden. Unabhängige Variablen können relativ einfach verändert und die Effekte auf die abhängigen Variablen klar zugeordnet werden. Eine Laborstudie lässt sich besser wiederholen, da die Versuchsbedingungen klar definiert und meist reproduzierbar sind. Zudem können Messdaten erhoben werden, die im Feld schwierig zu erheben sind. Weitere Vorteile sind, dass Versuchspersonen frei den Bedingungen zugeordnet und Messungen mit intensiverem Messtechnikeinsatz durchgeführt werden können. Hinzu kommt, dass der Erfolgszwang nicht so hoch ist, wie oftmals im Feld, da die Investitionen in die Untersuchung und die Risiken wesentlich geringer sind. Nachteile von Laboruntersuchungen sind vor allem die künstliche Arbeitssituation. Ergebnisse sind daher nicht ohne Weiteres auf die Arbeitsweise in der realen Umgebung übertragbar.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Feldstudien den Vorteil bieten Anwender in ihrer typischen Arbeitsumgebung zu erfassen. Damit ist es möglich das reale Nutzungsverhalten zu erfassen und Tätigkeiten zu identifizieren, welche im Labor gegebenenfalls nicht auftreten (Fehlanwendungen, Handlungsweisen, etc.). Allerdings kann der Aufwand von Feldstudien sehr hoch sein und die Beeinflussung durch Störvariablen wie beispielsweise das Wetter, der Untergrund, oder die Anwendung kann nicht so frei variiert werden. Auf die Probandenauswahl ist jedoch bei beiden Studienarten zu achten, da andernfalls Selektionseffekte auftreten können. Diese Arbeit entwickelt Methoden um vorwiegend Feldstudien zu unterstützen.

2.4.4 Fazit

Dieses Kapitel hat einen Einblick in die Methoden der Gerätebranche aufgezeigt. Dabei wurde das IPEK-XiL-Framework vorgestellt und grundlegende Begriffe wie Anwendungsfall und Nutzungsverhalten im Kontext der vorliegenden Arbeit diskutiert. Zudem wurden Vor- und Nachteile von Feld- und Laborstudien diskutiert. Die Methoden der erweiterten Anwendungsfallmodellierung fokussieren die Erhebung des realen Nutzungsverhaltens in der realen Umgebung des Anwenders. Häufig muss dabei ein Kompromiss zwischen der Datenmenge, -qualität und einer Beeinflussung des Anwenders gemacht werden.

2.5 Methoden der Anwendungsfallermittlung

In diesem Kapitel werden Methoden zur Anwendungsfallermittlung vorgestellt. Die in Abbildung 2-19 dargestellten Säulen der Anforderungsermittlung können auf die Ermittlung von Anwendungsfällen und des Nutzungsverhalten übertragen werden. Die Darstellung besteht aus sechs Säulen und ist angelehnt an ZEHNTER ET AL.¹⁹⁹, wessen ursprüngliche Darstellung 4 Säulen besitzt - die Säulen Nutzersimulation und Messtechnik wurden hinzugefügt. Im Folgenden werden die Säulen (1) artefaktbasierte Methoden, (2) Kreativitätsmethoden, (3) Methoden der Nutzersimulation, (4) Beobachtungsmethoden, (5) Befragungsmethoden und (6) Methoden zur messtechnischen Erfassung vorgestellt. Die ersten drei Säulen sind Methoden um Anwendungswissen um Unternehmen zu konsolidieren. Die letzten vier Säulen sind Methoden um Anwendungswissen neu zu generieren.

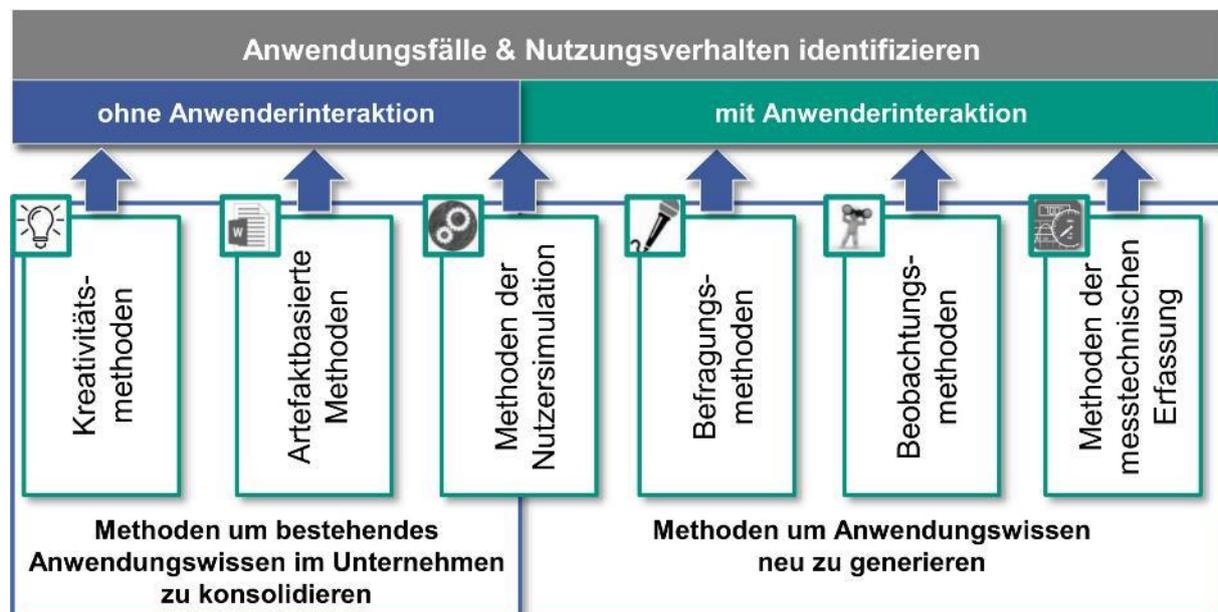


Abbildung 2-19: Methoden der Anforderungsermittlung²⁰⁰

2.5.1 Artefakt-basierte Methoden

Die artefakt-basierten Methoden können für die Identifikation der Systembenutzung eingesetzt werden. Sie basieren auf der Analyse von bereits vorhandenen

¹⁹⁹ vgl. Zehnter, C. et al. 2012

²⁰⁰ Bildquelle: in Anlehnung an Matthiesen S. et al. 2016c nach Zehnter, C. et al. 2012

Dokumenten oder Systemen – sogenannten Artefakten. Hierfür bieten sich folgenden Methoden an:

Die Methode des **Reuse** (dt.: Wiederverwendung) ermöglicht die Untersuchung vorhandener Dokumente, um bereits dokumentierte Anforderungen abzurufen und bei Bedarf erneut einzusetzen²⁰¹. Hilfsmittel für das Vorausdenken oder Identifizieren von Anwendungsfällen können bereits bestehende Informationsquellen, wie beispielsweise Checklisten, Klassifikationen, Leitlinien, die Hauptmerkmalsliste von Feldhusen²⁰², Lastenhefte, Benutzerhandbücher oder technische Dokumentationen darstellen.

Bei der **Systemarchäologie** werden Anforderungen an ein System aus der Dokumentation oder Implementierung eines funktionsfähigen Alt- oder Konkurrenzsystems gewonnen²⁰³. Aus der Analyse Referenzsystemen, sowie von Altgeräten und Servicerückläufern können wertvolle Informationen über das Nutzungsverhalten gesammelt werden. Für CATIC ist die Nutzung und Wiederverwendung von dokumentiertem Wissen ein wesentlicher Erfolgsfaktor des Wissensmanagements²⁰⁴.

Im Zeitalter von Amazon, eBay und Online-Versandhandel spielen die **Analyse von Produktrezensionen** eine zunehmend wichtigere Rolle. Da Kunden darauf vertrauen, was andere Kunden sagen, sind Produktbewertungen ein entscheidender Kauffaktor auf Onlineshopping-Portalen. Produktbewertungen enthalten aber nicht nur für Kunden, sondern auch für Händler und Hersteller wertvolle Informationen. Da Kunden freiwillig Ihre Einschätzung der Produkte abgeben, bietet dies die Möglichkeit einer kostenlosen Marktforschung. Die Auswertung der Produktrezensionen kann Hinweise auf die Verwendung eines Produktes geben, Vor- und Nachteile sowie Qualitätsmängel oder Fehler aufdecken. Da negative Rezensionen häufig von weiteren Kunden mit ähnlichen Erfahrungen und Problemen kommentiert werden, können zudem Rückschlüsse auf die Häufigkeit der Fehler gezogen werden.²⁰⁵

²⁰¹ vgl. Zehnter, C. et al. 2012

²⁰² vgl. Feldhusen, J. et al. 2013

²⁰³ vgl. Pohl, K. & Rupp, C. 2011

²⁰⁴ vgl. Catic, A. 2015

²⁰⁵ vgl. Jordan, F. & Vataman, J. 2018

2.5.2 Kreativitätsmethoden

Kreativitätsmethoden können zur Identifikation von Anwendungsfällen eines Power-Tools ohne die direkte Interaktion mit einem Anwender genutzt werden. Der Einsatz von Kreativitätsmethoden dient im Kontext der Anwendungsfallmodellierung dazu, Ideen und Nutzungsmöglichkeiten an ein zu entwickelndes System zu generieren. Die Gedanken werden in verschiedene Richtungen gelenkt, um eine möglichst große Variation an Nutzungsmöglichkeiten vor auszudenken und das Wissen aller Beteiligten zu bündeln.²⁰⁶ Sie werden meist in Teams oder einem Workshop eingesetzt. Bei der Analyse eines vorhandenen Produktes sind Kreativitätsmethoden meist nicht so hilfreich wie bei Neuentwicklungen. Ausgewählte Kreativitätsmethoden (Brainstorming, Methoden der Ideenfindung und Analogiemethoden) werden im Folgenden näher erläutert.

Zu einer der bekanntesten Kreativitätsmethoden gehört das **Brainstorming**. Durch das spontane Äußern von Ideen, ohne ablehnende Haltung, kann mit dieser Methode eine große Anzahl an Anwendungsfällen und Einflussfaktoren gesammelt und geclustert werden. Die Besonderheit der Brainstorming-Methode liegt in der Kombination der unterschiedlichen Denkansätze der Teilnehmer. Durch eine gemeinsame Zusammenarbeit in der Gruppe (ca. 5-9 Personen) können sich die Teilnehmer durch ihre Beiträge gegenseitig inspirieren und idealerweise ihr Anwendungswissen ergänzen. Sehr gute Erfahrung wurde mit gemischten Teams aus den Abteilungen Entwicklung, Marketing und Erprobung gesammelt. Meist entsteht so ein ganzheitliches Bild über die Power-Tool-Benutzung. Ein Brainstorming eignet sich für eine Bestandsaufnahme und bei einem bereits guten Verständnis über die Nutzung des Power-Tools. Es kann die Ausgangsbasis für eine systematische Variation oder eine Hauptmerkmalliste darstellen, indem die Eigenschaften gesammelt werden, bevor sie miteinander kombiniert werden.

Beim Arbeiten mit der **Hauptmerkmalliste** werden ausgehend von Themenfeldern und Unterthemen durch Assoziationen weitere Erkenntnisse zu den betreffenden Punkten hervorgerufen, die dann zu relevanten Anforderungen führen²⁰⁷. Ein Standardwerk im Bereich der Konstruktionstechnik und des Anforderungsmanagements ist die Hauptmerkmalsliste von FELDHUSEN.

²⁰⁶ vgl. Pohl, K. & Rupp, C. 2011, S. 86

²⁰⁷ vgl. Feldhusen, J et al. 2013

Die **Methode der systematischen Variation** oder der morphologische Kasten unterstützen die Erzeugung von Lösungsvarianten durch eine zielgerichtete Veränderung bekannter Teillösungen oder Lösungselementen. Hierfür wird ein Problem im Vorfeld zunächst eindeutig beschrieben, bevor es systematisch in kleinste Einheiten (Teilprobleme) unterteilt wird. Für diese Teilprobleme werden nun Teillösungen ermittelt, die später zu einer Gesamtlösung zusammengefügt werden.

Bei den **Methoden der Ideenfindung** denkt sich der Entwickler in die Rolle einer anderen Person wie beispielsweise den Anwender, das Wartungs- oder Reinigungspersonal hinein. Damit kann das Produkt und dessen Funktionalität gezielt aus einer anderen Sicht wahrgenommen werden²⁰⁸. Indem die Arbeitsabläufe durchdacht und weitere mögliche Nutzungsmöglichkeiten vorausgedacht werden, können Anwendungsfälle identifiziert und detailliert werden. Methoden die die Ideenfindung unterstützen, sind die Walt-Disney-Methode und die Denkhüte von De Bono (englisch Six Thinking Hats) sowie Scamper, Osborn-Checkliste, Catwoe oder die Kopfstandmethode.²⁰⁹ Bei der Walt-Disney-Methode werden die Sichten des Realisten, des Kritikers, des Träumers und des Visionärs eingenommen. Bei den Denkhüten sind es Gefühlszustände (analytisch, emotional, kritisch, kreativ, ordnend und optimistisch) die eingenommen werden.

Eine weitere Methode zur Entwicklung von Anwendungsfällen stellt die **Analogiemethode** dar. Bei dieser Methode werden die Problemstellungen und der Sachverhalt zunächst auf einen anderen Themenbereich abstrahiert. Die Teilnehmer diskutieren daraufhin Lösungsmöglichkeiten zur abstrahierten Aufgabe, ohne dabei die rückwirkenden Auswirkungen auf das Ursprungsproblem zu betrachten. Die entwickelten Lösungsmöglichkeiten werden anschließend auf das Ausgangsproblem zurücktransformiert. Im Kontext der Anwendungsfall-Analyse kann die Analogiemethode dazu führen, Nutzungsmöglichkeiten zu identifizieren, die aktuell noch nicht mit dem Power-Tool möglich sind. Auch für das Identifizieren oder Vorhersagen von Fehlanwendungen kann die Analogiemethode unterstützen.

²⁰⁸ vgl. Grande, M. 2014, Ebel, B. 2015

²⁰⁹ vgl. Grande, M. 2014 Zehnter, C. et al. 2012

2.5.3 Methoden der Nutzersimulation

Bei der Nutzersimulation – häufig als Hands-on Erprobung bezeichnet - versetzt sich der Entwickler und entsprechende Stakeholder in die Rolle einer anderen Person, wie beispielsweise den Anwender, dem Wartungs- oder Reinigungspersonal. Sie simulieren oder führen Tätigkeiten dieser Person aus. Bei solch einer Simulation werden die Verwendung, Bedienung, mögliche Arbeitsabläufe sowie mögliche Fehlbedienungen des Power-Tools durch den Entwickler praxisnah durchgeführt²¹⁰. Somit können Anforderungen an das zu entwickelnde System identifiziert oder konkretisiert werden.

Mithilfe der **Persona-Methode** können sich Entwickler in den Kunden hineinversetzen, und damit dessen Bedürfnisse besser antizipieren.²¹¹ „*Persona ist eine sinnvolle Methode, um den Kunden immer gegenwärtig zu haben.*“²¹² Die Persona Methode ist eine Darstellungsweise, mit der Stakeholder über eine fiktiv beschriebene Person verkörpert werden. Ziel der Persona Methode ist es, Stakeholder nicht nur mit abstrakten Eigenschaften zu definieren, sondern sie lebendig zu machen²¹³. Personas werden häufig im Rahmen eines Workshops modelliert und für die wichtigsten Kundengruppen ausgearbeitet. Personas erhalten einen aussagekräftigen Vor- und Nachnamen. Dabei ist der Vorname meist ein gebräuchlicher regionaler Vorname (z. B. Sören) und der Nachname eine wichtige Charaktereigenschaft (z.B. Sorglos). Beispiele sind: Ingo IKEA und Lisa LUSTIG.²¹⁴ Zur effizienten Anwendung der Persona-Methode wurde eine auf Power-Tools angepasste PT-Persona-Vorlage²¹⁵ entwickelt (vgl. Kapitel 14.5, S. 208). Besondere Merkmale der Vorlage sind, die psychischen und physischen Eigenschaften (z. B. Ausdauer und Kraft), die psychografischen Eigenschaften (Motiv und Ziel der Aufgabenerfüllung), die Beschreibung der Arbeitstätigkeiten, die Fachkenntnisse sowie die Beschreibung des verwendeten Power-Tools.

²¹⁰ vgl. Carlson, L. E. & Sullivan, J. F. 1999, Grande, M. 2014

²¹¹ vgl. Courage, C. & Baxter, K. 2005

²¹² Albers, A. et al. 2016a, S.20

²¹³ vgl. Nickl, M. 2009

²¹⁴ Entstanden in Workshop mit Studierenden der Gerätekonstruktionsvorlesung SS2017

²¹⁵ Entwickelte Vorlage: PT -Persona-Vorlage siehe Anhang Kapitel 14.5, S.207

2.5.4 Beobachtungsmethoden

Beobachtungsmethoden können zum Einsatz kommen, falls ein Anwender keine Zeit oder nicht die nötigen Fähigkeiten besitzt, sein Wissen zu kommunizieren oder um implizite Tätigkeiten zu identifizieren²¹⁶. Die **Beobachtung** dient dem direkten Aufnehmen und Begleitung der Anwender bei ihrer alltäglichen Arbeit. Die Aufgabe des Beobachters besteht in dem Erfassen und Hinterfragen der Arbeitsschritte sowie unklarer Prozesse. Die Beobachtung kann verdeckt, offen oder begleitend erfolgen. Zu den bekanntesten Methoden zählt das Apprenticing sowie Methoden des Perspektivenwechsels²¹⁷.

Apprenticing-Methode: Apprenticing bezeichnet das Anlernen bei einem erfahrenen Anwender. Die Methode wird auch verfeinerte Feld-Beobachtung²¹⁸ bezeichnet. Der Entwickler, begleitet nicht nur den Arbeitsalltag eines Anwenders, sondern geht bei diesem in die Lehre. Somit lernt er die Bedienung des Power-Tools und Arbeitsweisen realitätsnah kennen. Allerdings sollten die getätigten Arbeits- und Bewegungsabläufe hinterfragt werden, um implizite Anforderungen zu identifizieren und Verbesserungspotenziale abzuleiten²¹⁹. Apprenticing kann mit der Think-Aloud-Methode (vgl. Kapitel 2.5.6.4) kombiniert werden.

Perspektivenwechsel: Unter Perspektivenwechsel wird das Einnehmen unterschiedlicher Betrachtungswinkels auf die Power-Tool-Benutzung verstanden. Häufige Blickwinkel sind: Mikro/Makro Perspektive, interne/externe Sicht, Außensicht/Egoperspektive/3rd-person view (Blick über die Schulter), Vogel- oder Froschperspektive oder auch Zeitlupe (Highspeed) oder Zeitraffer. Abbildung 2-20 zeigt Beispiele für einen Perspektivenwechsel bei Power-Tools und Consumables²²⁰.

²¹⁶ vgl. Pohl, K. & Rupp, C. 2011

²¹⁷ vgl. Zehnter, C. et al. 2012

²¹⁸ vgl. Beyer, H. R. & Holtzblatt, K. 1995

²¹⁹ vgl. Grande, M. 2014

²²⁰ vgl. Matthiesen, S. et al. 2017b

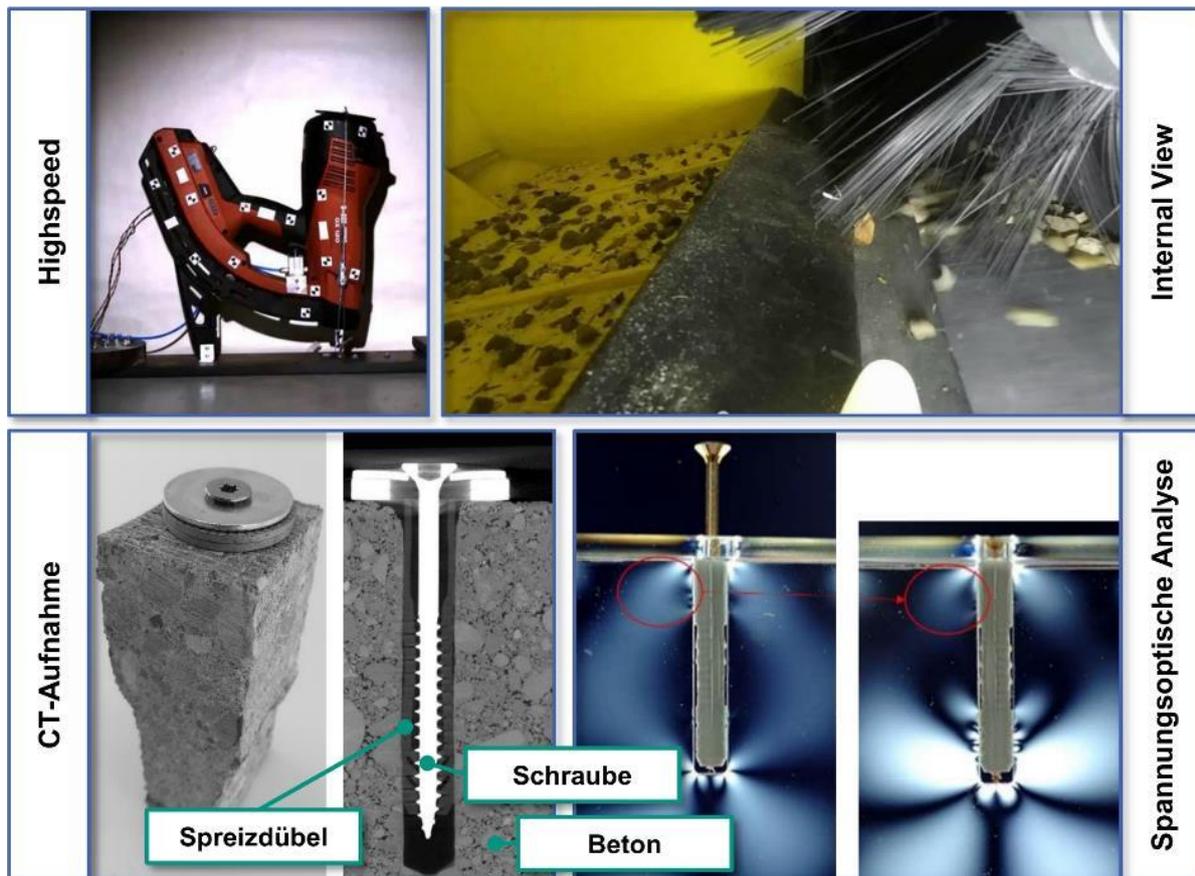


Abbildung 2-20: Methoden für einen Perspektivenwechsel²²¹

2.5.5 Befragungsmethoden

Mit Befragungsmethoden werden Anforderungen durch die explizite Befragung von Anwendern oder anderen Stakeholdern ermittelt. Ziel davon ist, das bewusste Wissen der Befragten nach außen zu tragen und den Zeitraum einer Beobachtung zu verlängern²²². Dies kann durch die nachfolgenden Methoden in einer schriftlichen oder mündlichen Befragung erfolgen. Hierzu zählen Interviews, Fragebogen, Tagebuchmethode oder die On-Site-Customer Technik.²²³ Diese Methoden werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Interview: In der Befragungsmethode des Interviews werden die Anwender in einer standardisierten Form, von einem Moderator befragt. Dabei stellt der Interviewer einem oder mehreren Probanden Fragen und protokolliert deren Antworten.

²²¹ Bildquelle: in Anlehnung an Matthiesen, S. et al. 2017b

²²² Pohl, K. & Rupp, C: 2011, S.11

²²³ vgl. Grande, M. 2014; Zehnter, C. et al. 2012

Fragebogen: Fragebogen können sowohl schriftlich auf Papier als auch in digitaler Form durchgeführt werden. Dabei kann der Fragebogen vom Probanden selbstständig ausgefüllt oder von einem Interviewer bei der direkten Befragung genutzt werden. Der Aufwand zur Erstellung eines Fragebogens ist meist sehr hoch, allerdings kann mit ihm eine große Anzahl an Teilnehmern erreicht werden²²⁴.

Tagebuchmethode: Bei der Tagebuchmethode teilt der Anwender seine Erfahrungen und Erlebnisse mit dem Power-Tool in regelmäßigen Intervallen dem Entwickler schriftlich mit. Hiermit können über einen längeren Zeitraum kontinuierlich Informationen gesammelt und Veränderungen sichtbar werden. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber Fragebögen oder Interviews, bei welchen lediglich eine Momentaufnahme entsteht.

On-Site-Customer: On-Site-Customer ist eine Beobachtungs- und Befragungsmethode, bei welcher ein direkter Austausch zwischen Entwickler und Anwender am Anwendungsort stattfindet (z.B. Interview auf der Baustelle). Dies hat den Vorteil, dass Frage- und Problemstellungen an der realen Anwendungssituation diskutiert werden können. Die fehlende Distanz hilft Missverständnisse vorzubeugen.²²⁵

2.5.6 Methoden und Messtechnik zum Messen in der Anwendung

Um das Nutzungsverhalten zu erfassen ist der geeignete Einsatz von Untersuchungsmethoden und Messtechnik notwendig. Hierfür kann Messtechnik genutzt werden, die sich am Anwender befindet, wie Motion Capturing, Kraftmessfolien und Eye-Tracking sowie Messtechnik, die sich im Gerät befindet, um Leistungsdaten des Power-Tools zu erfassen. Zudem kann externe Messtechnik wie Fotos und Video-Kameras eingesetzt werden. Im Folgenden wird eine Auswahl an Messtechnik vorgestellt.

2.5.6.1 Motion Capturing

Für die Beschreibung des Anwenderverhaltens ist die Erfassung der Körperhaltung, der Bewegungen und der Gelenkwinkel sinnvoll. Motion Capturing bezeichnet ein

²²⁴ vgl. Rupp, C. & Sophisten 2014, S. 96

²²⁵ vgl. Beck, K. & Andres, C. 2007

Verfahren, mit dem Bewegungen erfasst und in ein computerlesbares Format umgewandelt werden können. Dies ermöglicht es, Bewegungen aufzuzeichnen, zu analysieren und weiterzuverarbeiten. Die Einsatzmöglichkeiten für Motion Capturing sind vielfältig. Die Anwendungsfelder reichen von Bewegungsanalysen im Ingenieurwesen und der Robotik, über die biomedizinische Forschung, bis hin zum Leistungssport und der Unterhaltungsindustrie²²⁶. Motion Capturing-Verfahren können in optische und am Körper angebrachte Verfahren unterteilt werden.

Die **optischen Verfahren** nutzen eine oder mehrere Kamerasysteme. Sie werden in markerbasierte und markerlose Systeme unterteilt. Die markerlosen Verfahren erfassen über eine Bilderkennung die Bewegungen eines Probanden. Die Bilderkennung ist allerdings stark vom Kontrast, der Person und des Hintergrunds abhängig. Markerlose Verfahren sind daher kaum verbreitet²²⁶. Markerbasierte Systeme strahlen selbst Licht aus, oder reflektieren infrarotes Licht, das von einer Kamera ausgesendet wird. Daher sind sie weniger anfällig hinsichtlich Beleuchtung und Kontrast. Bei den optischen Verfahren handelt es sich um stationäre Systeme, bestehend aus 6 bis 12 Kameras. Die Marker müssen zu jedem Zeitpunkt im Blickfeld mindestens zweier Kameras befinden um die Position im Raum berechnen zu können. Häufiges Problem dieser Systeme ist die Überdeckung von Markern. Optische Motion Capturing-Verfahren werden aufgrund der notwendigen Kamerasysteme meist nur unter Laborbedingungen eingesetzt.²²⁶

Es besteht eine große Vielfalt für **am Körper angebrachte Motion Capturing Verfahren**. Am weitesten verbreitet sind initiale Systeme (IMU), welche auf dem Prinzip der Massenträgheit basieren. Ausgefallene Messsysteme wie elektro-mechanische Systeme mit Exoskelett, elektromagnetische Systeme mit niederfrequenten elektromagnetischen Feldern, sowie akustische Systeme, die mit Ultraschallwellen arbeiten, werden in dieser Arbeit nicht behandelt²²⁷. Im Folgenden werden initialen Motion Capturing Systemen (engl. Inertial Measurement Unit (IMU)) detailliert beschrieben. IMUs werden am Körper angebracht und bestehen meist aus einer Kombination aus mehreren Sensoren (Beschleunigungssensoren, Gyroskopen und Magnetfeldsensoren). Zur Erfassung der Bewegung werden ca. 17 Sensoren (abhängig vom verwendeten System) am Probanden angebracht. Die Sensoren

²²⁶ vgl. Gudehus, T. C. 2009

²²⁷ weiterführende Informationen sind in Gudehus, T. C. 2009 zu finden

können zum einen an einem eng anliegenden Anzug angebracht werden, der eine Relativbewegung zwischen Körper und Sensor verhindert. Alternativ können sie auch mit Bändern oder Bodytape befestigt werden (vgl. Abbildung 2-21).

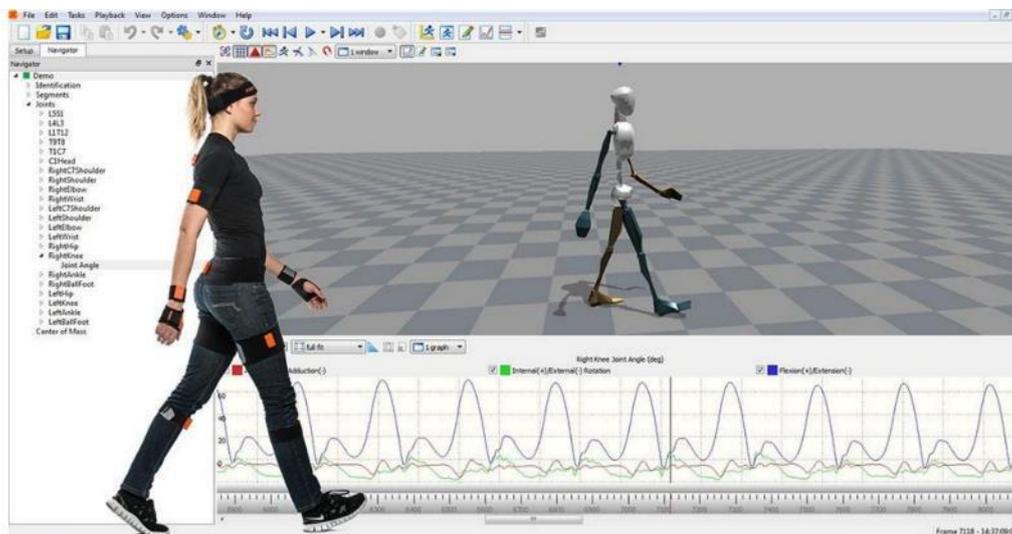


Abbildung 2-21: Motion Capturing System MVN BIOMECH Awinda von xsens ²²⁸

Die Datenübertragung zu einer Empfangsstation findet entweder von jedem Sensor individuell oder durch ein Übertragungsmodul statt. Das Übertragungsmodul ist kabelgebunden mit den Sensoren verbunden und überträgt alle Sensorsignale gebündelt an die Empfangsstation per WLAN. Durch kabelgebundene Sensoren kann eine höhere Aufnahmefrequenz erreicht werden, allerdings kann die Verkabelung die Bewegungsfreiheit des Anwenders einschränken. Vorteile der IMUs im Vergleich zu optischen Systemen sind, dass es nicht zu Überdeckungen von Sensoren kommen kann, die Sensoren unter der Arbeitskleidung getragen werden können und das System nicht an ortsfeste Kameras gebunden ist. Somit können IMUs die Bewegung eines Probanden nicht nur unter Labor-Bedingungen, sondern auch in der realen Anwendung (Feld-Studie) erfassen. Die drahtlose Übertragung mit WLAN reicht im Freien bis ca. 100m. Ein Nachteil gegenüber ortsfesten optischen Systemen ist, dass es bei IMUs zu Drifts durch Integrationsfehler kommen kann. Außerdem können elektromagnetische Felder, ferromagnetische Materialien (Metallgegenstände) und Elektromotoren die Sensoren beeinflussen. Bei manchen Systemen lässt sich die Signalqualität durch eine spezielle Kalibrierung (magnetic field calibration) verbessern.

²²⁸ Bildquelle: www.xsens.com

Bei den gängigen Motion Capture Systemen werden die Sensordaten auf ein biomechanisches Modell übertragen. Diese Modelle setzen sich aus Körpersegmenten zusammen, welche durch Gelenke miteinander verbunden sind. Die Hersteller Vicon²²⁹, Noraxon²³⁰, und xsens²³¹ arbeiten mit einem biomechanisches Modell mit 23 Segmenten, 23 Gelenken und 17-20 Sensoren zur Datenerfassung. Neben den Sensoren für die Körpersegmente können zusätzliche Sensoren an beliebigen Gegenständen angebracht werden. Mit diesen sogenannten prob-Sensoren ist es beispielsweise möglich die Orientierung eines Power-Tools zu erfassen. Motion Capturing ist ein geeignetes Messsystem, um das Anwenderverhalten zu erfassen. Durch eine Quantifizierung der Bewegungsabläufe und Gelenkwinkel lassen sich Analysen zu Gelenkkomfortbereichen und Häufigkeitsanalysen erzeugen (vgl. Kapitel 8.3.3.1). Für Analysen von Anwendern in der realen Anwendung, bieten sich vor allem IMUs an. Diese Systeme sind nicht ortsgebunden und benötigen keine stationären Kamerasysteme.

2.5.6.2 Kraftmessfolien

Für die Beschreibung des Anwenderverhaltens kann die Erfassung der Bedienkräfte (Greif- und Andruckkraft) sinnvoll sein. Die Anpresskräfte sind wichtige Auslegungskriterien für die Entwicklung von Power-Tools, da sie einen starken Einfluss auf die Impedanz des Hand-Arm-Systems besitzen²³². Mithilfe von kapazitiven Kraftmessfolien oder einem Kraftmesshandschuh können die wirkenden Normalkräfte erfasst werden. Hierfür werden die statischen oder dynamischen Drücke auf die Messfolien bestimmt. Im Folgenden wird die Funktionsweise der Kraftmessfolie „pliance-x“ der Firma Novel aufgezeigt. Das Produkt besteht aus einer flexiblen Messfolie – auch Sensormatte genannt – einem Datenlogger und einer Auswertungssoftware. Die Funktionsweise erfolgt durch eine kraftabhängige Signaldämpfung der Folie. Die Folie besteht aus einer Vielzahl von kapazitiven Sensoren, welche mit einem Dielektrikum aus kompressiblem Material gefüllt sind. Wird die Folie nun mit einer Kraft beaufschlagt, ändert sich die Kapazität der Sensoren und ein eingespeistes zeitveränderliches Signal wird dadurch gedämpft. Diese

²²⁹ VICON 2017

²³⁰ Noraxon U.S.A. Inc. 2018

²³¹ Xsens Technologies B.V. 2018

²³² vgl. Matthiesen, S. et al. 2017

Signaldämpfung entspricht der Kraft, welche auf jedem einzelnen Sensor lastet. Abbildung 2-22 zeigt den Kraftmesshandschuh in Kombination mit dem Motion Capturing System xsens (rechts) und die Druckverteilung der Sensorelemente (links).

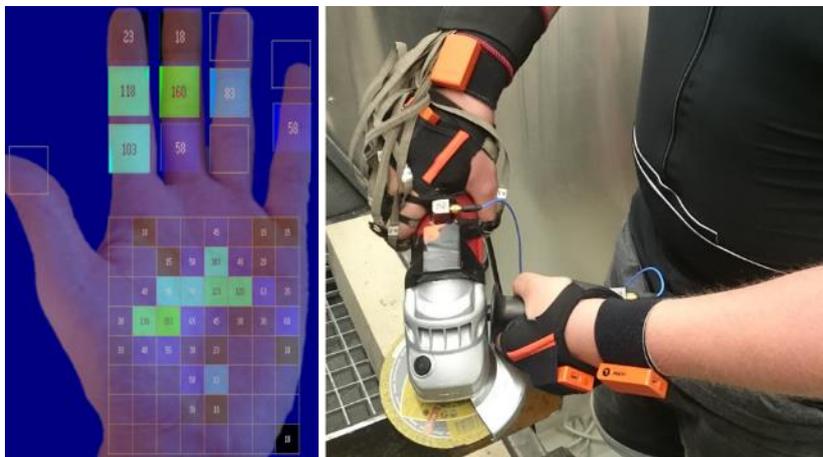


Abbildung 2-22: novel Kraftmesshandschuh und xsens Motion Capturing²³³

Kraftmessfolien und Kraftmesshandschuhe eignen sich zur Identifikation des Anwenderverhaltens, allerdings ist die Anbringung der Kraftmessfolie mit einem gewissen Aufwand verbunden. Die Kraftmessfolien müssen mit Klebeband befestigt werden und dicken einen Griff somit um ca. 1-2 mm auf. Dies kann bei Anwendern mit kleinen Händen bereits zu Problemen beim Umgreifen führen.

2.5.6.3 Eye-Tracking

Um das Nutzungsverhalten zu analysieren, kann es hilfreich sein, den Blickwinkel des Anwenders einzunehmen (Egoperspektive). Um jedoch exakt zu detektieren wo der Anwender hinblickt und worauf er dabei fokussiert, muss Eye-Tracking eingesetzt werden. Die Eye-Tracking Technologie ist eine Messtechnik zur Erfassung der menschlichen Augenbewegungen beim Betrachten eines Gegenstandes (Stimulus)²³⁴. Aufgrund der Fortschritte in der Entwicklung der Technologie, den gesunkenen Anschaffungskosten der Eye-Tracking Systeme und gleichzeitiger Verbesserung von Genauigkeit und immer einfacher werdende Bedienung, wird Eye-Tracking verstärkt zur Unterstützung empirischer Untersuchungen eingesetzt²³⁵. Eye-Tracking wird

²³³ Bildquelle: in Anlehnung an Matthiesen, S. et al. 2016c

²³⁴ vgl. Duchowski, A. T. 2009

²³⁵ vgl. Holmqvist, K. et al. 2011, S. 11

bereits in der Wahrnehmungsforschung, in Marktforschungsanalysen und bei Usability-Untersuchungen eingesetzt. Am weitesten verbreitet sind mobile Eye-Tracking Brillen oder stationäre Remote-Systeme²³⁶. Remote-Systeme erfassen den Blickpfad auf einem Monitor, weshalb sie für die Erfassung des Anwenderverhaltens im Feld nicht eingesetzt werden können. Eye-Tracking Brillen bieten den Vorteil, dass der Proband seinen Kopf frei bewegen kann und sein Sichtfeld nicht eingeschränkt ist. Der Proband kann Gegenstände in die Hand nehmen und seinen Stimulus frei wählen. Dies gestaltet allerdings die Auswertung aufwendiger. Abbildung 2-23 zeigt eine Eye-Tracking Brille sowie die entsprechenden Blickpunkte dazu: Proband mit Eye-Tracking Brille (o.l.), Analyse Bedienung Blasgerät (o.r.), Modell Nageldetektion (u.l.), Bohrfutterwechsel (u.r.)²³⁷. Die Auswertung der Blickbewegungen kann durch ein Klassierungsschema unterstützt werden, bei dem die Blickbewegungen beispielsweise die betrachteten Bauteile, die Funktionen oder der Erkennungsgrad kategorisiert werden²³⁸. Durch die Analyse des Blickpfades kann erforscht werden, in welcher Reihenfolge und wie lange sich ein Betrachter mit gewissen Elementen eines Objekts beschäftigt. Das Fixieren wird dabei als Fixation und die Sprünge zwischen den Fixationen als Sakkaden bezeichnet. LOHMEYER ET AL. haben herausgefunden, dass Probanden bei der Analyse von Systemen unterschiedliche Blickstrategien verfolgen – sie nennen das Verschaffen eines Überblicks Skimming und die detaillierte Betrachtung Scrutinizing²³⁹.

Für die Erfassung des Anwenderverhaltens und dem Einnehmen der Anwenderperspektive können Eye-Tracking Brillen eingesetzt werden. Eye-Tracking kann sinnvoll eingesetzt werden, wenn viele visuelle Informationen vom Anwender aufgenommen werden müssen. Dies ist beispielsweise bei der Erstbenutzung eines Power-Tools oder bei dem Abgleich zwischen Bedienungsanleitung und Gerät sinnvoll. Bei Usability-Analysen besitzt Eye-Tracking ebenfalls ein großes Potenzial. So hat beispielsweise MUSSGNUG ein Verfahren entwickelt, mit welchem über den Abstand von Hand zu Blickpunkt die Usability (vgl. Kapitel 2.3.3) eines Systems

²³⁶ vgl. Holmqvist, K. et al. 2011, S.9

²³⁷ vgl. Lohmeyer, Q. et al. 2013; Ruckpaul, A. 2017

²³⁸ vgl. Matthiesen, S. et al. 2017a

²³⁹ vgl. Lohmeyer, Q. et al. 2015

beurteilt werden kann²⁴⁰. Hieraus lassen sich Arbeitsweisen, erfolgreiche Blickstrategien sowie Optimierungspotenzial für die Power-Tool-Entwicklung ableiten.

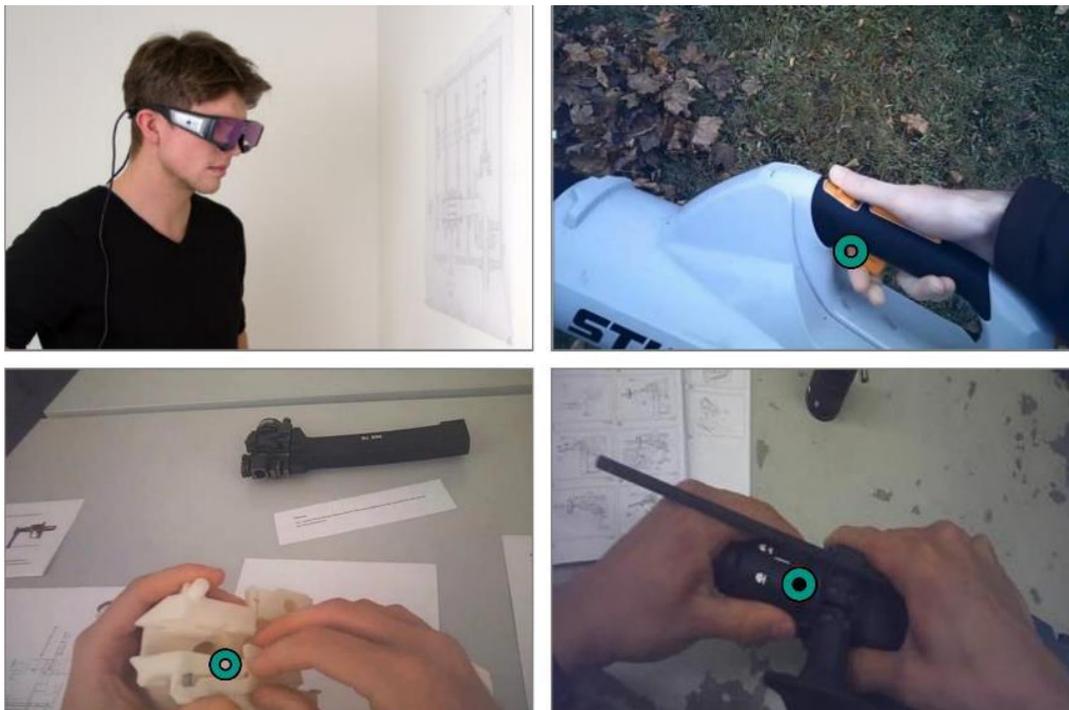


Abbildung 2-23: Eye-Tracking in der Anwendung: Proband mit Eye-Tracking Brille (o.l.), Analyse Bedienung Blasgerät (o.r.), Modell Nageldetektion (u.l.), Bohrfutterwechsel (u.r.)²⁴¹

Bei einigen Fragestellungen ist es jedoch nicht notwendig die Blickbewegung des Anwenders aufwendig mit Eye-Tracking zu erfassen, sondern ausreichend, lediglich die Egoperspektive mit Hilfe einer Helm- oder Brustkamera aufzunehmen. Das Potenzial einer Eye-Tracking-Analyse bei professionellen Anwendern ist teilweise geringer als bei Laien. Sie beherrschen das Gerät und die Arbeitsweise „blind“ und weisen völlig andere Blickpfade auf als ein Laie.

2.5.6.4 Think-Aloud – Methode des lauten Denkens

Als weitere Informationsquelle, um die Handlungen und Arbeitsweisen des Anwenders auswerten und interpretieren zu können, kann die Think-Aloud Methode genutzt werden. Bei Think-Aloud werden die Probanden in empirischen Studien dazu aufgefordert, ihre Handlungen und Gedanken zu verbalisieren. Dies kann durch eine Protokollanalyse erfolgen, welche nach der Aufnahme transkribiert und mithilfe von

²⁴⁰ vgl. Mussnug, M. 2017

²⁴¹ Bildquelle: in Anlehnung an Lohmeyer, Q. et al. 2013; Ruckpaul, A. 2017

Kodierungsschemen ausgewertet wird. Think-Aloud wird häufig in Kombination beispielweise mit Eye-Tracking eingesetzt²⁴². Es gibt zwei Arten des Think-Alouds, das Concurrent Think-Aloud (CTA) und Retrospective Think-Aloud (RTA). Beim Concurrent Think-Aloud verbalisiert der Proband seine Gedanken und Vorgehensweisen während der Bearbeitung einer Aufgabe. Bei Retrospective Think-Aloud teilt der Proband seine Gedanken und Kommentare nach der Bearbeitung der Aufgabe mit. Bei der Erfassung des Nutzungsverhaltens, ist die Anwendung von CTA nur eingeschränkt möglich, da viele Power-Tools sehr laut bei der Benutzung sind. RTA kann im Anschluss immer angewendet werden. Ist allerdings die Arbeitsweise und die Erfassung der realen Bewegung Ziel der Untersuchung, so sollte keine CTA eingesetzt werden. Zwar hat RUCKPAUL²⁴³ gezeigt, dass CTA den Anwender nicht bei seiner kognitiven Wahrnehmung einschränkt, allerdings wurde noch nicht untersucht inwieweit sich das Bewegungsverhalten durch die Erklärungen verändert.

2.5.6.5 Messen im Power-Tool

Bei der Erfassung des Nutzungsverhaltens kann der Einsatz von Messtechnik unterstützen. Hierbei kann zwischen Messtechnik unterschieden werden, die sich (1) am Anwender befindet, wie Motion Capturing, Kraftmessfolien und Eye-Tracking, (2) Messtechnik, die sich im Gerät befindet, um Leistungsdaten des Power-Tools zu erfassen sowie (3) externer Messtechnik wie Foto und Videokameras (vgl. Kapitel 2.5.6). Im zweiten Fall spricht man von einem sogenannten Sensorgerät. Dabei sollten alle relevanten Messdaten zielbewusst, wirtschaftlich und systematisch erfasst werden ohne den Anwender bei seiner Arbeit zu beeinträchtigen. Abbildung 2-24 zeigt Beispiele für entwickelte Sensorgeräte:

- ① zeigt ein Winkelschleifer an dem Messtechnik appliziert wurde, um die Leistungsaufnahme, Drehzahl und Position am Motor und am Getriebeausgang, Temperatur sowie Wellenverschiebung zu erfassen.²⁴⁴

²⁴² vgl. Matthiesen, S. et al. 2017a

²⁴³ vgl. Ruckpaul, A. 2017

²⁴⁴ vgl. Matthiesen, S. et al. 2016a

- ② stellt einen Messmeißel dar, mit welchem die reale Belastung am Werkzeug erfasst werden kann.²⁴⁵
- ③ zeigt einen Akku-Kombihammer, ④ einen modifizierten Impulsschrauber. Beide wurden mit Messtechnik ausgestattet, um die Bedienkräfte und Vibrationen am Griff zu erfassen.²⁴⁶

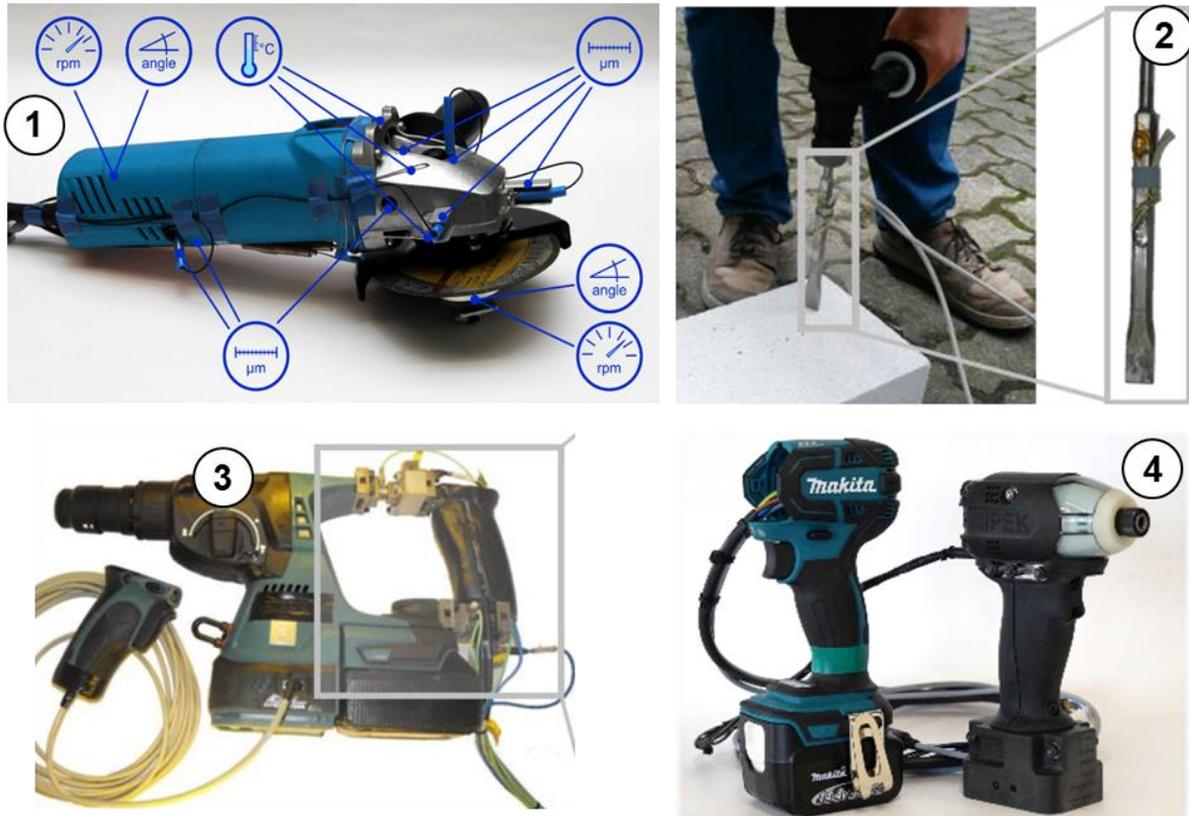


Abbildung 2-24: Sensorgeräte - Messtechnik für das Messen in der Anwendung²⁴⁷

²⁴⁵ vgl. Matthiesen, S. et al. 2015c

²⁴⁶ vgl. Matthiesen, S. et al. 2015c

²⁴⁷ Bildquellen: Matthiesen, S. et al. 2016a; Matthiesen, S. et al. 2015c; Matthiesen, S. et al. 2017c

2.5.7 Fazit

In diesem Kapitel wurden Methoden der Anforderungsermittlung übertragen, um Anwendungsfälle zu identifizieren. Die in Abbildung 2-19 dargestellte Methodenübersicht kann die Identifikation unterstützen. Die Darstellung besteht aus sechs Säulen und ist angelehnt an ZEHNTER ET AL.²⁴⁸, wessen ursprüngliche Darstellung 4 Säulen besitzt. Die Säulen Messtechnik und Nutzersimulation wurden hinzugefügt, womit sich folgende Methodenübersicht ergibt: (1) artefakt-basierte Methoden, (2) Kreativitätsmethoden, (3) Methoden der Nutzersimulation, (4) Befragungsmethoden, (5) Beobachtungsmethoden und (6) Methoden der messtechnischen Erfassung. Dabei wurden die Einsatzmöglichkeiten von Motion Capturing, Kraftmessfolien, Think-Aloud und Sensorgeräten hervorgehoben. Die geeignete Auswahl von Messtechnik hängt stark von dem Entwicklungsziel und den zu erfassenden System-Parametern ab. Die Methoden der erweiterten Anwendungsfallmodellierung fokussieren die Erhebung des realen Nutzungsverhaltens in der realen Umgebung des Anwenders. Häufig muss dabei ein Kompromiss zwischen der Datenmenge, -qualität und einer Beeinflussung des Anwenders stattfinden. Die Methodenübersicht wird in Kapitel 8 in die Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung integriert.

²⁴⁸ vgl. Zehnter, C. et al. 2012

2.6 Fazit zum Stand der Forschung

In dem Stand der Forschung wurden – als Grundlage für die Methodenentwicklung – zentrale Begriffe im Kontext der vorliegenden Arbeit diskutiert. Es wurde aufgezeigt, dass heutige Power-Tools nicht rein mechanische Systeme sind, sondern komplexe Mechanik, Sensorik und Elektronik vereinen. Um diese interdisziplinäre Entwicklung zu ermöglichen, sind domänenübergreifende Beschreibungssprachen und interdisziplinäres Modellverständnis notwendig (vgl. Kapitel 2.1). Durch Ansätze der modelbasierten Systementwicklung mit SysML kann dieser Entwicklung begegnet werden (vgl. Kapitel 2.2). Die Funktionserfüllung eines Power-Tools hängt stark davon ab, von welchem Anwender und unter welchen Umweltbedingungen es eingesetzt wird.²⁴⁹ „Weiterhin werden Power-Tools von Anwendern sehr unterschiedlich und teilweise auch ‚kreativ‘ eingesetzt.“²⁵⁰ Nutzerzentrierte Produktentwicklungsansätze wie Design Thinking und User-Centered Design stellen den Anwender und die Erfassung des Nutzungskontextes in den Fokus der Produktentwicklung (vgl. Kapitel 2.3). Um Power-Tools anwendungsorientiert entwickeln zu können, sollte daher das Nutzungsverhalten möglichst umfänglich erfasst, beschrieben und für die Produktentwicklung nutzbar gemacht werden. Als Nutzungsverhalten wird dabei das Verhalten des Gesamtsystems bestehend aus Anwender, Power-Tool und Umwelt verstanden. Das Nutzungsverhalten kann bei der realen Benutzung von Power-Tools beobachtet werden. Es ist abhängig vom Anwender, dem verwendeten Power-Tool, der Umwelt und dem Arbeitsziel. Auch die Gerätehersteller betreiben einen großen Aufwand, um den Power-Tool-Anwender und dessen Anforderungen an das Gerät möglichst umfänglich zu verstehen. Sie führen umfangreiche Anwendungsstudien oder Befragungen durch, um diese Anforderungen abzuleiten (vgl. Kapitel 2.3). Aus diesen Untersuchungen kann ein detailliertes Verständnis über das Nutzungsverhalten gewonnen und quantifizierbare Messgrößen für die Entwicklung sowie Testfälle für die Validierung abgeleitet werden (vgl. Kapitel 2.4). Das Nutzungsverhalten kann in Anwendungsfälle (generalisierte Tätigkeiten) unterteilt werden. Zur Identifikation von Anwendungsfällen können die in Kapitel 2.5 vorgestellten Methoden verwendet werden. Anwendungsfälle können mit der Systems Modeling Language modelliert werden. Es wurde allerdings der Bedarf aufgezeigt, dass die klassischen Methoden

²⁴⁹ vgl. Matthiesen, S. & Germann, R. 2017

²⁵⁰ vgl. Matthiesen S. et al. 2016c, S. 223

und die abstrakte Sprache der SysML für die Entwicklungspraxis von Power-Tools angepasst und erweitert werden müssen.

3 Motivation und Zielsetzung der Arbeit

In diesem Kapitel wird die **Motivation** zur Forschung an Methoden der Anwendungsfallmodellierung dargelegt (vgl. Kapitel 3.1). Dazu werden die Erkenntnisse aus dem Stand der Forschung zusammengefasst und der Forschungsbedarf abgeleitet. Darauf aufbauend wird die **Zielsetzung** der vorliegenden Arbeit formuliert (vgl. Kapitel 3.2).

3.1 Motivation

Bei der Entwicklung technischer Systeme gibt es unterschiedliche Ziele, Randbedingungen und Anforderungen, die für den Produkterfolg verantwortlich sind (vgl. Kapitel 2.1). In vielen Anwendungen stehen diese technischen Systeme in direkter Beziehung zu dem Menschen oder wechselwirken mit ihm. Besonders ausgeprägt sind diese Wechselwirkung bei professionellen Power-Tools – wie beispielsweise Bohrhämmer, Schlagschrauber, Kettensägen oder Winkelschleifer – da hier der Anwender im Leistungsfluss des technischen Systems steht und einen erheblichen Einfluss auf die Funktionserfüllung besitzt (vgl. Kapitel 2.4). Die Funktionserfüllung eines Power-Tools hängt stark davon ab, von welchem Anwender, in welcher Anwendung und unter welchen Umweltbedingungen das System eingesetzt wird. Zudem werden Power-Tools sehr unterschiedlich und teilweise auch ‚kreativ‘ eingesetzt (vgl. Kapitel 2.4). Für eine kundenorientierte Produktentwicklung sollte die reale Verwendung des Power-Tools – im Sinne der PGE – Produktgenerationsentwicklung²⁵¹ – anhand von Vorgänger- oder Referenzsystemen möglichst umfänglich erfasst oder vorausgedacht sowie die gesamtsystemischen Wechselwirkungen zwischen Bediener, technischem System und Umwelt ermittelt werden. Für die Entwicklung von erfolgreichen Produkten ist es daher wichtig, dass ein Entwickler die Anwendung, Arbeitsabläufe, Einsatzorte und Randbedingungen der realen System-Benutzung, sowie gegebenenfalls auftretende Fehlbedienungen kennt, um daraus die relevanten Anforderungen für die Entwicklung abzuleiten²⁵². Auch die Power-Tool-Hersteller betreiben einen großen Aufwand, um ihren adressierten Anwender und dessen Anforderungen möglichst umfänglich zu verstehen²⁵³. Sie

²⁵¹ vgl. Albers, A. et al. 2016c

²⁵² vgl. Schmidt, S. et al. 2015

²⁵³ vgl. Robert Bosch GmbH 2017, S. 1

führen umfangreiche Tests, Analysen sowie Anwenderbefragungen und -beobachtungen durch. Dies geschieht häufig in sogenannten Anwendungsstudien, bei welchen das Nutzungsverhalten und der Nutzungskontext erfasst werden. Diese Studien sind mit einem hohen zeitlichen und finanziellen Aufwand verbunden (vgl. Kapitel 2.4.3). Als Nutzungsverhalten wird dabei das Verhalten des Gesamtsystems bestehend aus Anwender, Power-Tool und Umwelt verstanden. Das Nutzungsverhalten kann bei der realen Benutzung von Power-Tools beobachtet werden. Es ist abhängig vom Anwender, dem verwendeten Power-Tool, der Umwelt und dem Arbeitsziel.²⁵⁴ Um die aus dem Nutzungsverhalten gewonnenen Erkenntnisse effizient und über mehrere Entwicklungsprojekte hinweg nutzen zu können, ist eine standardisierte Erfassung nötig, welche den Entwickler bei der Beschreibung, der Auswertung von Messdaten, bis hin zur synergetischen Nutzung der Erkenntnisse unterstützt. Aktuell existiert keine durchgängige Methodik von der Erfassung des Nutzungsverhaltens, über die Aufbereitung der Daten, bis zur Ableitung von Anforderungen und Entwicklungszielgrößen. Neben der fehlenden ganzheitlichen methodischen Vorgehensweise fehlt es zudem an geeigneten standardisierten Beschreibungsformen, was eine Wiederverwendung der Daten erschwert. Dies führt zu zeit- und kostenaufwändigen Iterationen im Entwicklungsprozess, die einer effizienten Produktentwicklung entgegenstehen.

3.2 Zielsetzung

Aus der dargelegten Motivation lässt sich das Ziel der Arbeit wie folgt zusammenfassen:

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung einer Methodik, um das Nutzungsverhalten von Power-Tools zu identifizieren, zu beschreiben, zu quantifizieren und für die interdisziplinäre Produktentwicklung nutzbar zu machen.

Als Methodik wird im Rahmen dieser Arbeit eine strukturierte Vorgehensweise mit Phasen und Aktivitäten bezeichnet, welche Einzelmethoden zur Unterstützung der Anwendungsfallmodellierung kombiniert²⁵⁵. Um den Herausforderungen heutiger

²⁵⁴ In Anlehnung an die Definition Fahrverhalten nach Schneider, J. H. 2010, S.24

²⁵⁵ In Anlehnung an die Definition Methodik nach Lindemann, U. 2009, S. 58 f.

Produktentstehungsprozesse in der Power-Tool-Branche gerecht zu werden, soll die zu entwickelnde Methodik an nutzerzentrierten Produktentwicklungsprozessen und interdisziplinären Modellersprachen angelehnt sein. Hierbei soll der einzelne Entwickler insbesondere bei einer effizienten Beschreibung des Nutzungsverhaltens unterstützt werden, wodurch die Effizienz der Modellbildung wesentlich erhöht wird. Weiterhin soll die Methodik selbst auf möglichst einfachen Regeln und Handlungsempfehlungen basieren, welche bei der Modellbildung situationsangepasst angewendet werden kann.

4 Forschungsdesign

In diesem Kapitel werden die vier **Forschungsfragen** dieser Arbeit dargelegt (Kapitel 4.1). Im Anschluss daran wird das **Forschungsvorgehen** zur Beantwortung der Forschungsfragen und zur Erreichung der Zielsetzung vorgestellt (Kapitel 4.2).

4.1 Forschungsfragen

Auf Basis des in Kapitel 2 aufgezeigten Standes der Forschung, der hieraus abgeleiteten Motivation und der formulierten Zielsetzung dieser Arbeit, werden die folgenden zentralen Forschungsfragen (F-F) aufgestellt. Sie bauen aufeinander auf und ihre gemeinsame Beantwortung stellt den wesentlichen wissenschaftlichen Beitrag dieser Arbeit dar.

- F-F 1: Welche Anforderungen werden an eine Methodik zur Nutzbarmachung des Nutzungsverhaltens von Power-Tools gestellt?
- F-F 2: Wie können Anwendungsfälle für die Beschreibung des Nutzungsverhaltens genutzt werden?
- F-F 3: Wie kann das Nutzungsverhalten für die Produktentwicklung nutzbar gemacht werden?
- F-F 4: Wie sieht die Anwendbarkeit und die Eignung der Methodik aus?

Die vier Forschungsfragen sind nochmals in Teilfragen untergliedert. Die Beantwortung der Teilfragen ermöglicht, die Beantwortung der jeweils übergeordneten zentralen Forschungsfrage. Die Forschungsfragen werden nicht in sequenzieller Reihenfolge beantwortet. Um die Nachvollziehbarkeit zu verbessern, steht am Ende jeder Forschungsfrage in Klammern, in welchem Kapitel sie beantwortet wird.

Forschungsfrage 1: Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik

Welche Anforderungen werden an eine Methodik zur Nutzbarmachung des Nutzungsverhaltens von Power-Tools gestellt?

- Welche Herausforderungen treten in der Power-Tool Entwicklung bei der Berücksichtigung der realen Benutzung auf? (siehe Kapitel 5.3)
- Welche Anforderungen lassen sich aus den Herausforderungen für die zu entwickelnde Methodik ableiten? (siehe Kapitel 5.3)

- Wie kann eine Vorgehensweise zur Nutzbarmachung des Nutzungsverhaltens gestaltet sein? (siehe Kapitel 6.3)

Die erste Forschungsfrage zielt darauf ab, die Anforderungen an die Methodik zu ermitteln. Hierfür werden zunächst Herausforderungen in der Power-Tool-Entwicklung, bei der Berücksichtigung der realen Power-Tool Benutzung erhoben, um Anforderungen an die zu entwickelte Methode abzuleiten.

Forschungsfrage 2: **Nutzung von Anwendungsfällen**

Wie können Anwendungsfälle für die Beschreibung des Nutzungsverhaltens genutzt werden?

- Welche Methoden gibt es, um Anwendungsfälle zu identifizieren, zu dokumentieren und zu analysieren? (siehe Kapitel 8.2.5)
- Nach welchen Kriterien können Anwendungsfälle bewertet und geclustert werden? (siehe Kapitel 8.4.5)

Die zweite Forschungsfrage soll klären, wie Anwendungsfälle für die Beschreibung des Nutzungsverhaltens verwendet werden können. Der Entwickler soll bei der selbstständigen Identifikation, Dokumentation und Modellierung von Anwendungsfällen unterstützt werden, zudem sollen Kriterien zur Bewertung bereitgestellt werden.

Forschungsfrage 3: **Nutzbarmachung des Nutzungsverhaltens**

Wie kann das Nutzungsverhalten für die Produktentwicklung nutzbar gemacht werden?

- Welche Methoden gibt es, um das Nutzungsverhalten zu identifizieren, zu dokumentieren und zu analysieren? (siehe Kapitel 8.3.4)
- Wie kann ein Prozess zur Verknüpfung des Nutzungsverhaltens mit Anwendungsfällen gestaltet sein? (siehe Kapitel 8.4.4)

Die dritte Forschungsfrage zielt auf die Identifikation, Dokumentation und Analyse des Nutzungsverhaltens ab. Der Entwickler soll bei der Verknüpfung des Nutzungsverhaltens mit generischen Anwendungsfällen unterstützt werden.

Forschungsfrage 4: Anwendbarkeit und Eignung der Methodik

Wie sind die Anwendbarkeit und der Eignung der Methodik?

- Wie gestaltet sich die Anwendbarkeit der Methodik? (siehe Kapitel 9.3)
- Wie gestaltet sich die Eignung der Methodik? (siehe Kapitel 9.3)

Die vierte Forschungsfrage zielt auf die Anwendung der entwickelten Methodik ab. Hierbei gilt es zu klären, inwieweit sich die Anwendbarkeit für unterschiedliche Power-Tools und Consumables als geeignet gestaltet. Zudem soll die Eignung der Methode evaluiert werden.

Die Beantwortung dieser Verkettung von Forschungsfragen erfordert ein systematisches Vorgehen, welches in Kapitel 4.2 detailliert beschrieben wird.

4.2 Forschungsvorgehen

In den vorangegangenen Kapiteln wurde der Forschungsgegenstand anhand einer Literatur-Recherche erarbeitet. Hieraus wurden die Motivation und Zielsetzung sowie die vier Forschungsfragen dieser Arbeit abgeleitet. Um die Forschungsfragen zu beantworten und die Zielsetzung dieser Arbeit zu erreichen, wird ein Forschungsvorgehen, bestehend aus sechs Phasen umgesetzt. Abbildung 4-1 beschreibt die Vorgehensweise und die Ergebnisse dieser Arbeit.

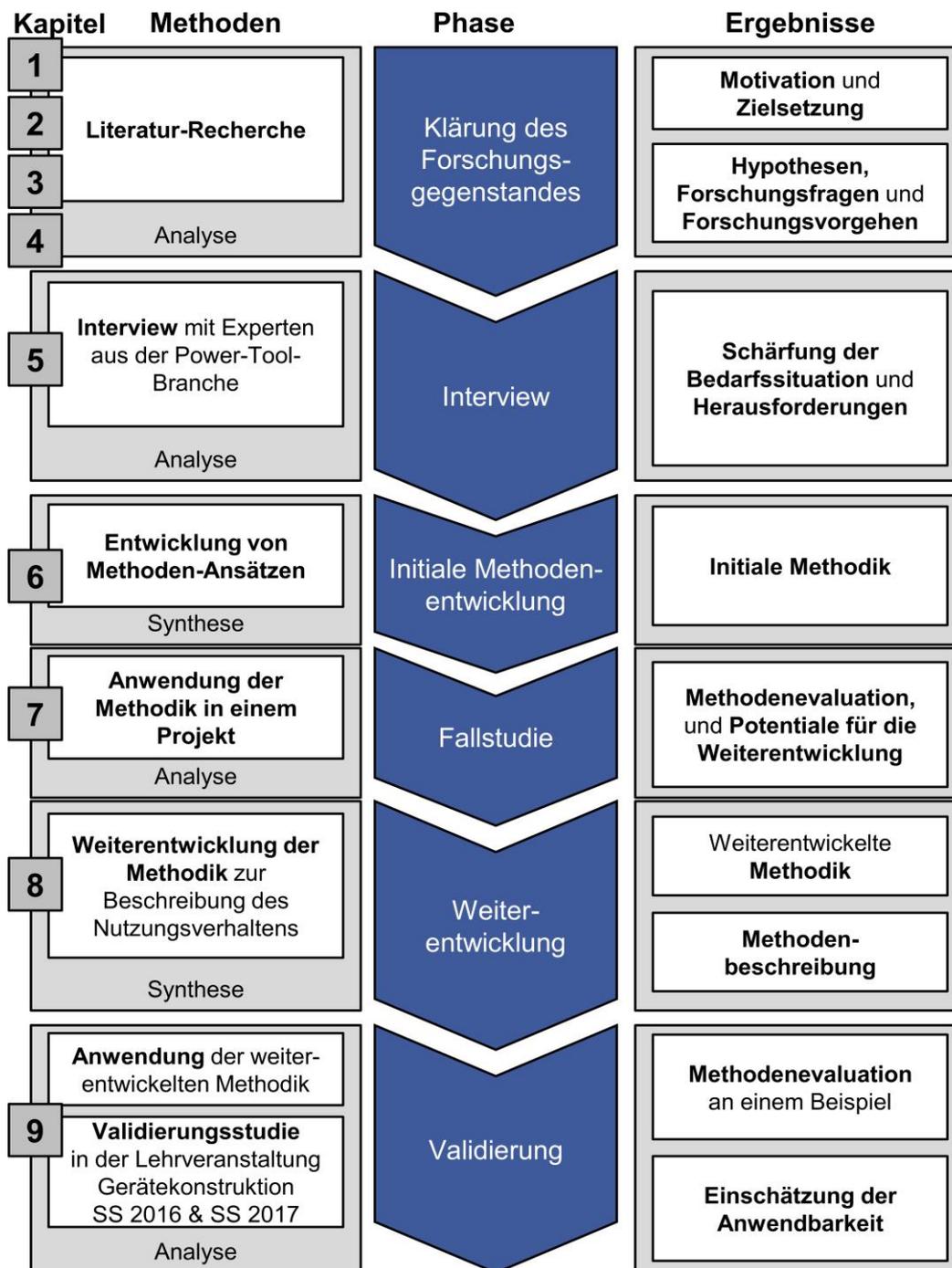


Abbildung 4-1: Vorgehensweise im Kontext der vorliegenden Arbeit

Aufbauend auf der Zielsetzung und den daraus abgeleiteten Forschungsfragen, werden in Kapitel 5 die Ergebnisse der Interviews mit Experten zur Schärfung der Bedarfssituation und aktuellen Herausforderungen in der Gerätebranche dargelegt. Aus der geschärften Bedarfsermittlung findet in Kapitel 6 die Entwicklung einer initialen Methodik statt. Die initiale Methodik wird in einer projektbegleitenden Fallstudie validiert, kontinuierlich mit den beteiligten Entwicklern diskutiert und Potentiale für die Weiterentwicklung abgeleitet (vgl. Kapitel 7). Im Anschluss daran wird die Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (e-AFM) weiterentwickelt (vgl. Kapitel 8). Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Methodenbeschreibung und dem Aufzeigen von Handlungsempfehlungen. Anschließend wird die Methodik nochmal an zwei Fallbeispiele angewendet, sowie vor dem Hintergrund der durchgeführten Untersuchungen diskutiert (Kapitel 9). Kapitel 10 fasst die Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Forschungsaktivitäten.

Aufgrund der Struktur dieser Arbeit (Experten-Interview, initiale Methode, Anwendung in Fallstudien und Weiterentwicklung) ist eine chronologische Beantwortung der vier Forschungsfragen nicht möglich. Einige Kapitel liefern lediglich Ansätze für die Beantwortung einer Forschungsfragen, die finale Beantwortung findet in einem späteren Kapitel statt. Die nachfolgende Auflistung soll die Beantwortung der Forschungsfragen nachvollziehbar gestalten:

- Forschungsfrage 1 (Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik) wird in folgenden Kapiteln beantwortet: F-F 1.1 in Kapitel 5.3, F-F 1.2 in Kapitel 5.3 und F-F 1.3 in Kapitel 6.3.
- Forschungsfrage 2 (Nutzbarmachung von Anwendungsfällen) wird in folgenden Kapiteln beantwortet: F-F 2.1 in Kapitel 8.2.5 und F-F 2.2 in Kapitel 8.4.5
- Forschungsfrage 3 (Nutzbarmachung des Nutzungsverhaltens) wird in folgenden Kapiteln beantwortet: F-F 3.1 in Kapitel 8.3.4 und F-F 3.2 in Kapitel 8.4.5
- Forschungsfrage 4 (Anwendbarkeit und Eignung der Methode) wird in folgendem Kapitel beantwortet: F-F 4.1 und F-F 4.2 werden in Kapitel 9.3 beantwortet.

5 Experten-Interview

Für die Erreichung der Zielsetzung dieser Arbeit „*Entwicklung einer Methode, um das Nutzungsverhalten von Power-Tools zu identifizieren, zu beschreiben, zu quantifizieren und für die interdisziplinäre Produktentwicklung nutzbar zu machen*“, ist es wichtig, die aktuelle Situation bei der Berücksichtigung des Nutzungsverhaltens im Produktentwicklungsprozess und dabei auftretenden Herausforderungen zu kennen. Mithilfe einer empirische Untersuchung in Form eines Experten-Interviews²⁵⁶, wurden Mitarbeiter aus unterschiedlichen Unternehmen, zur Nutzung des Nutzungsverhaltens in ihrem Unternehmen befragt. Hiermit konnte ein Eindruck der Bedarfssituation gewonnen und Anforderungen für die anschließende Methodikentwicklung abgeleitet werden.²⁵⁷

5.1 Studiendesign und Auswertemethodik

5.1.1 Der Interviewleitfaden

Die Datenerhebung erfolgt über leitfadengestützte, teilstrukturierte Interviews mit Experten aus der Power-Tool- und der Automobilbranche. Diese qualitative Erhebungsmethode bietet den Vorteil einer vollständigen und kontrollierten Beantwortung aller relevanten Fragen. Zudem bietet sie die Möglichkeit, flexibel auf unvorhergesehene Themen reagieren zu können.²⁵⁸ Der zugrundeliegende Interviewleitfaden²⁵⁹ setzt sich aus 5 Themenblöcken zusammen (vgl. Abbildung 5-1). Jeder Themenblock enthält untergeordnete Fragen, wodurch sich in Summe 13 Fragen ergeben.

²⁵⁶ „[Ein Experten-Interview] stellt eine besondere Form des Leitfadeninterviews dar. Dabei ist der Befragte weniger als Person interessant, sondern in seiner Funktion als Experte für bestimmte Handlungsfelder.“ Drechsler, S. 2016, S.96 nach Mayer, H. O. 2009

²⁵⁷ Auf Grund der geringen Anzahl der befragten Teilnehmer, spiegelt das Interview die Einschätzung der Experten in den befragten Unternehmen wieder. Für die Absicherung der Bedarfssituation, wäre es sinnvoll die Befragung mit einer größeren Stichprobe zu wiederholen.

²⁵⁸ vgl. Drechsler, S. 2016, S.149

²⁵⁹ siehe Anhang Kapitel 14.2, S. 198

1. Aufgabenbereich des Experten
2. Aktivitäten der Anwendereinbindung im Unternehmen
3. Wissensbedarfe
3.1 Kunde
3.2 Anwender
3.3 Anwendung
3.4 Arbeitsweise
3.5 Umweltbedingungen
4. Aktivitäten zur Erfassung des Nutzungsverhaltens
4.1 Aktuell genutzte Methoden
4.2 Herausforderungen bei der Erfassung
5. Aktivitäten zur Dokumentation und Auswertung des Nutzungsverhaltens
5.1 Dokumentationsformen
5.2 Herausforderungen
5.3 Anforderungen an die Dokumentation
5.4 Nutzung der dokumentierten Informationen

Abbildung 5-1: Themenblöcke des Interviewleitfadens

5.1.2 Durchführung und Auswertung der Interviews

Im Rahmen der Interviews wurden Mitarbeiter aus unterschiedlichen Unternehmen über die Anwendereinbindung in den Produktentwicklungsprozess und die Erfassung und Dokumentation des Nutzungsverhaltens befragt. Die befragten Teilnehmer stellen Experten dar, welche Erfahrung bei der Erfassung, Dokumentation und Auswertung von Kundenanforderungen und der Durchführung von Anwendungsstudien besitzen. Als Experte wird in dieser Arbeit eine Person bezeichnet, *welche „auf dem Gebiet des Forschungsgegenstandes über ein klares und aufrufbares Wissen verfügt. Die Auswertung ... [von] Experten-Interviews verfolgt das Ziel, [...] das Überindividuell-Gemeinsame herauszuarbeiten.“*²⁶⁰ Die Interviews wurden persönlich, sowie telefonisch durchgeführt. Die Antworten wurden anonymisiert, um eine Rückführung auf einzelne Personen oder Unternehmen auszuschließen. Dabei wurden 6 Mitarbeiter aus folgenden Unternehmen befragt: Andreas Stihl AG & Co. KG, fischerwerke GmbH & Co. KG, Flex-Elektrowerkzeuge GmbH, Hilti AG, Robert Bosch Power Tool GmbH und Daimler AG. Von den 6 Teilnehmern haben 5 Teilnehmer alle Fragen beantwortet, 1 Teilnehmer hat nur die Fragen zu Themenblock 3 (Wissensdefizite) beantwortet.

²⁶⁰ Drechsler, S. 2016, S.96 nach Mayer, H. O. 2009

5.2 Ergebnisse aus dem Experten-Interview

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Experten-Interviews vorgestellt und daraus Ansätze für die Methodikentwicklung abgeleitet.

Von den Interviewteilnehmern sehen sich 2 als Entwickler, 1 als Test-Ingenieur, 2 als Führungskräfte sowie 2 als Sonstige²⁶¹. Die Gruppe Sonstige umfasst Mitarbeiter des Qualitätsmanagements und Experten für Ergonomie- oder Anwendungsstudien. Die Teilnehmer wurden gefragt, in welchen Aktivitäten der Produktentwicklung sie Ihre Kunden oder Anwender – im Folgenden zu Anwender zusammengefasst – einbinden und Informationen über deren Anforderungen generieren. Abbildung 5-2 zeigt die entsprechende Verteilung der Aktivitäten. Es ist zu erkennen, dass die Anwender in die Aktivitäten Anforderungsermittlung, Generierung von Ideen und Konzepten, Validierung durch Lebensdauertests und Dauererprobung sowie Kundenakzeptanztest intensiv eingebunden werden. Lediglich die Aktivität konstruktive Ausdetaillierung wird vorwiegend ohne Anwendereinbindung durchgeführt.

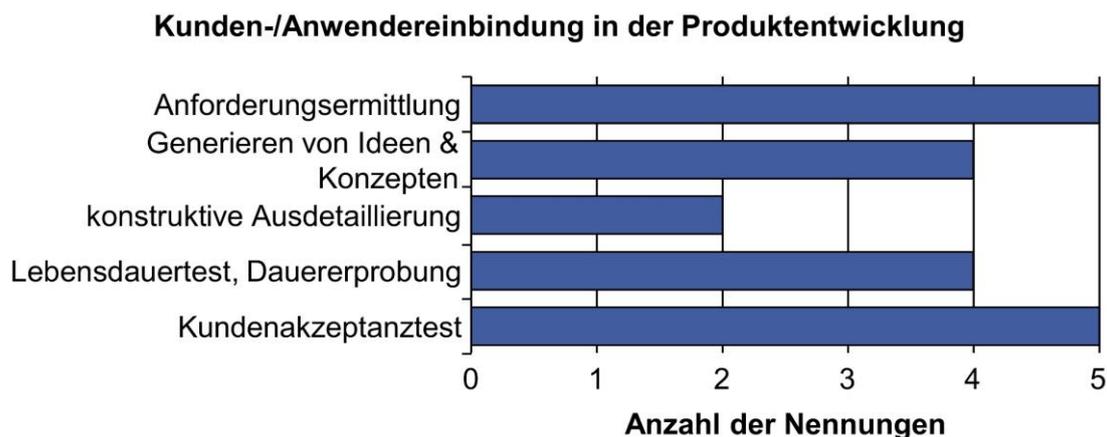


Abbildung 5-2: Kunden-/Anwendereinbindung in der Produktentwicklung

Weiter wurden die Teilnehmer befragt, auf welche Art und Weise Anwenderanforderungen ermittelt werden. Abbildung 5-3 zeigt die entsprechende Verteilung. Dabei ist auffallend, dass alle Befragten die Nutzersimulation²⁶² (z. B. durch eine Hands-on Erprobung) als sehr wichtig einstufen. Die Aktivitäten Befragung, Beobachtung, sowie recherchierende Methoden wurden ebenfalls wichtig bis sehr wichtig bewertet. Überraschend ist die Einschätzung der Experten (3 von 5), dass eine messtechnische Erfassung als nicht oder wenig wichtig eingeschätzt wird. Die

²⁶¹ Mehrfachnennungen möglich

²⁶² vgl. Kapitel 2.5.3

Aktivitäten Studien im Labor, sowie Studien im Feld und die Analyse von Reparaturrückläufern wurde als wichtig bis sehr wichtig eingestuft (4 von 5).

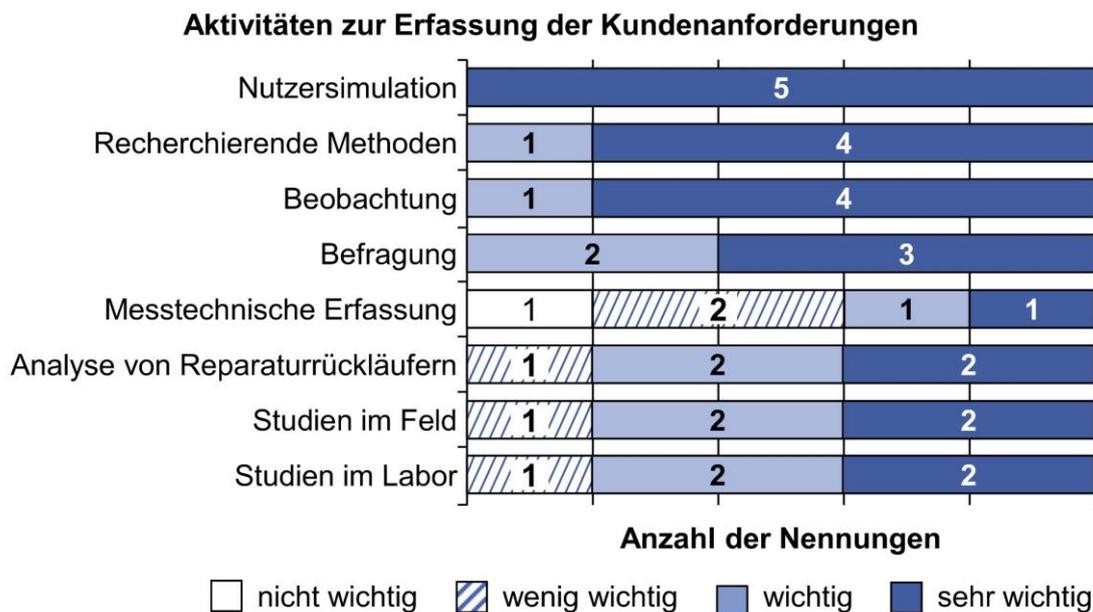


Abbildung 5-3: Aktivitäten zur Erfassung der Kundenanforderungen

Weiter wurden die Teilnehmer nach Herausforderungen bei der Anforderungsermittlung befragt (vgl. Abbildung 5-4). Hier gaben die Teilnehmer an, dass die Kosten für eine Anwendungsanalyse meist hoch sind. Diese Kosten allerdings akzeptiert und angesichts der Wichtigkeit als geringe bis mittelmäßige Herausforderung angesehen werden (4 von 5). Der Aufwand für die Erhebung von Anwenderanforderungen sei jedoch nicht zu unterschätzen – dieser wurde von 3 der Befragten als große Herausforderung betrachtet. Die Bereitschaft der Anwender zur Teilnahme an einer Studie, oder einer Befragung sei sehr hoch und stelle lediglich eine geringe Herausforderung dar. Allerdings sei die Zugänglichkeit und die Verfügbarkeit eine mittelmäßige bis große Herausforderung. Das Erfassen von Messdaten in der Anwendung wurde von den Experten sehr inhomogen bewertet. Für 3 der Befragten stellt das Messen in der Anwendung eine geringe Herausforderung, für 2 Befragten stellt es hingegen eine große Herausforderung dar. Allerdings muss dabei beachtet werden, dass 2 der Befragten aktuell keine und 3 der Befragten gelegentlich Messtechnik einsetzen – vor allem im Gerät, um das Geräteverhalten zu erfassen (vgl. Abbildung 5-6).

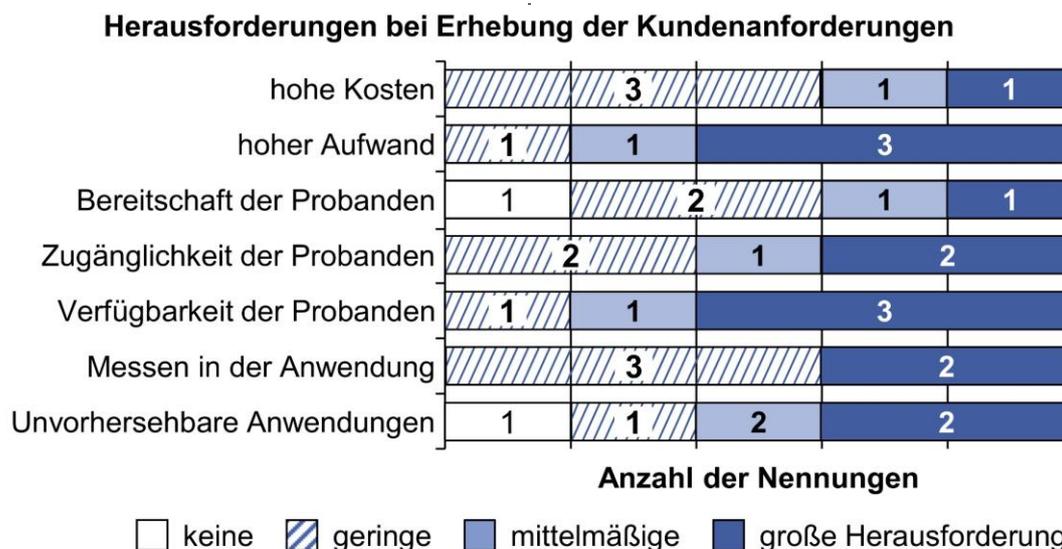


Abbildung 5-4: Verteilung der Herausforderungen bei Erhebung der Kundenanforderungen

Aus den aufgezeigten Ergebnissen lässt sich die folgende Herausforderung ableiten:

Herausforderung 1: Der hohe **Aufwand** für die Erfassung des Nutzungsverhaltens und das Ableiten der Kundenanforderungen stellt eine Herausforderung dar.

Des Weiteren sollte identifiziert werden, wie gut die Experten den Einsatzzweck ihrer Produkte kennen und wo Wissensdefizite bestehen. Hierfür wurden aus dem Stand der Forschung fünf Wissens Elemente (Kunde, Anwender, Anwendung, Arbeitsweise und Umweltbedingungen) abgeleitet. Die Experten wurden zu jedem Wissens Element gefragt, ob sie gerne mehr oder weniger Informationen, qualitativ hochwertigere oder minderwertigere Informationen wünschen – oder ob sie mit den verfügbaren Informationen zufrieden sind. Diese neun Antwortmöglichkeiten lassen sich in einer 3x3 Portfolio-Darstellung darstellen. Mit der Antwortmöglichkeit „es werden weniger Informationen gewünscht“ sollte identifiziert werden, ob eine Überforderung durch die Informationsmenge vorliegt. Mit der Antwortmöglichkeit „es werden qualitativ minderwertigere Informationen gewünscht“ sollte identifiziert werden, ob zu hochwertige Informationen, zulasten der Quantität vorliegen. An dieser Stelle kann vorweggegriffen werden, dass keiner der Teilnehmer quantitativ weniger oder qualitativ schlechtere Informationen wünscht. Im Gegenteil werden in der Regel mehr, sowie qualitativ hochwertigere Informationen gewünscht. Somit kann die Darstellung auf 2x2 Portfolio reduziert werden (vgl. Abbildung 5-5). Die Größe der Blasen entspricht dabei der Anzahl der Nennungen.

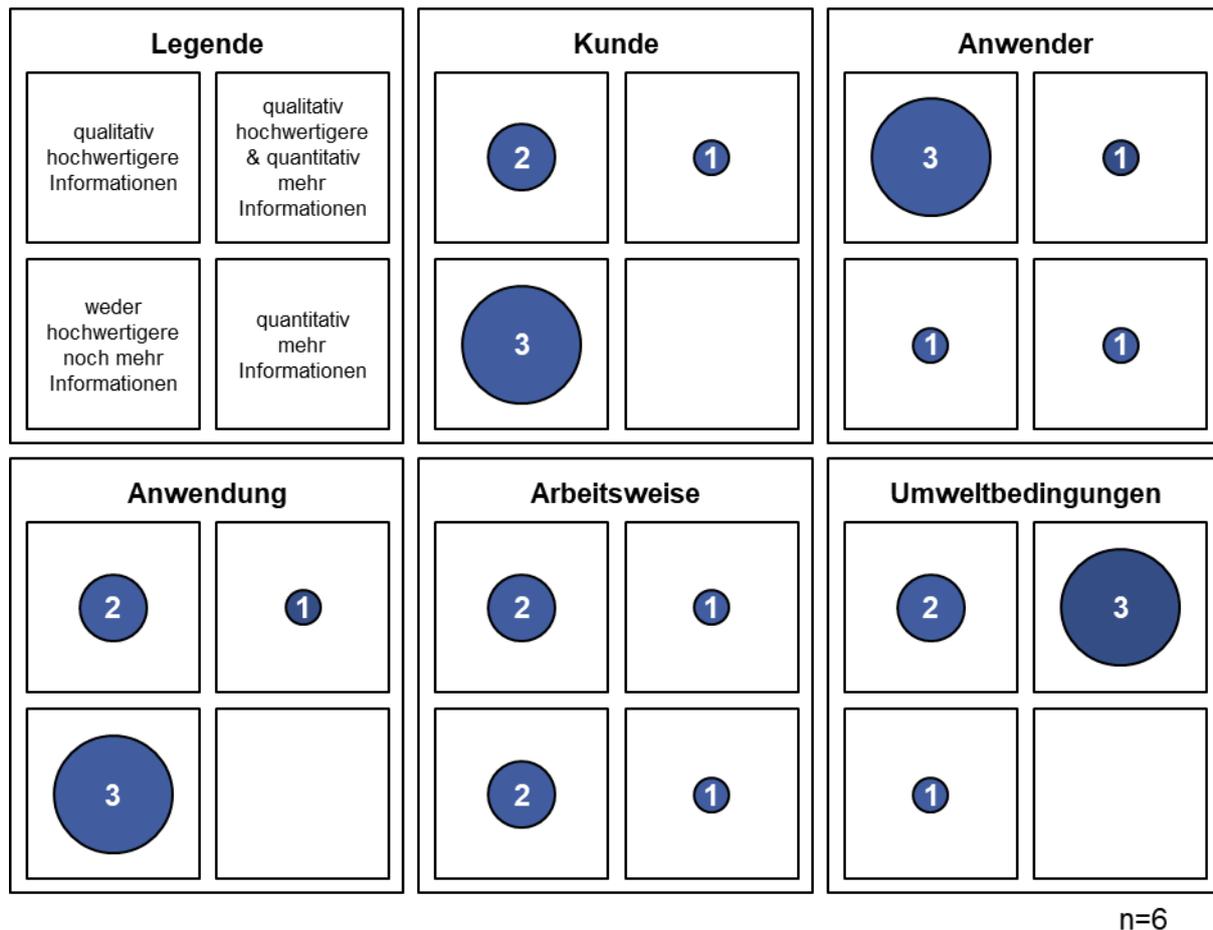


Abbildung 5-5: Portfolio-Darstellung über die Verteilung des Wissensdefizite(Kunde, Anwender, Anwendung, Arbeitsweise und Umweltbedingungen)

Der Portfolio-Darstellung können folgende Erkenntnisse entnommen werden:

- Den **Kunden** kennen die Experten bereits recht gut. 3 der Befragten wünschen sich weder qualitativ hochwertigere noch mehr Informationen.
- Über die **Anwender** wünschen sich die Befragten hochwertige Informationen (4 von 6) – lediglich ein Befragter gab an, dass er mit der aktuell zur Verfügung stehende Menge und Detaillierung zufrieden sei.
- Die **Anwendung** kennen die Hälfte der Befragten (3 von 6) gut. Sie wünschen weder hochwertigere noch mehr Informationen – die andere Hälfte wünscht sich hochwertigere Informationen.
- Bei der **Arbeitsweise** ist ein Wunsch nach qualitativ hochwertigeren und mehr Informationen erkennbar. 2 Befragte gaben an, dass sie mit der zur Verfügung stehende Informationsmenge und -detaillierung zufrieden seien.
- Bei den **Umweltbedingungen** ist der Wunsch nach qualitativ hochwertigeren und mehr Informationen deutlich erkennbar (5 von 6).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Mehrheit der Befragten den Wunsch haben, mehr und vor allem qualitativ hochwertige Informationen über den Anwender, die Arbeitsweise und die Umweltbedingungen zu erhalten. Der Kunde und die Anwendung sind Ihnen nach eigener Einschätzung ausreichend gut bekannt. Hieraus lässt sich Herausforderung 2 ableiten:

Herausforderung 2: Wissensdefizite bei Anwender, Arbeitsweise und Umweltbedingungen stellen Herausforderungen dar.

Weiter wurden die Teilnehmer gefragt, wie Anwendungsstudien in ihrem Unternehmen dokumentiert werden. Wie Abbildung 5-6 zu entnehmen ist, findet die Dokumentation in der Regel mit Fotoaufnahmen und Videos statt, gelegentlich werden Skizzen sowie textuelle und prozessuale Beschreibungen angefertigt. Eine messtechnische Erfassung findet aktuell nicht oder nur gelegentlich statt. Wenn Messtechnik eingesetzt wird, dann vorwiegend im Gerät. Eye-Tracking wird gelegentlich und Motion Capturing eher nicht eingesetzt.

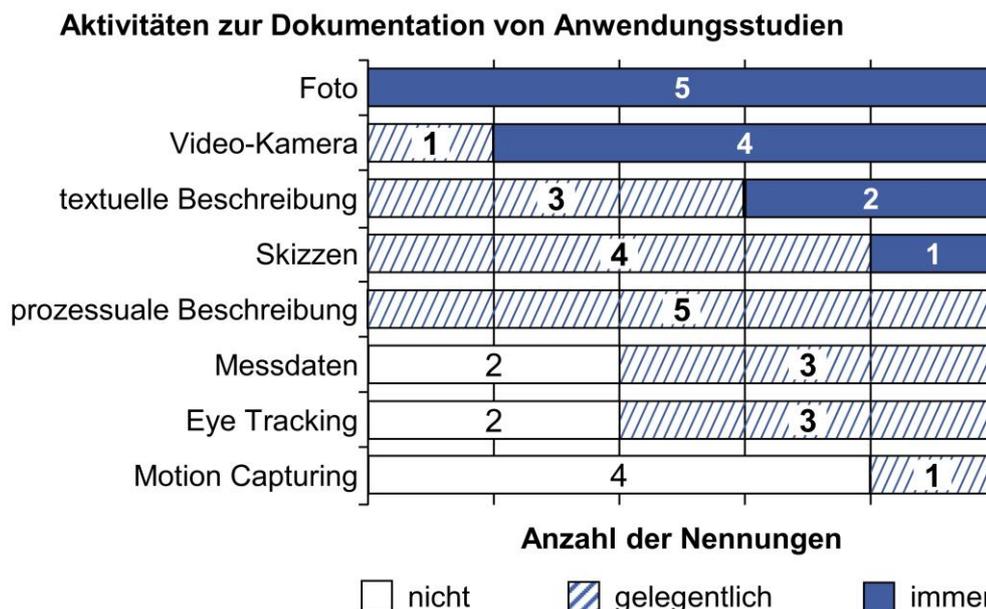


Abbildung 5-6: Verteilung der Aktivitäten zur Dokumentation von Anwendungsstudien

Weiter wurde ersichtlich, dass Anwendungsstudien schriftlich dokumentiert werden. Zur Dokumentation werden Berichte mit Microsoft Word, Power Point oder Excel erstellt, welche in kategorisierten und verschlagworteten Datenbanken abgelegt werden. Eine einfache und schnelle Zugänglichkeit der Berichte sei gegeben. Das einfache editieren wird nicht gefordert, da die Dokumente meist einmalig erstellt und kaum geändert werden. Falls Messdaten erhoben wurden, werden diese auf einem

Messdatenlaufwerk abgelegt. Für die Form und den Inhalt dieser Berichte gebe es wenig Vorgaben.²⁶³ Es sei dem jeweiligen Mitarbeiter überlassen, welche Informationen er für wichtig erachtet und festhält. Eine einheitliche Beschreibungsform ist derzeit noch nicht vorhanden. Einige Entwickler verfügen über implizites (nicht dokumentiertes) Wissen bezüglich der realen Verwendung ihrer Produkte. Dies führt dazu, dass gewisse Anwendungsfälle und auch Fehl-Anwendungsfälle in die Entwicklung und Auslegung der Systeme einfließen²⁶⁴. Allerdings erfolgt die Ermittlung, das Dokumentieren und das Ableiten von Anforderungen unstrukturiert und es fällt den Entwicklern schwer, klare Anforderungen zu dokumentieren. Dabei gehen unweigerlich wichtige Informationen über die Abhängigkeiten und Randbedingungen verloren. Eine Schwierigkeit sei zudem, dass die erfassten Informationen (Fotos, Videos, textuellen Beschreibungen und die erfassten Messdaten) nicht zeitlich synchronisiert sind, was eine detaillierte Analyse erschwert. Es sei nachträglich schwierig, die Fotos, Videos und Messdaten zeitlich zuzuordnen.²⁶⁵

Hieraus lässt sich folgende Herausforderung ableiten:

Herausforderung 3: Die methodische Erfassung und strukturierte Dokumentation des Nutzungsverhaltens.

Neben den aufgezeigten drei Herausforderungen wurden von den Teilnehmern folgende Anforderungen an eine zu entwickelnde Methodik genannt:

- „Die Methodik muss für meine spezifischen Fragestellungen sowie für unterschiedliche Power-Tools anwendbar sein.“²⁶⁶
- „Best Practices wären wünschenswert.“²⁶⁷
- „Die Methode muss für den Entwickler intuitiv anwendbar sein.“²⁶⁸
- „... unterschiedliche Detaillierungsebenen sind notwendig.“²⁶⁹

²⁶³ Experten-Interview: Teilnehmer 3,4

²⁶⁴ Experten-Interview: Teilnehmer 5

²⁶⁵ Experten-Interview: Teilnehmer 4

²⁶⁶ Experten-Interview: Teilnehmer 5

²⁶⁷ Experten-Interview: Teilnehmer 1

²⁶⁸ Experten-Interview: Teilnehmer 3

²⁶⁹ Experten-Interview: Teilnehmer 2

5.3 Fazit

In den durchgeführten Interviews wurde ersichtlich, dass sich die Experten darüber einig sind, dass das Wissen über das reale Nutzungsverhalten (Wissen über Kunde, Anwender, Anwendung, Arbeitsweise und Umweltbedingungen) ein wichtiger Erfolgsfaktor für ihre Branche darstellt. Auch wenn die Stichprobe mit sechs Teilnehmern sehr klein und nicht statistisch abgesichert ist, konnte dennoch ein Eindruck über die Bedarfssituation gesammelt werden. Basierend auf den in diesem Kapitel vorgestellten Ergebnissen kann Forschungsfrage 1.1 wie folgt beantwortet werden:

Antwort auf Forschungsfrage 1.1 „*Welche Herausforderungen treten in der Power-Tool Entwicklung bei der Berücksichtigung der realen Benutzung auf?*“:

Folgende Herausforderungen wurden identifiziert:

- Der Aufwand für die Erfassung des Nutzungsverhaltens und das Ableiten der Kundenanforderungen ist hoch.
- Es bestehen Wissensdefizite bei Anwender, Arbeitsweise und Umweltbedingungen.
- Die methodische Erfassung und die strukturierte Dokumentation des Nutzungsverhaltens stellen Herausforderungen dar.

Mit Hilfe der identifizierten Herausforderungen und den in Kapitel 5.2 genannten Anforderungen, lassen sich folgende Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik ableiten und Forschungsfrage 1.2 wie folgt beantworten:

Antwort auf Forschungsfrage 1.2 „*Welche Anforderungen lassen sich aus den Herausforderungen für die zu entwickelnde Methodik ableiten?*“:

- Die Methodik soll eine strukturierte Vorgehensweise mit Methoden- und Handlungsempfehlungen für eine erfolgreiche Anwendung bereitstellen.
- Der Aufwand für die Anwendung der Methodik soll angemessen sein und die Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams unterstützen.
- Die Methodik soll die Erfassung und Beschreibung des Nutzungsverhaltens unterstützen, um damit den Wissensdefiziten (Anwender, Arbeitsweise und Umweltbedingungen) entgegenzuwirken.

6 Entwicklung einer initialen Methodik zur Anwendungsfallmodellierung

Zur Erreichung des Ziels dieser Arbeit „*Entwicklung einer Methodik, um das Nutzungsverhalten von Power-Tools zu identifizieren, zu beschreiben, zu quantifizieren und für die interdisziplinäre Produktentwicklung nutzbar zu machen.*“, findet in diesem Kapitel – aufbauend auf der Klärung des Forschungsgegenstandes und Schärfung der Bedarfssituation durch ein Experten-Interview – die Methodenentwicklung statt. In diesem Kapitel wird eine initiale Methodik²⁷⁰ entwickelt, welche Methodenansätzen und Prozesse zur Modellierung des Nutzungsverhaltens bereitstellt. Die Methodik nennt sich erweiterte Anwendungsfallmodellierung (e-AFM) (engl. extended use case modeling), da sie bestehende Methoden der Anwendungsfallmodellierung erweitert. Die Methodik geht über die klassischen Modellierungsansätze hinaus, indem sie die Top-Down mit der Bottom-up-Modellierung kombiniert und Entwicklern Methoden sowie Handlungsempfehlungen zur Verfügung stellt, um das Nutzungsverhalten von Power-Tool-Anwendern beschreiben zu können. Die initiale Methodik wird in einer projektbegleitenden Fallstudie validiert (vgl. Kapitel 7) und basierend auf identifizierten Weiterentwicklungspotentiale in Kapitel 8 weiterentwickelt.

Das Kapitel ist wie folgt aufgebaut: In Kapitel 6.1 werden Anwendungsfälle im Kontext der Produktentwicklung betrachtet und der Ansatz der Anwendungsfallmodellierung vorgestellt. In Kapitel 6.2 wird eine initiale Version der Methodik mit den drei Phasen (1) Anwendungsfall-Analyse, (2) Anwendungsfallmodellierung und (3) Nutzungs-Analyse beschrieben. Schließlich endet das Kapitel mit einem Fazit zur Entwicklung der Methoden-Ansätze in Kapitel 6.3.

6.1 Anwendungsfälle im Kontext der Produktentwicklung

Wie aus dem Stand der Forschung hervorgeht und in den Experten-Interviews bestätigt wurde, so betreiben Power-Tool Hersteller einen großen Aufwand, um den Anwender ihrer Power-Tools und dessen Anforderungen und Wünsche möglichst umfänglich zu erfassen und die Erkenntnisse in neue Produktgenerationen einfließen

²⁷⁰ Als Methodik wird im Rahmen dieser Arbeit eine strukturierte Vorgehensweise mit Phasen und Aktivitäten bezeichnet, welche Einzelmethode zur Unterstützung der Anwendungsfallmodellierung kombiniert. In Anlehnung an die Definition Methodik nach Lindemann, U. 2009, S. 58 f.

zu lassen (vgl. Kapitel 2.2, 2.4, 5). Neuartige nutzerzentrierte Produktentwicklungsansätze wie beispielsweise Design Thinking und User-Centered Design erreichen diese starke Nutzerzentrierung, indem sie den Anwender mit seinen Tätigkeiten und seinem Nutzungskontext analysieren, hieraus Kundenanforderungen ableiten sowie Produktneuerungen durch Prototypen mit Hilfe des Anwenders evaluieren (vgl. Kapitel 2.2). Häufig werden in diesem Zusammenhang Anwendungsstudien durchgeführt. Anwendungsstudien sind Untersuchungsmethoden der Marktforschung. Sie dienen in erster Linie der Erfassung des Nutzungsverhaltens und damit dem Aufbau von Anwendungswissen (vgl. Kapitel 2.4). Diese Forschungsarbeit legt den Fokus auf das Erfassen des Nutzungsverhaltens unter realen Umgebungs- und Einsatzbedingungen – nicht unter nachgestellten Laborbedingungen. Als Nutzungsverhalten wird das Verhalten des Gesamtsystems bestehend aus Anwender, Power-Tool und Umwelt verstanden. Es ist abhängig vom Anwender, dem verwendeten Power-Tool, dem Werkzeug, Untergrund, Umwelt sowie dem Arbeitsziel.²⁷¹ Nutzerzentrierte Produktentwicklungsansätze geben Hilfestellung für die Einbindung des Anwenders, sie unterstützen den Entwickler jedoch nicht bei der Identifikation und Beschreibung des Nutzungsverhaltens sowie der Ableitung von Anforderungen und Entwicklungszielgrößen (vgl. Kapitel 2.3). Wie in Kapitel 2.2 aufgezeigt, existieren in der Software-Entwicklung bereits etablierte Ansätze zur Beschreibung der Interaktion eines Anwenders mit einer Software – die Anwendungsfallmodellierung. Die Methode der Anwendungsfallmodellierung ermöglicht eine abstrakte, generische und lösungsneutrale Beschreibung von Tätigkeiten, welche ein Anwender mit einer Software durchführt (vgl. Kapitel 2.2). In der Informatik und der modellbasierten Systementwicklung (MBSE) ist ein Anwendungsfall daher wie folgt definiert: „Ein Anwendungsfall (engl. use case) beschreibt eine Menge von Aktionen eines Systems, die zu einem beobachtbaren Ergebnis führen, welches typischerweise für die Akteure oder Stakeholder einen Wert hat.“²⁷² Der Akteur interagiert mit dem System, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Der Anwendungsfall wird normalerweise so benannt, wie das Ziel aus Sicht des Akteurs heißt. Bei der Zielerreichung laufen eine Folge von

²⁷¹ In Anlehnung an die Definition Fahrverhalten nach Schneider, J. H. 2010, S.24

²⁷² Weilkiens T. 2014, S.231

Aktionen ab. Der Anwendungsfall bündelt diese Abläufe (Szenarien).²⁷³ Dabei kann in Abhängigkeit von dem Ergebnis und den Randbedingungen zwischen Haupt-, Alternativ- und Fehlerszenario unterschieden werden.²⁷⁴ Dabei wird häufig Top-Down vorgegangen (siehe Abbildung 6-3). In der Softwareentwicklung werden Anwendungsfälle in der Synthese-Phase genutzt. Ziel dieser sogenannten funktionalen Anwendungsfallbeschreibung ist, dass ein Softwareentwickler sich möglichst lösungsneutral mit der Problemlösung beschäftigt und nicht durch die Anforderungsformulierung vorgeprägt ist.

Im Rahmen dieser Arbeit und im Kontext von Power-Tools beschreibt ein Anwendungsfall, auf eine generalisierte Art und Weise, die Tätigkeiten (Menge von Aktionen) die mit einem Power-Tool durchgeführt werden oder durchgeführt werden könnten. Die Tätigkeiten werden mit einem bestimmten Ziel durchgeführt, es empfiehlt sich den Anwendungsfall wie das Ziel zu benennen. Anwendungsfälle können aus dem Nutzungsverhalten abgeleitet oder anhand von Anwendungswissen definiert werden.²⁷⁵ Hierfür ist eine detaillierte Beschreibung der Nutzung und des Nutzungskontextes (vgl. Kapitel 2.3.3) notwendig. Abbildung 6-1 verdeutlicht diesen Unterschied. Die klassischen Methoden der Anwendungsfallmodellierung sind für eine solch detaillierte Beschreibung aktuell nicht geeignet. Um Anwendungsfälle für die Power-Tool-Entwicklung zielführend nutzen zu können, sind Anpassungen und Weiterentwicklungen notwendig.

Neben der Beschreibung der Mensch-Maschine-Interaktion werden Anwendungsfälle in der Produktentwicklung auch für die Validierung genutzt. Wie in Kapitel 2.4.2 aufgezeigt, werden Power-Tools in der Regel anhand von Testfällen validiert. Die Testfälle sollen dabei auf die reale Systembenutzung also das reale Nutzungsverhalten zurückzuführen sein. Man spricht dabei von einer Nachvollziehbarkeit oder Traceability.²⁷⁶

²⁷³ In Anlehnung an microTOOL GmbH 2018

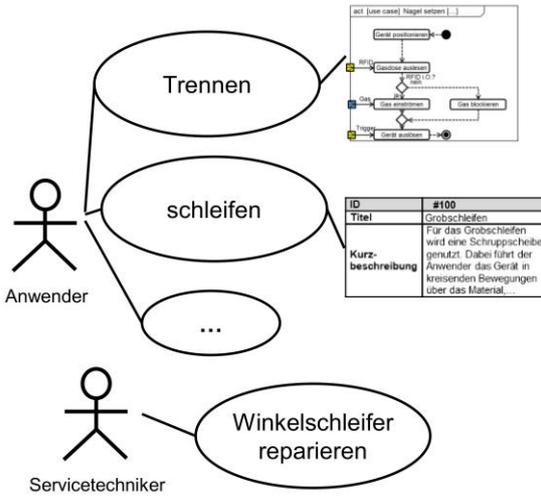
²⁷⁴ In Anlehnung an DIN EN 62559-1

²⁷⁵ Eigene Definition

²⁷⁶ vgl. Weilkiens, T. 2014

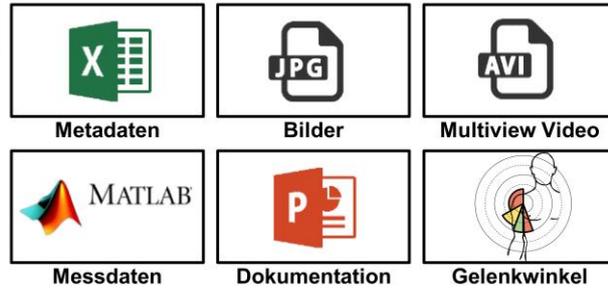
Beschreibung von Anwendungsfällen

(mit klassischen Methoden der Anwendungsfallmodellierung)



Beschreibung des Nutzungsverhaltens

(mit im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Methoden)



abstrakt detailliert

Abbildung 6-1: Beschreibung von Anwendungsfällen und Nutzungsverhalten ²⁷⁷

Basierend auf den im Stand der Forschung aufgezeigten Abhängigkeiten wurde der in Abbildung 6-2 dargestellte Ansatz der Anwendungsfallmodellierung abgeleitet.

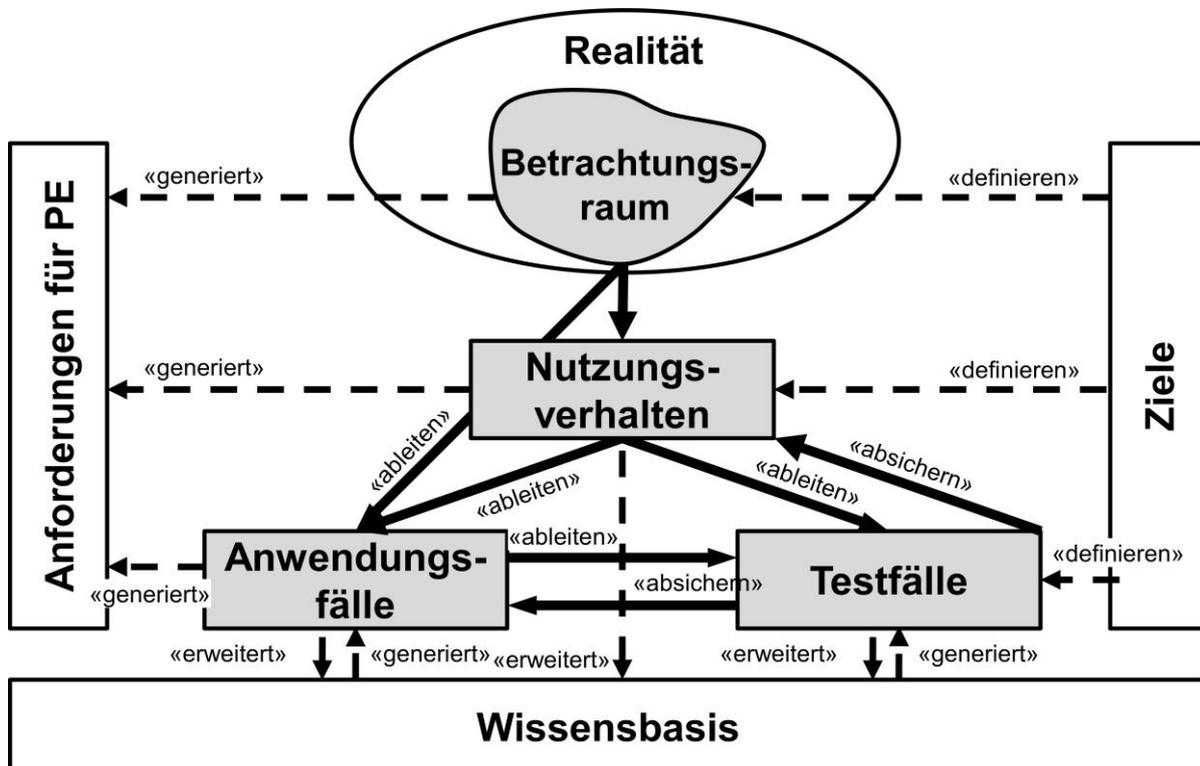


Abbildung 6-2: Zusammenhang von Nutzungsverhalten, Anwendungsfällen und Testfällen ²⁷⁸

²⁷⁷ Bildquellen: <http://www.iconarchive.com>

²⁷⁸ vgl. Schmidt, S. et al. 2015, vgl. Ebel, B. 2015, S.137

Der Ansatz ist wie folgt zu verstehen: Basierend auf einem Entwicklungs- oder Untersuchungsziel wird ein sogenannter Betrachtungsraum definiert. Der Betrachtungsraum legt die Systemgrenze fest und spiegelt einen Teil der Realität (Anwendungen, Anwender, Umgebungs- und Einflussbedingungen) wieder.²⁷⁹ Einflussfaktoren außerhalb des Betrachtungsraumes werden nicht berücksichtigt. Für diesen definierten Betrachtungsraum können Anwendungsfälle durch bereits vorhandenes Wissen generiert werden. Auf Basis der Anwendungsfälle kann das Nutzungsverhalten durch Anwendungsstudien ermittelt werden. Das Nutzungsverhalten ist abhängig von dem im Betrachtungsraum definierten Anwender, dem verwendeten Power-Tool, dem Werkzeug, Untergrund, Umwelt sowie dem Arbeitsziel.²⁸⁰ Aus dem Nutzungsverhalten, den Anwendungsfällen und dem Betrachtungsraum lassen sich Anforderungen für die Produktentwicklung inklusive der Validierung ableiten.²⁸¹ Da das Nutzungsverhalten in den seltensten Fällen jedoch vollständig erfasst werden kann, muss es teilweise abgeschätzt oder vorausgedacht werden.²⁸² Für eine Vergleichbarkeit über mehrere Anwender hinweg, sollte das Nutzungsverhalten geclustert, abstrahiert und in generalisierte Anwendungsfälle überführt werden. Sowohl aus den Anwendungsfällen wie auch aus dem Nutzungsverhalten können Testfälle generiert werden. Aus dem Nutzungsverhalten, den Anwendungsfällen und den Testfällen können Erkenntnisse gewonnen werden, welche die Wissensbasis erweitern.

²⁷⁹ Eigene Definition

²⁸⁰ Eigene Definition

²⁸¹ vgl. Courage, C. & Baxter, K. 2005

²⁸² Klingler, S. 2017, S.97

6.2 Phasen der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (e-AFM)

Aufbauend auf Abbildung 6-2 werden in diesem Kapitel die Phasen der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (e-AFM) entwickelt. Wie im Stand der Forschung aufgezeigt, bestehen bereits zwei Ansätze für die Modellierung von Anwendungsfällen: Top-Down und Bottom-up (vgl. Kapitel 2.2.1). Die folgende Abbildung verdeutlicht die Modellierungsansätze und zeigt die Diskrepanz auf.

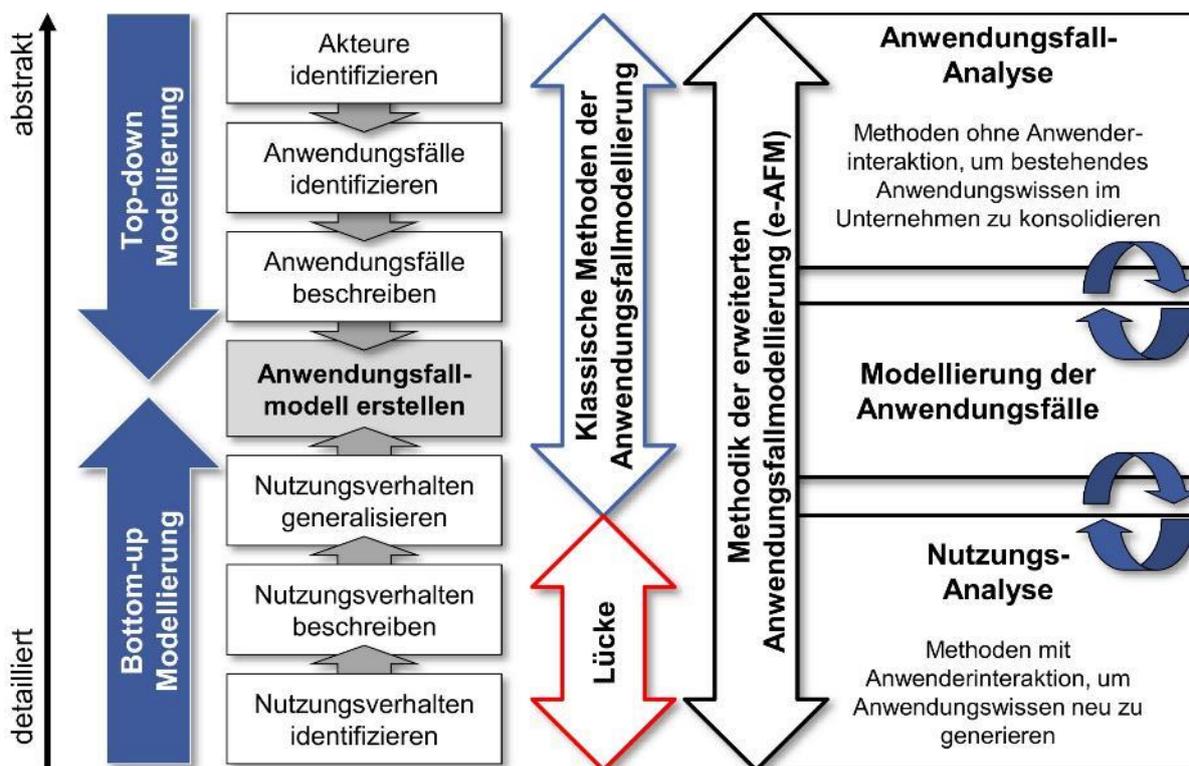


Abbildung 6-3: Unterschiede der Modellierungsansätze²⁸³

Bei der Top-Down Modellierung geht man vom Abstrakten zum Detaillierten. Es wird ein Überblick über das System geschaffen, Details werden vernachlässigt. Es ist ein Ansatz, welcher zu weiten Teilen auf bereits vorhandenes Wissen zurückgreift. Anwendungsfälle werden vorwiegend überlegt und nicht durch Interaktion mit dem Anwender, beispielsweise durch Anwendungsstudien, ermittelt. Folgende Aktivitäten werden hierfür in der Literatur angewendet: Akteure und Anwendungsfälle identifizieren, beschreiben und ein Anwendungsfallmodell erstellen.

Die Bottom-up-Modellierung geht vom Detaillierten zum Abstrakten. Sie beginnt mit dem Detail und generiert daraus einen Überblick. Die Anwendungsfälle werden nicht überlegt, sondern in der realen Anwendung ermittelt. Folgende Aktivitäten werden

²⁸³ Bildquelle: in Anlehnung an Cockburn, A. 2003

hierfür angewendet: Nutzungsverhalten identifizierten, beschreiben und generalisieren sowie ein Anwendungsfallmodell erstellen. Die Bottom-up Vorgehensweise ist nutzerzentriert und baut im Sinne der PGE – Produktgenerationsentwicklung auf Vorgänger oder Referenzsystemen auf.

Die klassischen Methoden der Anwendungsfallmodellierung gehen in der Regel jedoch Top-Down vor und es werden keine Beschreibungsmöglichkeiten für das Nutzungsverhalten bereitgestellt. Diese Lücke ist in der Abbildung hervorgehoben.

Die Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung geht über die klassischen Modellieransätze hinaus. Sie kombiniert die Top-Down mit der Bottom-up-Modellierung. Zudem stellt sie Methoden zur Verfügung, um das Nutzungsverhalten von Power-Tool-Anwendern beschreiben zu können. Die initiale Methodik besteht aus drei Phasen (Anwendungsfall-Analyse, Anwendungsfallmodellierung, Nutzungs-Analyse), welche sich ergänzen und teilweise iterativ angewendet werden können (vgl. Abbildung 6-4). Im Folgenden werden die drei Phasen vorgestellt.

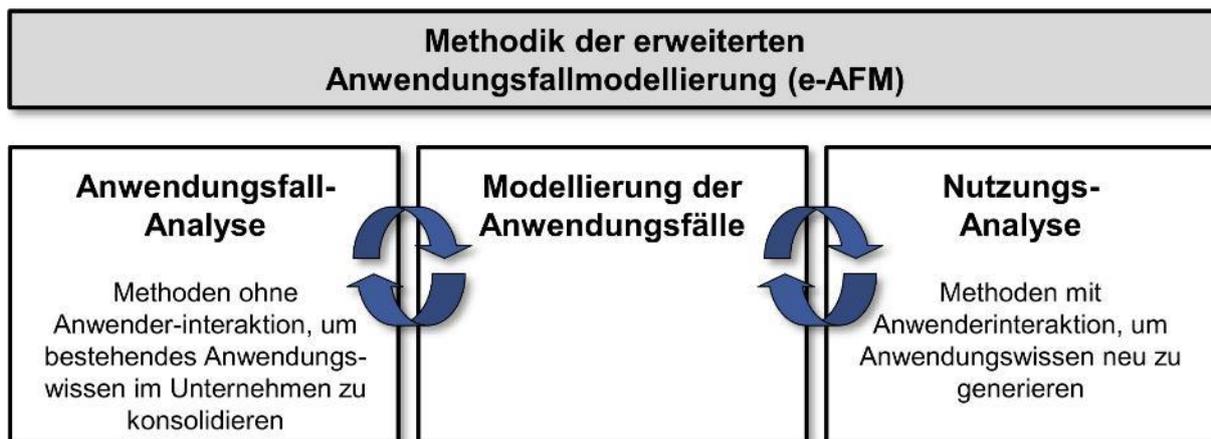


Abbildung 6-4: Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (initiale Version)

Die **Anwendungsfall-Analyse** stellt die erste Phase der erweiterten Anwendungsfallmodellierung dar. Hierbei werden die Tätigkeiten, die ein Anwender oder ein anderer Stakeholder mit dem System durchführt analysiert. Dies findet häufig ohne direkte Anwenderinteraktion statt und baut zu weiten Teilen auf bereits vorhandenem Wissen auf. Idealerweise wird eine Anwendungsfall-Analyse im Rahmen eines Workshops, mit Wissensträgern aus unterschiedlichen Fachdisziplinen durchgeführt. So ist es möglich, das vorhandene Wissen zu bündeln, aus verschiedenen Blickwinkeln zu beleuchten und ein gemeinsames Anwendungswissen aufzubauen. Hierfür sollte der Betrachtungsraum definiert und das Systemkontext sowie die Stakeholder des Power-Tools analysiert werden. Methoden, welche die

Anwendungsfallanalyse unterstützen sind artefakt-basierte Methoden, Kreativitätsmethoden und Methoden der Nutzersimulation (vgl. Kapitel 2.5).

Die **Anwendungsfallmodellierung** stellt eine sich wiederholende Phase der erweiterten Anwendungsfallmodellierung dar. Die Modellierung sollte iterativ durchgeführt werden, um ein möglichst aktuelles und vollständiges Modell zu erzeugen. In der initialen Methodik werden hierfür die klassischen Modellierungsmethoden der modellbasierten Modellierungssprache System Modeling Language (kurz SysML) genutzt.

Die **Nutzungs-Analyse** stellt die dritte Phase der erweiterten Anwendungsfallmodellierung dar. Sie sollte auf der Anwendungsfall-Analyse aufbauen und hat das Ziel, Anwendungswissen durch eine direkte Anwenderinteraktion neu zu generieren. Hierfür wird das Nutzungsverhalten zielgerichtet erfasst, sowie ein bestehendes Modell mit realem Anwendungswissen iterativ erweitert und konkretisiert. Hierfür bieten sich folgende Aktivitäten an: Nutzungsverhalten identifizieren, beschreiben und analysieren. Methoden, welche die Nutzungs-Analyse in Anwendungsstudien unterstützen sind, Befragungs- und Beobachtungsmethoden sowie Methoden der messtechnischen Erfassung (vgl. Kapitel 2.5).

6.3 Fazit

In diesem Kapitel wurde die initiale Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung vorgestellt. Die Methodik besteht aus den Phasen Anwendungsfall-Analyse, Anwendungsfallmodellierung und Nutzungs-Analyse. Sie geht über die klassischen Modellieransätze hinaus, indem sie die Top-Down mit der Bottom-up-Modellierung kombiniert und Beschreibungsformen für das Nutzungsverhalten bereitstellt. Mit den in diesem Kapitel vorgestellten Ergebnissen kann Forschungsfrage 1.3 wie folgt beantwortet werden:

Antwort auf Forschungsfrage 1.3 „*Wie kann eine Vorgehensweise zur Nutzbarmachung des Nutzungsverhaltens gestaltet sein?*“:

- Die Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (e-AFM) mit den drei Phasen Anwendungsfall-Analyse, Anwendungsfallmodellierung und Nutzungs-Analyse, stellt dem Entwickler eine Vorgehensweise zur Verfügung, um das Nutzungsverhalten strukturiert zu erfassen und für die interdisziplinäre Produktgenerationsentwicklung nutzbar zu machen.
- Das bereits vorhandene Anwendungswissen wird in einer Anwendungsfall-Analyse konsolidiert. In einer Nutzungsanalyse wird neues Anwendungswissen generiert. In der Anwendungsfallmodellierung wird ein Anwendungsfall-Modell iterativ weiterentwickelt. Die erweiterte Methodik stellt hierfür geeignete Aktivitäten und Methoden bereit.

In der nachfolgenden Fallstudie ist zu prüfen, inwieweit die drei Phasen praktikabel anzuwenden sind. Zudem müssen die Methoden zur Unterstützung der einzelnen Phasen weiter detailliert werden.

7 Anwendung der initialen Methodik

In diesem Kapitel wird die in Kapitel 6 entwickelte Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung in einer Fallstudie im Kontext der Power-Tool-Entwicklung evaluiert. Die Fallstudie „Freischneider“ wurde projektbegleitend mit einem Industriepartner durchgeführt. Aus Gründen der Vertraulichkeit, kann daher nicht auf alle Ergebnisse im Detail eingegangen werden. Nachfolgend werden das Studiendesign, die Studiendurchführung und die Ergebnisse der Fallstudie vorgestellt. Die gewonnenen Erkenntnisse über den Methodeneinsatz, die Einschätzung des Industriepartners und Verbesserungspotentiale fließen in die Weiterentwicklung der Methodik ein (vgl. Kapitel 8).

7.1 Studiendesign

Im Rahmen der projektbegleitenden Fallstudie „Freischneider“ werden die Methodenansätze der Anwendungsfallmodellierung im industriellen Umfeld angewendet. Ziel ist es, Entwicklungszielgrößen zur Performancesteigerung eines Freischneiders abzuleiten. Im Rahmen dieser Fallstudie wird die initiale Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung angewendet. Die methodische Vorgehensweise und die generierten Ergebnisse werden kontinuierlich mit Entwicklungsingenieuren des Projektpartners abgestimmt und im Rahmen von Meilensteinpräsentationen in einem interdisziplinären Team diskutiert.

7.2 Projektdurchführung

Im Rahmen des Projekts werden die relevanten Anwendungsfälle eines Freischneiders in einem Workshop identifiziert und anschließend eine Anwendungsstudie zur Erfassung des Nutzungsverhaltens von Profianwendern durchgeführt. Dabei wird eine breite Spanne von Anwendungen, unterschiedlichen Anwendern und Arbeitsweisen messtechnisch erfasst. Die erfassten Anwendungen werden aufbereiten, dokumentiert, analysiert und kontinuierlich mit dem Projektpartner diskutiert. Dadurch ist es möglich zum einen Entwicklungszielgrößen für nachfolgende Produktgenerationen von Freischneidern und Potentiale für die Weiterentwicklung der Methodik abzuleiten.

7.2.1 Vorstellung eines Freischneiders

Freischneider sind leistungsstarke Gartengeräte, welche in der professionellen Landschaftspflege genutzt werden. Leistungsschwächere Ausführungen werden auch als Motorsensen oder Rasentrimmer bezeichnet. Das Anwendungsspektrum ist breit gefächert und reicht mit entsprechendem Werkzeug von lokalen Ausputzarbeiten, Mähen von mittelgroßen Rasenflächen, Auslichten und Häckseln von Gestrüpp und Dornenhecken bis zum Sägen von mitteldickem Gehölz.²⁸⁴

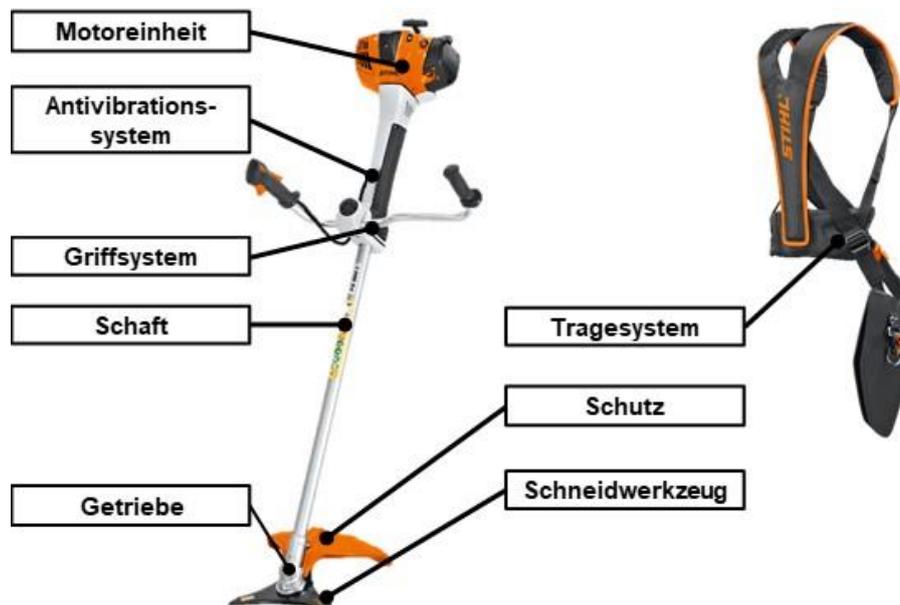


Abbildung 7-1: Bestandteile eines Freischneiders und Tragesystem²⁸⁵

Ein Freischneider besteht normalerweise aus den folgenden Komponenten (vgl. Abbildung 7-1): Motor, Antivibrationseinheit, Griffsystem, Schaft, Schutz, Getriebe und Schneidwerkzeug. Zudem wird für das kräfteschonende Arbeiten meist ein Gurtsystem verwendet, welches den Anwender entlastet und das Gewicht des Gerätes in den Rücken und Becken einleitet. Als persönliche Schutzausrüstung schreibt der Hersteller das Tragen von Schutzstiefeln, Schutzbrille und einen Schutzhelm vor.

7.2.2 Anwendungsfall-Analyse

In einem Workshop wurde zusammen mit Mitarbeitern des Industriepartners die Entwicklungsaufgabe geschärft und eine Anwendungsfall-Analyse durchgeführt. Zuerst wurde das Anwendungswissen der unterschiedlichen Fachbereiche

²⁸⁴ vgl. www.stihl.de

²⁸⁵ Bildquelle: in Anlehnung an www.stihl.de

zusammengetragen. Des Weiteren war eine ausgiebige Erprobung unterschiedlicher Freischneider, Werkzeuge und Gurtsysteme in der realen Anwendung für alle Beteiligten sehr aufschlussreich. In dem moderierten Workshop wurden (1) der Systemkontext inkl. Einsatzbereiche und Einflussfaktoren von Profi-Freischneidern analysiert, (2) die repräsentativen Anwender und Anwendungsfälle definiert, (3) die Vor- und Nachteile bestehender Systeme herausgearbeitet und (4) erste Anforderungen zur Produktverbesserung identifiziert. Somit konnten die Erwartungen geschärft und die Entwicklungsaufgabe wie folgt konkretisiert werden:

Entwicklungsziel ist eine Performancesteigerung des Mensch-Maschine-Systems Freischneider, mit den Randbedingungen den Anwender möglichst wenig zu beeinflussen. Erweiterung des Verständnisses über das Nutzungsverhalten und die Arbeitsweisen der Anwender und das Identifizieren von Kundenanforderungen.

7.2.3 Identifikation des Nutzungsverhaltens

Mit den Ergebnissen der Anwendungsfall-Analyse (geschärfte Aufgabenstellung, dem zusammengetragenen Anwendungswissen und Bewertung der Anwendungsfälle hinsichtlich Häufigkeit, Absatzzahlen und Wissensstand) wurden Anwendungsfälle ausgewählt, welche in Anwendungsstudien messtechnisch erfasst werden sollen.

Dabei wurde Wert auf ein breites Anwendungsspektrum mit unterschiedlicher Vegetation und einem repräsentativen Anwendermix gelegt. Es sollten Anwendungsfälle mit einer hohen Häufigkeit mit quantifizierten Messdaten untermauert sowie Anwendungsfälle mit Wissensdefizite detailliert erfasst werden.

Als Studie wird eine Anwendungsstudie mit 26 Profi-Anwender durchgeführt. Die Probanden werden im Feld, bei ihrer normalen Anwendung beobachtet, befragt und messtechnisch erfasst. Es handelt sich dabei sowohl um ausgebildete Landschaftsgärtner als auch um angelernte Hilfskräfte. Als Befragungsmethode wurde eine Mischung aus Fragebogen und Interview gewählt. Der genutzte Fragebogen bildet die Grundlage für den „Fragebogen für Anwendungsstudien mit handgehaltenen Geräten“ (vgl. Kapitel 8.3.1.3). Er besteht aus drei Teilen zusammen: (1) Erfassung der Anwendermerkmale, (2) Erfassung der Anwendung und (3) Diskussion. In einer Vorstudie wurde das Studiendesign, der Ablauf, sowie der Messtechnikeinsatz mit realen Anwendern erprobt. Hierbei hat sich gezeigt, dass die ausgewählte

Messtechnik den Anwender nicht beeinflusst und bereits nach kurzer Zeit nicht mehr wahrgenommen wird. Abbildung 7-2 zeigt die verwendete Messtechnik.



Abbildung 7-2: eingesetzte Messtechnik in der Studie Freischneider²⁸⁶

Der Proband trägt einen Puls-Brustgurt, 18 Sensoren für das Motion Capture System (vgl. Kapitel 2.5.6.1) und eine auf seinem Helm montierte Kamera. Am Gerät ist ein Drehzahldatenlogger befestigt sowie ein zusätzlicher Motion Capture Sensor zur Erfassung der Schwenkbewegungen des Freischneiders. Bei einem nachgelagerten Benchmark wurden zusätzlich Kraftmessfolien (vgl. Kapitel 2.5.6.2) an den Griffen angebracht. Während des Arbeitens wird der Proband von 2 Außenkameras von hinten bzw. von vorne und von der Seite gefilmt. Die Steigung des Geländes, Temperatur und Luftfeuchtigkeit wurden ebenfalls erfasst. In dem Projekt wurden Anwendungsstudien an 13 Stationen durchgeführt. Abbildung 7-3 zeigt exemplarisch vier Stationen: Mähen an der Autobahn (o.l.), Grünpflegearbeiten (o.r.), Pflegearbeiten an einer Gebirgsstraße (u.l.) und Pflegearbeiten an einem Bahndamm (u.r.).

²⁸⁶ Bildquelle: www.xsens.vom; www.polar.com; www.gopro.com;



Abbildung 7-3: ausgewählte Stationen der Anwendungsstudie

7.2.4 Dokumentation des Nutzungsverhaltens

Für den Industriepartner war es wichtig, das erfasste Nutzungsverhalten strukturiert aufzubereiten. Nur durch eine einfache Nachschlagemöglichkeit sei im Unternehmen die Benutzung der Dokumentation sichergestellt. In Abstimmung mit dem Industriepartner wurde folgende Beschreibungsform gewählt:

- (1) **Schriftliche Dokumentation** inkl. Fotos als PowerPoint-Foliensatz
- (2) **Videos** aus mehreren Perspektiven
- (3) **Messdaten**

Zur **Dokumentation** der Anwendungsstudien wurde eine Vorlage entwickelt. Diese bildet die Grundlage für die „PT-Dokumentations-Template“ (vgl. Kapitel 8.3.2). Alle Probandendaten wurden gemäß der Vorlage aufbereitet. Abbildung 7-4 zeigt einen Ausschnitt der Dokumentation am Beispiel „*Mähen an der Autobahn*“.



Abbildung 7-4: Dokumentation des Nutzungsverhaltens am Beispiel Mähen an der Autobahn

7.2.5 Analyse des Nutzungsverhaltens

Im hier beschriebenen Fallbeispiel wurde das Nutzungsverhalten von 26 Profianwendern, an 13 Stationen erfasst. Meist wurde ein Proband mit einer kurzen Unterbrechung bei unterschiedlichen Anwendungsfällen aufgezeichnet. So entstanden in Summe 49 Messdatensätze. Eine Messung dauerte zwischen 10 und 20 Minuten, inklusive Messtechnik anlegen und Befragung, dauerte die Studie pro Proband zwischen 1,5 und 3,5 Stunden. Im anschließenden Interview mit dem Probanden wurden Themen wie beispielsweise vor- und nachbereitende Tätigkeiten, Verschleiß, Lebensdauer aber auch Probleme sowie Verbesserungsvorschläge eingehend diskutiert (vgl. PT-Erfassungsbogen in Kapitel 8.3.1.3). Aus der Befragung ergab sich, dass die Probanden die in der Studie beobachtete Tätigkeit zu 94 % repräsentativ für Ihre alltägliche Arbeitstätigkeit ansehen.

Im Folgenden werden drei ausgewählte Anwendungsfälle vorgestellt: (1) Mähen einer Fläche inkl. Ausputzarbeiten, (2) Häckseln einer Hecke und (3) Arbeiten am Hang.

Abbildung 7-5 zeigt den Anwender in dem jeweiligen Anwendungsfall (vgl. Abbildung 7-5 links) und die hierbei typischen Bewegungsformen (vgl. Abbildung 7-5 rechts).

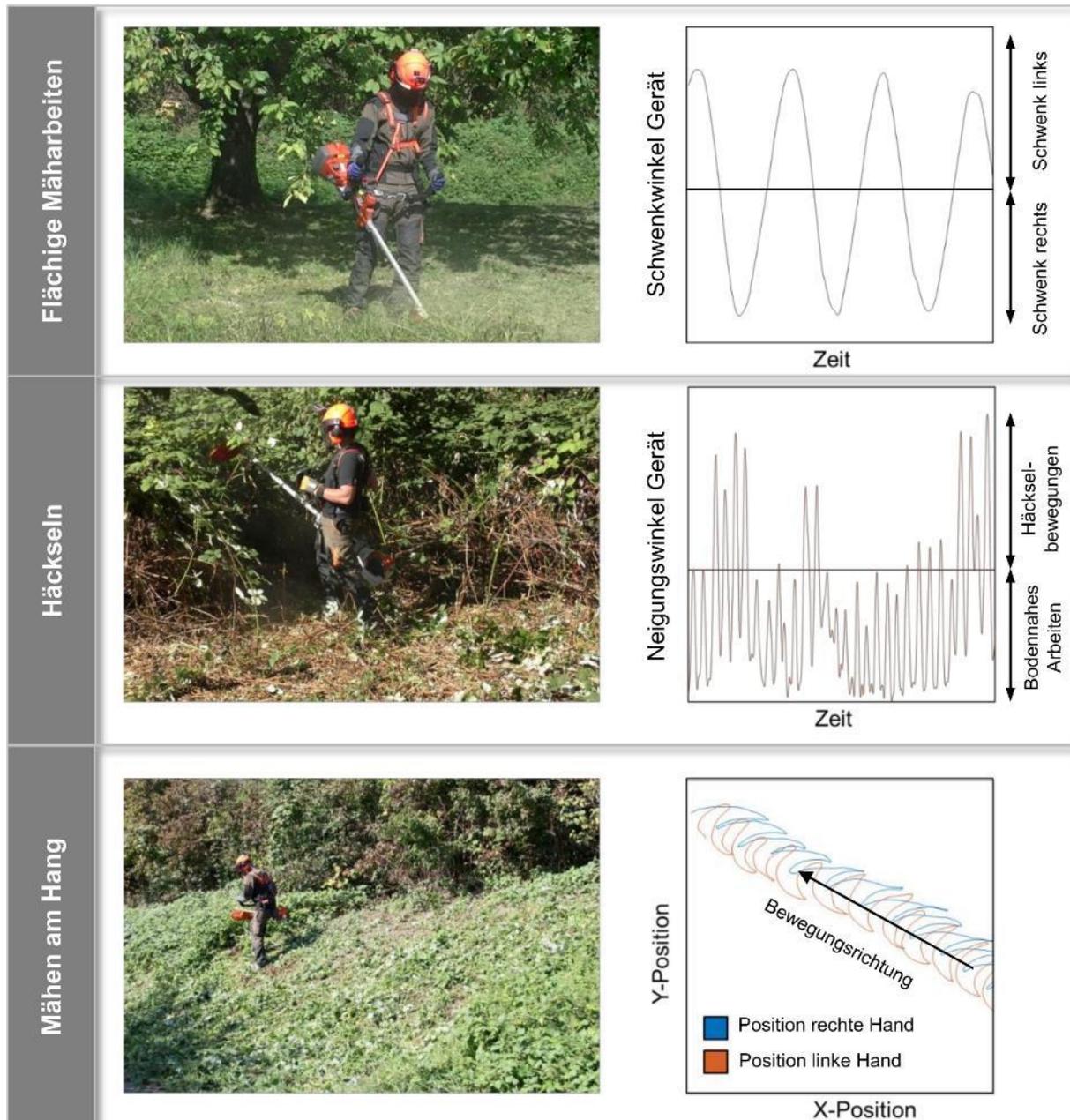


Abbildung 7-5: häufige Anwendungsfälle mit typischen Bewegungsformen

Bei **flächigen Mäharbeiten** führt der Anwender gleichmäßige seitliche Schwenkbewegungen mit dem Gerät durch (vgl. Abbildung 7-5 oben). Bei **Häckselarbeiten** finden von oben nach unten schlagende Häckselbewegungen und bodennahe Ausputzarbeiten statt (vgl. Abbildung 7-5 mittig). Beim **Arbeiten am Hang**, ist aus der Draufsicht der beiden Hände, zu erkennen, dass die rechte Hand kleinere und flachere Schwenkbewegungen als die linke durchführt (vgl. Abbildung 7-5 unten). Dies liegt zum einen an der Lenkerstange, welche auf der linken Seite breiter ist als

auf der rechten Seite. Zudem benutzt der Anwender die Einhängeöse als Drehpunkt beim Arbeiten den Hang hinunter (Bewegung nach links). Bei der Bewegung den Hang hinauf (Bewegung nach rechts) muss er mit der linken Hand deutlich stärker schieben, was sich in dem vergrößerten Schwenkbereich zeigt. Bei anderen Anwendungsfällen sind Mischformen dieser Bewegungen zu erkennen.

Zur zeitsynchronen Analyse von Messdaten mit den erfassten Videos, wurde eine Analysesoftware entwickelt. Diese Methoden werden in Kapitel 8.3.1.2. zur Multiview-Methode (vgl. Kapitel 8.3.1.2), der Gelenkwinkel-Häufigkeitsdarstellung (vgl. Kapitel 8.3.3.1) und der Analyse-GUI (vgl. Kapitel 8.3.3.2) weiterentwickelt.



Abbildung 7-6: Analyse der Messdaten durch Abgleich mit dem zeitsynchronen Video

Abbildung 7-6 zeigt ein Beispiel für die Analyse der Messdaten mit den Videos. In diesem Beispiel weisen die Messdaten bei 180 Sekunden eine starke Radialduktion des rechten Handgelenks auf (Abknicken des Handgelenks, Daumen in Richtung Unterarm). Dies ist ungewöhnlich für die Anwendung und lässt sich alleine durch die Messdaten nicht erklären. Mithilfe des Videos aus vier Perspektiven konnte die Ursache für die Haltungsauffälligkeit identifiziert werden. Der Anwender knickt kurzfristig das Handgelenk ab, um seine Reichweite zu erhöhen, während er eine Ausputztätigkeit vornimmt. Danach kehrt er in die Ausgangshalterung zurück.

Bei einem nachgelagerten Benchmark wurden unterschiedliche Power-Tools und Werkzeuge von zwei Probanden, bei unterschiedlichen Anwendungen getestet.

Zusätzlich zur bereits eingesetzten Messtechnik wurden die auftretenden Greif- und Bedienkräfte mit Kraftmessfolien am Griff erfasst. Als Probanden wurde auf erfahrene Anwender zurückgegriffen, denen die Arbeitsaufgabe, die Schneidwerkzeuge und ein abgestecktes Gebiet vorgegeben wurden. Abbildung 7-7 zeigt die Messtechnik und die Kräfte am rechten Bediengriff. Es hat sich gezeigt, dass bei verschiedenen Geräten, wie auch bei verschiedenen Anwendungen, deutliche Unterschiede in den Greif- und Bedienkräften vorhanden sind. Der Abbildung ist zu entnehmen, dass bei Anwendung 2 im Mittel eine geringe Kraft aufgebracht wird, als bei Anwendung 1. Die Kraftspitzen sind jedoch deutlich höher.

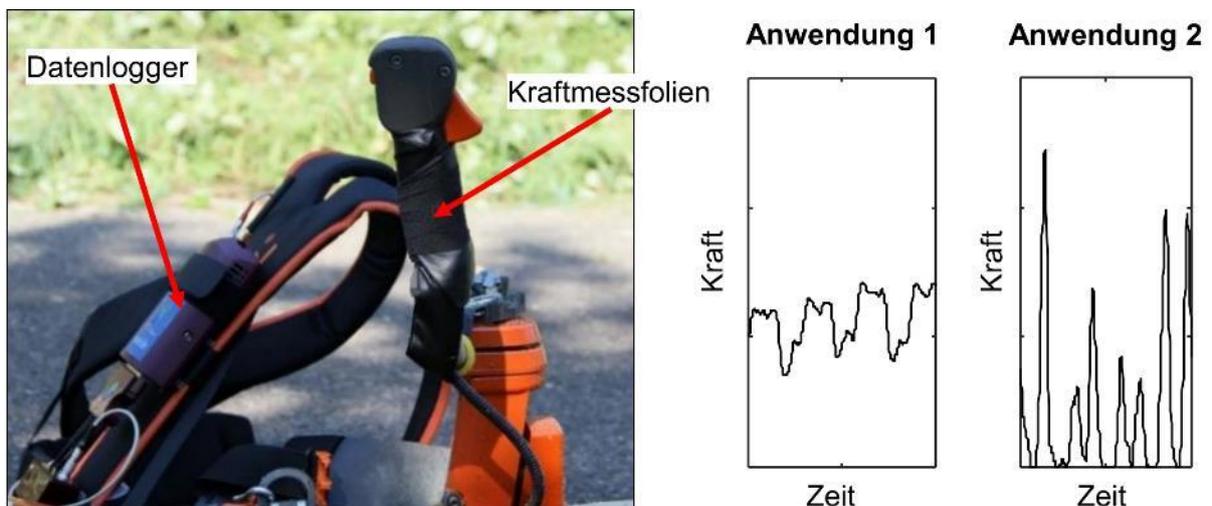
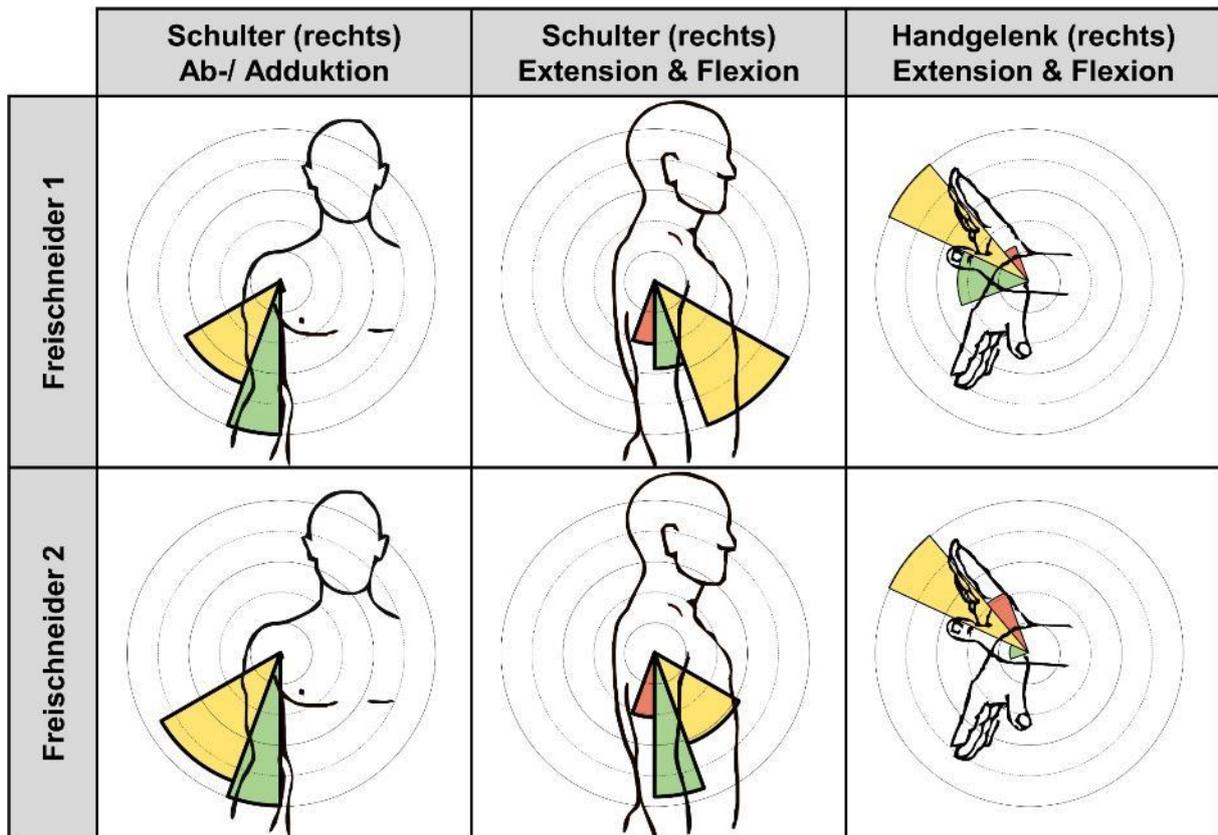


Abbildung 7-7: Kräfte am rechten Handgriff bei zwei unterschiedlichen Anwendungen

Abbildung 7-8 zeigt die Auswertung der Gelenkwinkel, welche mittels Motion Capturing erfasst wurden. Die Abbildung zeigt ausgewählte Gelenkwinkel eines Anwenders, welche mittels der Komfort-Häufigkeits-Darstellung visualisiert sind (vgl. Kapitel 8.3.3.1). Die farbigen Bereiche geben an, ob der Gelenkwinkel angenehm oder unangenehm empfunden werden - akzeptabel („grün“), bedingt akzeptabel („gelb“) oder nicht akzeptabel („rot“). Die Größe der Bereiche geben die Häufigkeit an. Es lässt sich erkennen, dass sich die Gelenkwinkel bei derselben Anwendung mit unterschiedlichen Geräten unterscheiden. So ist beispielsweise an der rechten Schulter bei der Benutzung von Gerät 1 eine stärkere Extension (gelber Bereich) zu erkennen als bei Gerät 2. Allerdings weist Gerät 2 eine stärkere Flexion des rechten Handgelenks (gelber Bereich) auf.

Abbildung 7-8: Gegenüberstellung ausgewählter Gelenkwinkel ²⁸⁷

Mit den Erkenntnissen aus den Anwendungsstudien konnten quantifizierte Entwicklungszielgrößen für die Weiterentwicklung des Lenksystems abgeleitet werden. Es schloss sich ein Kreativitätsworkshop an, um die Entwicklungszielgrößen in Ideen mit Innovationspotential zu überführen. Durch umfangreiche Tests werden diese Ideen aktuell an Prototypen validiert. Auf die Optimierungsansätze und die entwickelten Ideen wird im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter eingegangen.

²⁸⁷ Bildquelle: In Anlehnung an Matthiesen S. et al. 2016c, S.230

7.3 Diskussion

Die Fallstudie hat gezeigt, dass die initiale Methodik mit den drei Phasen Anwendungsfall-Analyse, Anwendungsfallmodellierung und Nutzungs-Analyse sinnvoll waren, um tiefe Einblicke in die professionelle Arbeitsweise der Anwender zu bekommen und diese mit Messdaten zu untermauern. Die vielseitigen Anwendungen eines Freischneiders konnten identifiziert und messtechnisch erfasst werden, woraus quantifizierbare Entwicklungszielgrößen für nachfolgende Produktgenerationen abgeleitet werden konnten.

Allerdings war der Aufwand insbesondere bei der Nutzungs-Analyse (Datenerhebung und Datenauswertung) sehr hoch. Durch folgende Anpassungen hätte der Aufwand reduziert werden können. In der Fallstudie wurden 26 Anwender messtechnisch erfasst. Teilweise war dabei das Nutzungsverhalten ähnlich. Durch eine selektive Erfassung oder selektive Auswertung hätte der Aufwand reduzieren werden können. So hätten beispielsweise wiederholende Anwendungen nicht mit Motion Capture erfasst werden müssen, sondern gegebenenfalls nur mit den Kameras. Neben der Erfassung, war der Aufwand für die Auswertung sehr hoch. Durch eine teilautomatisierte Auswertungsmöglichkeit hätte hierbei der Aufwand ebenfalls reduziert werden können.

Die Nutzungs-Analyse war sehr aufschlussreich und es konnte Wissen und Messdaten aufgebaut werden. Allerdings gilt zu beachten, dass eine ca. 2-stündige Erfassung des Nutzungsverhaltens immer nur eine Momentaufnahme darstellt. Aus diesem Grund wurde bei der Befragung der Probanden eine Selbsteinschätzung erfragt – wie repräsentativ die beobachtete Arbeitstätigkeit für die Arbeit des Probanden ist und mit welcher Häufigkeit er diese ausführt. Dies war für die Einordnung sehr wichtig.

Die Fallstudie wurde im Feld durchgeführt, was lange Fahrten notwendig machte. Eine Studie unter Laborbedingungen hätte die Anfahrt zu den Anwendern reduziert. Allerdings hätte das reale Nutzungsverhalten unter Laborbedingungen nur eingeschränkt ermittelt werden können. Nur durch „das Vorort“ sein konnten Fehlanwendungen und individuelle Arbeitsweisen identifiziert werden. So wurde beispielsweise identifiziert, dass die Gurtsysteme stark verschlissen sind und häufig ohne persönliche Schutzausrüstung oder Schutz an der Maschine gearbeitet wird. Des Weiteren haben örtliche Gegebenheiten und die variierende Vegetation einen sehr starken Einfluss auf das Nutzungsverhalten.

7.4 Fazit Fallstudie

In der Fallstudie Freischneider wurde die initiale Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (e-AFM) projektbegleitend evaluiert. Die Methodik mit den drei Phasen hat es ermöglicht, tiefe Einblicke in die professionelle Arbeitsweise der Anwender zu gewinnen und diese mit quantifizierten Messdaten zu untermauern. Nachstehend werden die Ergebnisse der Fallstudie zusammengefasst und Weiterentwicklungspotentiale abgeleitet.

Anwendungsfall-Analyse: Die im Rahmen eines Workshops durchgeführte Anwendungsfall-Analyse war hilfreich, um das im Unternehmen vorhandene Anwendungswissen aus unterschiedlichen Abteilungen zu bündeln. Mit der Analyse konnte ein gemeinsames Verständnis des Systemkontextes, der unterschiedlichen Stakeholder und der mit einem Freischneider durchgeführten Anwendungsfälle geschaffen werden. Um die Systemkontext-Analyse und die detaillierte Beschreibung von Stakeholdern effizienter zu gestalten, sollten unterstützende Vorlagen entwickelt werden.

Anwendungsfallmodellierung: Die Modellierung von Anwendungsfällen fand in der Fallstudie nur eingeschränkt statt. Dies lag unter anderem daran, dass der Aufwand für die Modellierung von dem Industriepartner als zu hoch erachtet wurde. Um den Aufwand zu reduzieren, sollten Beschreibungsformen entwickelt werden, welche eine einfache und schnelle Beschreibung mit unterschiedlichen Detaillierungsmöglichkeiten zulassen. Zudem sind Vernetzungsmethoden notwendig, welche es ermöglichen das Anwendungsfallmodell mit detailliertem Anwendungswissen anzureichern.

Nutzungs-Analyse: Die Ergebnisse der Nutzungs-Analyse wurden von dem Projektpartner sehr geschätzt. Besonders hervorzuheben sind die methodische Unterstützung bei der Durchführung und Aufbereitung des Nutzungsverhaltens mit der entwickelten Dokumentations-Vorlage. Damit konnte ein einfach und schnell zugängliches Nachschlagewerk geschaffen werden. Des Weiteren wurde eine Matlab-Datenbank aufgebaut, welche die Videos und Messdaten bereitstellt. Die Vorgehensweise wurde im Unternehmen für weitere Projekte übernommen und soll sich zukünftig als Standard etablieren. Allerdings sollte die Dokumentations-Vorlage generalisiert werden, um sie auch für andere Power-Tools nutzen zu können. Auch die Matlab-Auswertung sollte weiterentwickelt werden, um die Bewertung der Gelenkwinkel und die gekoppelte Analyse von Video und Messdaten zu vereinfachen.

8 Weiterentwicklung der Methodik zur erweiterten Anwendungsfallmodellierung

In diesem Kapitel findet die Weiterentwicklung der initialen Methodik aus Kapitel 6 statt. Damit soll das Ziel dieser Arbeit *„Entwicklung einer Methode, um das Nutzungsverhalten von Power-Tools zu identifizieren, zu beschreiben und für die interdisziplinäre Produktentwicklung nutzbar zu machen“*, erreicht werden. Im Folgenden werden die geschärfte Bedarfsermittlung, die Weiterentwicklungspotentiale und die daraus entwickelten Phasen und Aktivitäten der weiterentwickelten Methodik aufgezeigt.

8.1 Phasen und Aktivitäten der weiterentwickelten Methodik

Die Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (e-AFM) unterstützt den Entwickler bei der Identifikation und Beschreibung des Nutzungsverhaltens indem sie eine Vorgehensweise und geeignete Methoden zur Verfügung stellt. Dabei geht sie über die klassischen Ansätze hinaus, indem sie die Top-Down mit der Bottom-up-Modellierung kombiniert und die eher abstrakten Beschreibungsmethoden für Anwendungsfälle um Beschreibungsmethoden für das Nutzungsverhalten erweitert. In Kapitel 6 fand die Entwicklung von ersten Methodenansätzen statt. Die Bedarfssituation wurde in Experten-Interviews geschärft und folgende Anforderungen an die Methode abgeleitet (vgl. Kapitel 5): Die Methodik soll eine strukturierte Vorgehensweise mit Methoden- und Handlungsempfehlungen für eine erfolgreiche Anwendung bereitstellen. Der Aufwand für die Anwendung der Methodik soll angemessen sein und die Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams unterstützen. Zudem soll die Methodik die Erfassung und Beschreibung des Nutzungsverhaltens unterstützen, um damit den Wissensdefiziten (Anwender, Arbeitsweise und Umweltbedingungen) zu begegnen. Die initiale Methodik wurde in einer projektbegleitenden Fallstudie validiert und von den beteiligten Entwicklern bewertet (vgl. Kapitel 7). Hierbei hat sich gezeigt, dass die drei Phasen der erweiterten Anwendungsfallmodellierung den Entwickler unterstützen. Insbesondere die Anwendungsfall-Analyse wurde als gute Vorarbeit gesehen, um das Nutzungsverhalten zielgerichtet zu erfassen. Die Phasen sollten allerdings weiter ausdetailliert werden. Folgende Weiterentwicklungspotentiale wurden abgeleitet:

- **Anwendungsfall-Analyse:** Es sollten auf die Power-Tool-Branche angepasste Beschreibungsformen und Vorlagen zur effizienten Beschreibung des Systemkontextes und Stakeholdern entwickelt werden.
- **Anwendungsfallmodellierung:** Die Modellierung wurde als zu abstrakt und schwer verständlich angesehen. Zudem wurde der hohe Modellierungsaufwand bemängelt und der Mehrwert nicht erkannt. Es bestand ein geringes Interesse ein Anwendungsfall-Modell zu entwickeln. Um die Akzeptanz der Modellierung zu steigern sollte daher der Fokus einer Weiterentwicklung daher auf der Aufwandsminimierung und der Vorgabe einer klaren Modellierungsstruktur liegen.
- **Nutzungs-Analyse:** An Beschreibungsformen und Analysemethoden für das Nutzungsverhalten besteht großer Bedarf. Daher sollten die Dokumentations-Vorlage, die Auswertungs- und Bewertungstools für die Gelenkwinkel, die Kombination von mehreren Ansichten (multi-view) und der Fragebogen inklusive der Selbsteinschätzung weiterentwickelt werden.

Aus der geschärften Bedarfsermittlung und den Weiterentwicklungspotentialen, wird in diesem Kapitel die Weiterentwicklung der Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung vorgestellt.²⁸⁸ Abbildung 8-1 zeigt die weiterentwickelte Methodik. Die weiterentwickelte Methodik besteht, wie die initiale Methodik aus den drei Phasen: Anwendungsfall-Analyse, Anwendungsfallmodellierung und Nutzungs-Analyse. Die Phasen wurden durch Aktivitäten mit unterstützenden Methoden erweitert, welche im Folgenden vorgestellt werden. Die Reihenfolge der Aktivitäten ist nicht verpflichtend – sie bauen allerdings teilweise aufeinander auf. In Kapitel 8.5 wird auf Basis der gesammelten Erfahrungen und den Untersuchungen Regeln und Empfehlungen zur Anwendung der Methodik abgeleitet. Abschließend wird in Kapitel 8.6 ein Fazit zur Methodikentwicklung gezogen. Abbildung 8-37 stellt zusammenfassend die drei Phasen, Aktivitäten und Methoden dar.

²⁸⁸ Die in diesem Kapitel dargestellten Untersuchungen und Ansätze sind im Rahmen der folgenden Publikationen veröffentlicht worden: vgl. Schmidt, S. et al. 2015 und Matthiesen, S. et al. 2016c

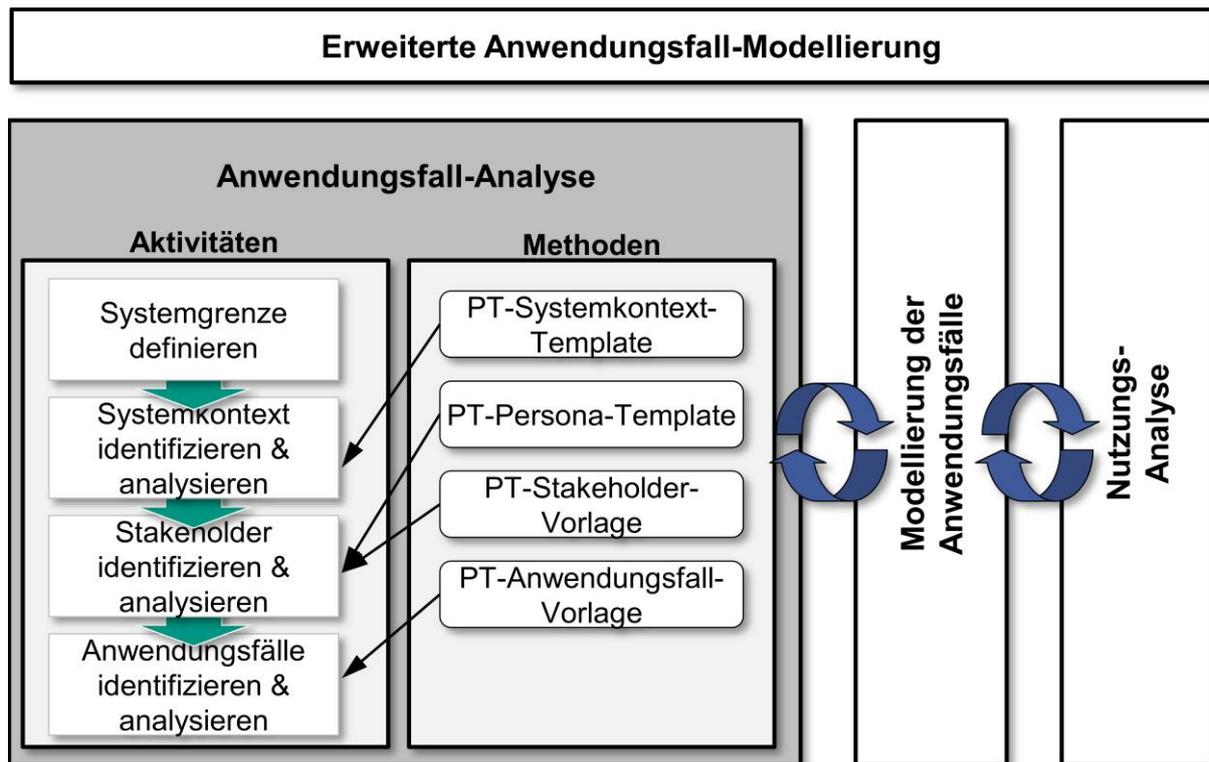


Abbildung 8-1: Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (e-AFM) (weiterentwickelte Version)

8.2 Anwendungsfall-Analyse

Die Anwendungsfall-Analyse stellt die erste Phase der erweiterten Anwendungsfallmodellierung dar. In dieser Phase werden die Tätigkeiten, die ein Anwender oder ein anderer Stakeholder mit dem System durchführt, analysiert. Die Anwendungsfall-Analyse findet häufig ohne direkte Anwenderinteraktion statt und baut zu weiten Teilen auf bereits vorhandenem Wissen auf. Abbildung 8-2 zeigt die Phase mit den vier Aktivitäten und den unterstützenden Methoden.

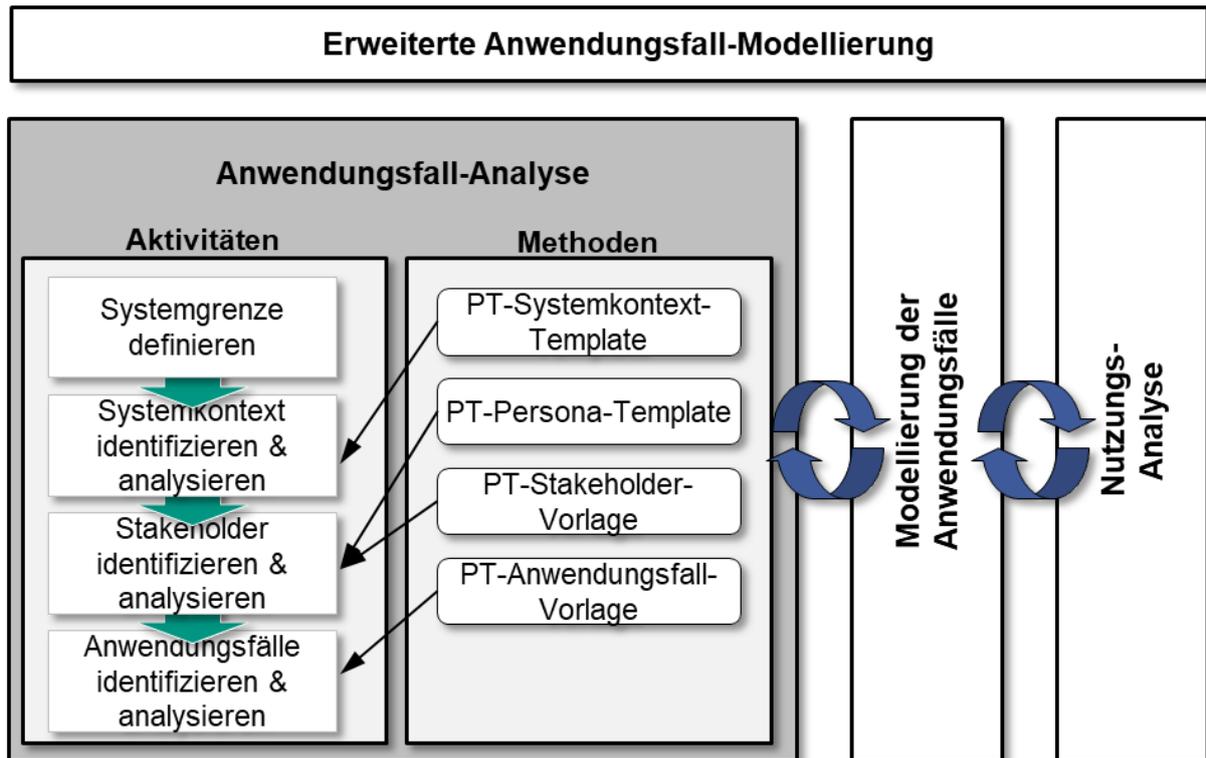


Abbildung 8-2: Phase Anwendungsfall-Analyse mit Aktivitäten und Methoden

Die Erstellung der Anwendungsfall-Analyse sollte in einem interdisziplinären Team, im Rahmen eines Workshops erfolgen. Es hat sich bewährt ein inhomogenes Team, beispielsweise aus den Abteilungen Entwicklung, Marketing und Erprobung zu bilden. Die Phase Anwendungsfall-Analyse wurde durch die Aktivitäten (1) Systemgrenze identifizieren und analysieren, (2) Systemkontext identifizieren und analysieren, (3) Stakeholder identifizieren und analysieren und (4) Anwendungsfälle identifizieren, erweitert. Zudem wurden folgende Methoden und Vorlagen entwickelt oder auf Power-Tools angepasst, um diese Aktivitäten zu unterstützen: PT-Systemkontext-Template, PT-Persona-Template, PT-Stakeholder-Vorlage und die PT-Anwendungsfall-Vorlage. Die Aktivitäten und Methoden werden in den folgenden Unterkapiteln detailliert beschrieben.

8.2.1 Aktivität Systemgrenze definieren

Die erste Aktivität der Anwendungsfall-Analyse ist das *Definieren der Systemgrenze*. Die Systemgrenze trennt das zu entwickelnde System von seiner Umgebung²⁸⁹. Die Elemente innerhalb der Systemgrenze, können während der Produktentwicklung verändert werden, sie stellen den Gestaltungsraum des Entwicklers dar. Der Systemkontext, auch Umwelt genannt, ist der relevante Teil der Umgebung eines Systems (vgl. Abbildung 8-3)²⁸⁹. Das System kann den Systemkontext jedoch nicht beeinflussen, sondern muss sich daran anpassen. Mögliche Elemente des Systemkontextes können Stakeholder, Systeme (z. B. andere technische Systeme, mit denen das System kommuniziert), Prozesse (z. B. Geschäftsprozesse) oder Dokumente (z. B. Gesetze, Normen, Richtlinien) sein. Die Systemkontextgrenze trennt den Systemkontext von der irrelevanten Umgebung ab²⁸⁹. Die irrelevante Umgebung besitzt keinen Einfluss auf das zu entwickelnde System und muss nicht weiter berücksichtigt werden.

Definition: Stakeholder

Stakeholder sind Personen oder Interessensgruppen, die am Projekt oder dessen Ablauf interessiert oder direkt beteiligt sind.²⁹⁰

Definition: Systemgrenze

„Die Systemgrenze separiert das geplante System von seiner Umgebung. Sie grenzt den im Rahmen des Entwicklungsprozesses gestaltbaren und veränderbaren Teil der Realität von Aspekten in der Umgebung ab, die durch den Entwicklungsprozess nicht verändert werden können.“²⁹¹

Definition: Umwelt/Systemkontext

Die Umwelt, auch Systemkontext genannt, beinhaltet alle äußeren Faktoren, die auf ein System einwirkt und damit seinen Zustand beeinflussen. Dabei findet eine beidseitige Wechselwirkung bzw. gegenseitige Beeinflussung statt.²⁹²

²⁸⁹ vgl. Albers, A. et al. 2016

²⁹⁰ vgl. Schelle, H. et al. 2005

²⁹¹ Pohl, K. & Rupp, C. 2011, S24

²⁹² nach Albers, A. et al. 2016

Definition: Systemkontextgrenze

Die Kontextgrenze separiert den relevanten Teil der Umgebung eines geplanten Systems vom irrelevanten Teil, d. h. dem Teil der Umgebung, der keinen Einfluss auf das geplante System und damit auch keinen Einfluss auf die Anforderungen dieses Systems hat.²⁹³

Definition: Umgebung

Die Umgebung umgibt jedes System. Es findet allerdings keine Beeinflussung statt.²⁹⁴

Abbildung 8-3 verdeutlicht die Aktivität *Systemgrenze definieren* am Beispiel eines gasbetriebenen Direktbefestigungsgerätes. Ein Direktbefestigungsgerät wird für den Trockenbau eingesetzt. Das Gerät stellt das zu entwickelnde System dar. Im Systemkontext (der relevanten Umwelt) befinden sich die Befestigungselemente, Gas-

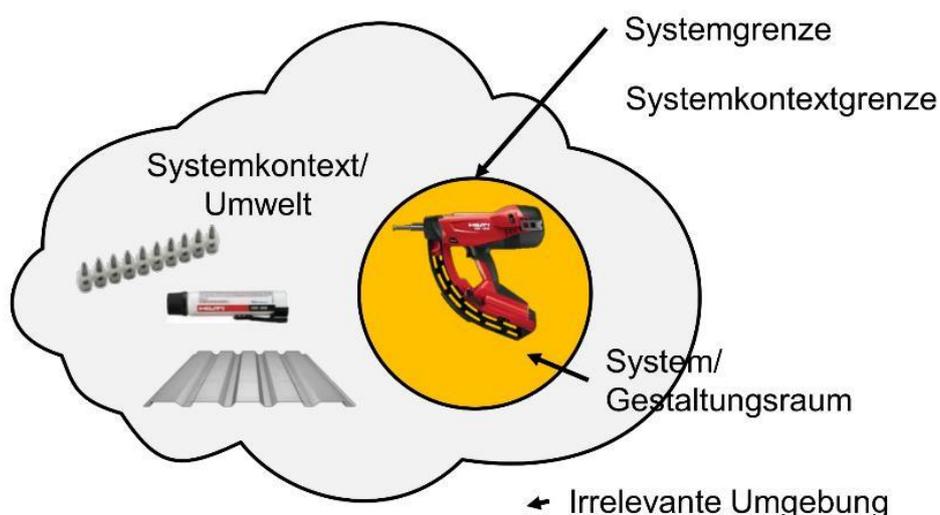


Abbildung 8-3: Systemgrenze und Kontextgrenze eines Power-Tools²⁹⁵

kartusche sowie die zu befestigenden Elemente wie beispielsweise Bleche, Schellen und Verbinder. Im Gestaltungsraum des Entwicklers befindet sich nur das Gerät, die Elemente des Systemkontextes können nicht beeinflusst werden. Der Systemkontext kann sich aufgrund von neuen Consumables²⁹⁶ oder sich ändernden Gesetzen allerdings verändern. Daher sollte er regelmäßig auf Veränderungen geprüft werden.

²⁹³ In Anlehnung an Pohl, K. & Rupp, C. 2011, S24

²⁹⁴ vgl. Albers, A. et al. 2016

²⁹⁵ Bildquellen: in Anlehnung an microTOOL GmbH; www.hilti.de

²⁹⁶ Eigene Definition

8.2.2 Aktivität Systemkontext identifizieren und analysieren

Den *Systemkontext identifizieren und analysieren* ist die zweite Aktivität der Anwendungsfall-Analyse. Im Rahmen der Systemkontext-Analyse werden die relevanten Personen und Systeme, welche mit dem betrachteten System wechselwirken oder einen Einfluss haben, ermittelt und analysiert²⁹⁷. Zur Dokumentation des Systemkontextes kann ein Systemkontext-Diagramm genutzt werden²⁹⁸. Das Systemkontext-Diagramm zeigt das betrachtete System, die Akteure (Menschen, Umgebung und interagierende, technische Nachbarsysteme), die mit dem System wechselwirken, die Flüsse (Stoff, Energie und Information) und die Schnittstellen des Systems mit seiner Umgebung. Der Mehrwert für das Entwicklungsteam ist vor allem ein gemeinsames Systemverständnis und das „Bewusstmachen“ von Schnittstellen mit dem Systemkontext. Für die Durchführung einer Systemkontext-Analyse wurde folgende Vorgehensweise entwickelt²⁹⁹: (1) Systemgrenze festlegen, (2) Systemakteure identifizieren und modellieren, (3) Wechselwirkungen und Flüsse identifizieren und modellieren und (4) Schnittstellen identifizieren und modellieren.

Abbildung 8-4 verdeutlicht das Systemkontext-Diagramm an einem Bolzensetzgerät. Das Diagramm greift die Elemente der Systemabgrenzung aus Abbildung 8-3 auf und erweitert diese mit relevanten Objekt- und Informationsflüssen (Gas, Daten, Nägel) und Schnittstellen wie beispielsweise (RFID-Chip und RFID-Lesegerät). Als Zubehör wurden das Stangengerät sowie relevante Consumables ergänzt. Zur Unterstützung der Erstellung eines Systemkontext-Diagramms wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Vorlage entwickelt, das sogenannte PT-Systemkontext-Template³⁰⁰. Es kombiniert Modelle aus der Literatur³⁰¹ und ergänzt sie um Power-Tool spezifische Elementen.

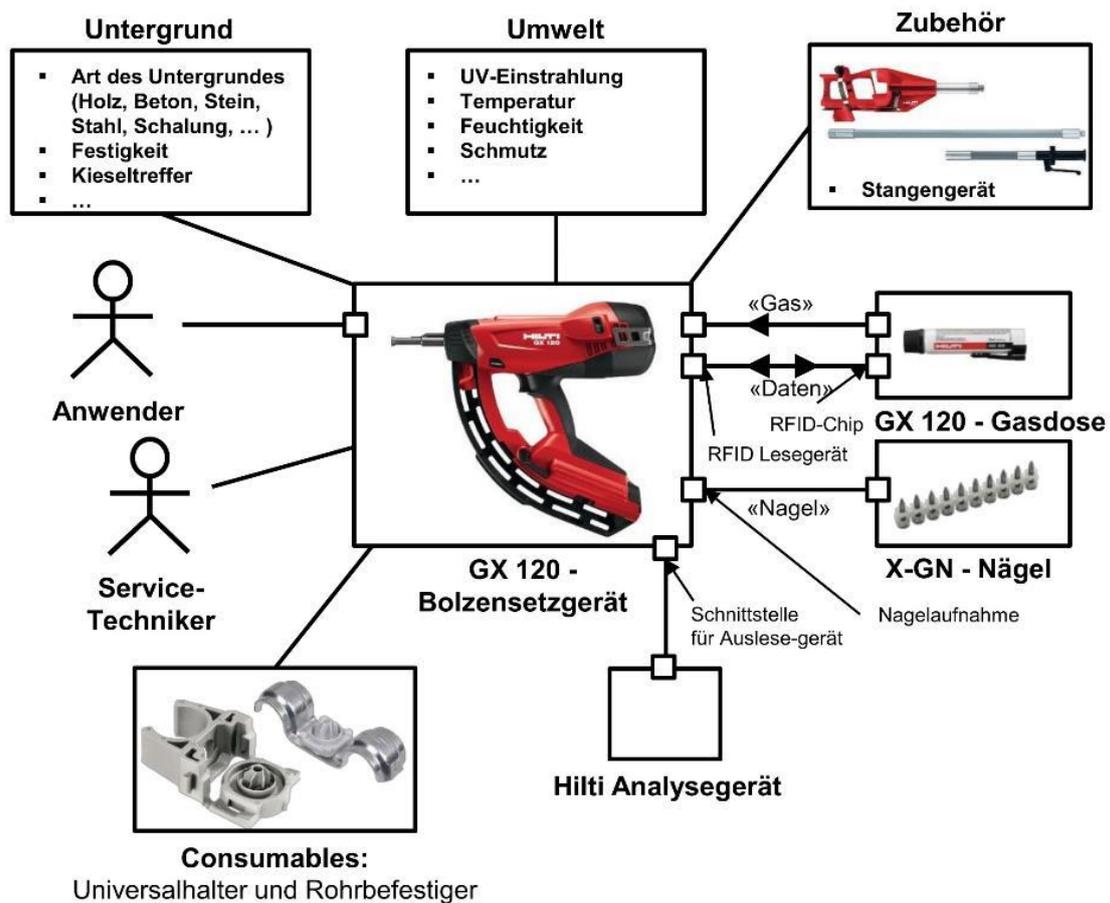
²⁹⁷ vgl. Ebert, C. 2014

²⁹⁸ Das Systemumfeld-Diagramm ist kein definiertes Diagramm der SysML, es kann formal korrekt durch SysML-Standardelemente mit einem Block-Definitions-Diagramm abgebildet werden

²⁹⁹ vgl. Weilkiens, T. 2014; Rupp, C. & Sophisten 2014

³⁰⁰ siehe Anhang Kapitel 14.3, S. 205

³⁰¹ vgl. Rupp, C. & Sophisten 2014; Weilkiens, T. 2014; Pohl, K. & Rupp, C. 2011

Abbildung 8-4: Systemkontext-Diagramm eines Bolzensetzgerätes GX120³⁰²

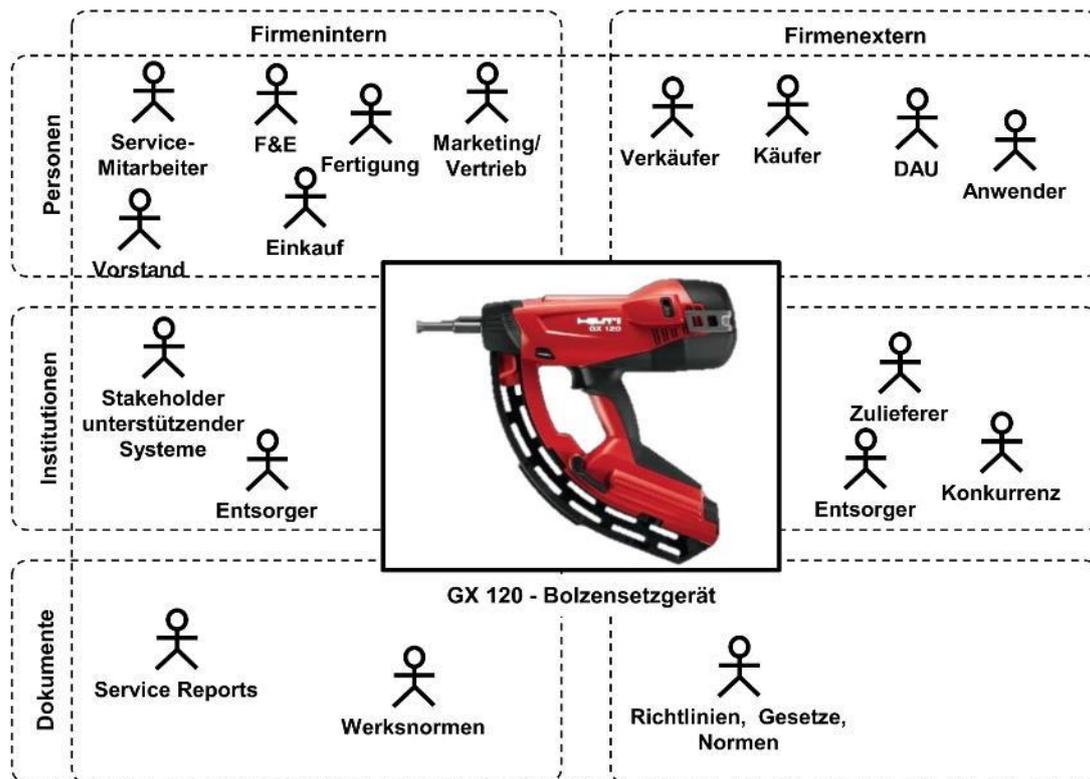
8.2.3 Aktivität Stakeholder identifizieren und analysieren

Die *Stakeholder identifizieren und analysieren* ist die dritte Aktivität der Anwendungsfall-Analyse. Die Analyse der Stakeholder unterstützt das Entwicklungsteam dabei, alle relevanten Anwender und Stakeholder (Interessensvertreter) zu ermitteln und deren Anforderungen an das System zu analysieren. Ein Stakeholder kann auch außerhalb der eigentlichen Nutzungsphase ein Interesse an dem System besitzen. Bei einer vollständigen Stakeholder-Analyse wird daher der Produktlebenszyklus von der Nutzung bis zum Recycling betrachtet³⁰³. Zur Dokumentation der Stakeholder kann ein Stakeholder-Diagramm³⁰⁴, genutzt werden, welches das betrachtete System und alle Stakeholder die ein Interesse an dem System besitzen zeigt. Abbildung 8-5 verdeutlicht dies am Beispiel eines Bolzensetzgerätes.

³⁰² Bildquellen: www.hilti.de

³⁰³ vgl. Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT 2017

³⁰⁴ Das Stakeholder-Diagramm kann mit einem SysML-Blockdefinitionsdiagramm dargestellt werden

Abbildung 8-5: Stakeholder-Diagramm eines Bolzensetzgerätes³⁰⁵

Zur Unterstützung der Erstellung eines Stakeholder-Diagramms wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Vorlage entwickelt, die sogenannte PT-Stakeholder-Vorlage³⁰⁶. Die Vorlage kombiniert Modelle aus der Literatur³⁰⁷ und ergänzt sie um Power-Tool spezifische Elemente. Die Vorlage besteht aus den drei Bereichen – Personen, Institutionen, Dokumente – welche in unternehmensintern und -extern aufgeteilt sind. Der Mehrwert liegt in der Effizienzsteigerung und einer vollständigen Stakeholderliste. Allerdings birgt eine Vorlage auch die Gefahr, dass eine gewisse Vollständigkeit suggeriert wird. Daher sollte, auch wenn die Vorlage bereits viele Stakeholder vorgibt, stets geprüft werden, ob alle relevanten Stakeholder erfasst sind. Wenn die Stakeholder-Analyse in einem Workshop stattfindet, kann die Vorlage auch nur dem Moderator vorliegen, der damit das von den Teilnehmern entwickelte Modell vervollständigt. Für eine Stakeholder-Analyse wurde folgende Vorgehensweise entwickelt: Analyse der (1) Anwendertypen, (2) der Gewerke, (3) der Misakteure und des (4) Produktlebenszykluses. Alle relevanten Nutzer sollten im Stakeholder-

³⁰⁵ Bildquellen: www.hilti.de

³⁰⁶ Entwickelte Vorlage: PT-Stakeholder-Vorlage, siehe Anhang Kapitel 14.4, S.206

³⁰⁷ vgl. Feldhusen, J. et al. 2013, Stapleton, T. 2005, Rupp, C. & Sophisten 2014

Diagramm festgehalten werden. Im Nachgang können die besonders relevanten Stakeholder mit der (5) Persona-Methode detailliert werden.

(1.) Analyse der Anwendertypen: Die verschiedenen Anwendertypen sollten betrachtet werden. Dabei kann zwischen folgenden Anwendertypen unterschieden werden (vgl. Kapitel 2.3.2): primäre Nutzer (Hauptnutzer, Anwender), sekundäre Nutzer (z. B. Servicetechniker-/Reinigungspersonal) und dem indirekten tertiären und meist unbeabsichtigten Nutzer (z. B. Stakeholder, welche durch das Power-Tool beeinträchtigt werden).

(2.) Analyse der Gewerke: Die Gewerkeunterschiede sollten ebenfalls betrachtet werden. In Abhängigkeit der Gewerke führen die Anwender unterschiedliche Anwendungen mit Power-Tools durch und verfolgen unterschiedliche Arbeitsziele. Damit können grundlegend andere Anforderungen an das Gerät gestellt werden. MATTHIESEN ET AL. beschreiben beispielsweise, wie an Stichsägen je nach Branche und Anwendung unterschiedliche Anforderungen gestellt werden. So legt ein Tischler besonderen Wert auf einen präzisen und akkuraten Schnitt, wohingegen für einen Maurer der Sägefortschritt und die Robustheit des Power-Tools ausschlaggebend sei³⁰⁸.

(3.) Analyse von Fehlanwendern: Neben den willentlichen Anwendern sollten bei der Stakeholder-Analyse auch die Fehlanwender (engl. misactor) analysiert werden (vgl. Kapitel 2.2.2.3). Häufig wird in diesem Zusammenhang von einem DAU gesprochen. Der Begriff DAU steht als Abkürzung für „**D**ümmster **A**nzunehmender **U**ser“. Er steht für alle Anwender die Anwendungsfehler begehen. Darunter können beispielsweise handwerklich ungeschickte Benutzer, Kleinkinder, Senioren, Anwender ohne Grundlagenwissen, Diebe und Anwender die das Power-Tool mit grober Fahrlässigkeit oder missbräuchlich einsetzen, verstanden werden.

(4.) Analyse des Produktlebenszykluses: Das Interesse mancher Stakeholder liegt außerhalb der eigentlichen Nutzungsphase des Systems, daher sollte der komplette Produktlebenszyklus inklusive Kaufentscheid, Transport, Vor- und Nachbereitung, Reparatur und Wartung sowie Recycling (vgl. Kapitel 2.1.2) betrachtet werden.

³⁰⁸ vgl. Matthiesen, S. et al. 2016c

(5.) Detaillierung durch die Persona-Methode: Besonders relevante Stakeholder sollten detailliert beschrieben werden. Mithilfe der Persona-Methode (vgl. Kapitel 2.5.3) können sich Entwickler besser in den Kunden hineinversetzen und damit dessen Bedürfnisse besser antizipieren. Zur effizienten Anwendung der Persona-Methode wurde eine auf Power-Tools angepasste Persona-Vorlage³⁰⁹ entwickelt. Bei der Entwicklung der Vorlage sind die Erkenntnisse aus der Fallstudie Freischneider (vgl. Kapitel 7) eingeflossen, bei welcher sich Schwierigkeiten bei der Stakeholder-Beschreibungen gezeigt haben. Besondere Merkmale der Vorlage sind, die psychischen, physischen und psychografischen Eigenschaften, Beschreibung der Arbeitstätigkeiten, Nutzung, Fachkenntnisse, sowie eine Beschreibung des verwendeten Power-Tools.

Abbildung 8-6 und Abbildung 8-7 veranschaulichen, die Anwendung der entwickelten Persona-Vorlage an zwei Freischneider-Anwendern. So ist beispielsweise „Dieter Dauermäher“, ein deutscher kommunaler Arbeiter, der beim Bauhof angestellt ist. Er legt Wert auf ein bequemes Produkt, mit gutem ergonomischem Gurtsystem. Er besitzt sein eigenes Gurtsystem und setzt den Freischneider vorwiegend für flächige Arbeiten von Park- und Grünflächen mit Ausputzarbeiten ein. Im Gegensatz dazu legt Fernando Feuerwald speziellen Wert auf ein langlebiges Werkzeug für die Waldbrandprävention. Er ist Lohnarbeiter in Spanien oder Frankreich und besitzt keinen eigenen Gurt, sondern alle Arbeiter der Kolonne teilen sich den Gurt für ein Gerät. Es wird gespart und das Gurtsystem wird mehrfach repariert und solange genutzt bis das Gerät kaputt ist. Dann wird im Set ein neues Gerät inklusive Gurtsystem beschafft.

³⁰⁹ Entwickelte Vorlage: PT-Stakeholder-Vorlage siehe Anhang Kapitel 14.5, S.207

8.2.4 Aktivität Anwendungsfälle identifizieren und analysieren

Anwendungsfälle identifizieren und analysieren ist die vierte Aktivität der Anwendungsfall-Analyse. Nachdem der Systemkontext und die Stakeholder analysiert wurden, können darauf aufbauend die Anwendungsfälle identifiziert werden. Hierfür werden die Tätigkeiten, die ein Anwender oder ein anderer Stakeholder mit einem System durchführt, analysiert. Ein Anwendungsfall im Kontext von Power-Tools beschreibt, auf eine generalisierte Art und Weise, die Tätigkeiten (Menge von Aktionen) die mit einem Power-Tool durchgeführt werden oder durchgeführt werden könnten. Die Tätigkeiten werden mit einem bestimmten Ziel durchgeführt, es empfiehlt sich den Anwendungsfall wie das Ziel zu benennen. Anwendungsfälle können aus dem Nutzungsverhalten abgeleitet oder anhand von Anwendungswissen definiert werden.³¹² Zur Identifikation von Anwendungsfällen wurde die in Abbildung 8-8 dargestellte Methodenübersicht entwickelt.

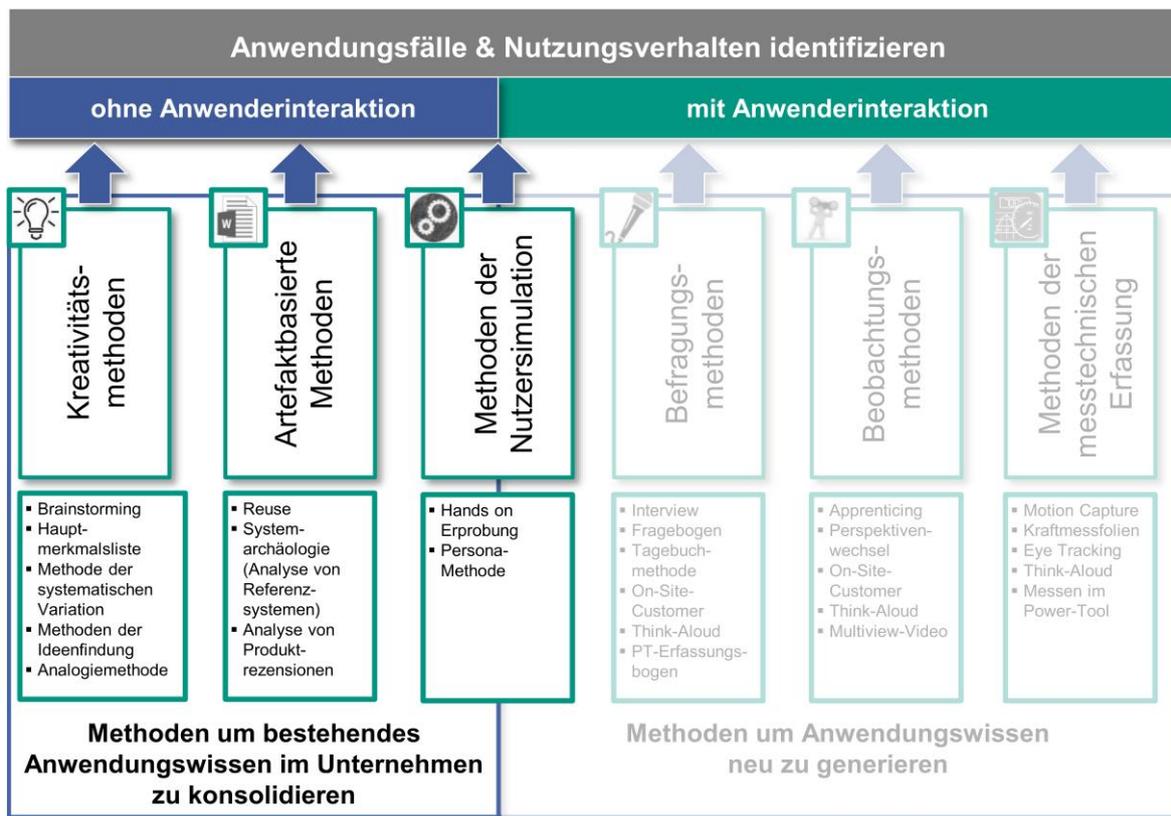


Abbildung 8-8: PT-Methodenübersicht zur Identifikation von Anwendungsfällen³¹³

³¹² Eigene Definition

³¹³ Bildquelle: vgl. Matthiesen, S. et al. 2016c in Anlehnung an Zehnter, C. et al. 2012, vollständige Darstellung siehe Anhang Kapitel 14.1, S.193

Die Darstellung besteht aus sechs Säulen und ist angelehnt an ZEHNTER ET AL.³¹⁴, wessen ursprüngliche Darstellung 4 Säulen besitzt und zur Anforderungsermittlung dient (vgl. Kapitel 2.5). Die Säulen Messtechnik und Nutzersimulation wurden hinzugefügt, womit sich folgende Methodenübersicht ergibt: (1) artefakt-basierte Methoden, (2) Kreativitätsmethoden, (3) Methoden der Nutzersimulation, (4) Befragungsmethoden, (5) Beobachtungsmethoden und (6) Methoden der messtechnischen Erfassung. Die Methoden können in zwei Bereiche unterteilt werden: mit Anwenderinteraktion und ohne Anwenderinteraktion. Für die Phase Anwendungsfall-Analyse eignen sich folgende Methoden: (1) artefakt-basierte Methoden, (2) Kreativitätsmethoden, (3) Methoden der Nutzersimulation. Idealerweise werden die Methoden im Rahmen eines Workshops eingesetzt um das bereits bestehende Wissen des Unternehmens zusammenzubringen und aus verschiedenen Blickwinkeln zu beleuchten. Der Aufwand für diese Methoden ist eher gering. Die allgemeingültigen Methoden wurden bereits in Kapitel 2.5 vorgestellt und werden daher im Folgenden nur kurz erläutert. Die Methoden mit Anwenderinteraktion sind weniger für die Anwendungsfall-Analyse sondern für die Nutzungs-Analyse geeignet, sie werden in Kapitel 8.3 vorgestellt:

- Die **artefakt-basierten Methoden** basieren auf der Analyse von bereits vorhandenen Dokumenten und Systemen – sogenannter Artefakten. Geeignete Methoden sind die Wiederverwendung (Reuse) und die Systemarchäologie und die Analyse von Produktrezensionen (Produktbewertungen) in Online- und Printmedien (vgl. Kapitel 2.5.1).
- Mit **Kreativitätsmethoden** werden Anwendungsfälle strukturiert erfasst oder vorausgedacht und das Wissen der Teilnehmer gebündelt³¹⁵. Geeignete Methoden sind Brainstorming, Hauptmerkmalliste, Methoden der Ideenfindung und Analogiemethoden (vgl. Kapitel 2.5.2).
- Bei einer **Nutzersimulation** versetzt sich der Entwickler in die Rolle einer anderen Person und simuliert Tätigkeiten dieser Person (Anwender, Wartungs- oder Reinigungspersonal). Unterstützende Methoden sind Hands-on Erprobung und Perspektivenwechsel (vgl. Kapitel 2.5.3).

³¹⁴ vgl. Zehnter, C. et al. 2012

³¹⁵ vgl. Pohl, K. & Rupp, C., 2011, S. 86

Im Folgenden wird das Identifizieren von Anwendungsfällen am Beispiel der des Bolzensetzgerätes GX120 verdeutlicht (vgl. Abbildung 8-9). In einem ersten Schritt können mit Hilfe von Kreativitätsmethoden für alle Anwender und weitere Stakeholder Anwendungsfälle identifiziert werden. Durch artefakt-basierte Methoden oder eine Nutzersimulation können weitere Anwendungsfälle identifiziert oder vorausgedacht werden. Durch Beschreibungen in natürlicher oder formaler Sprache können die Anwendungsfälle weiter detailliert werden (vgl. Kapitel 8.4).

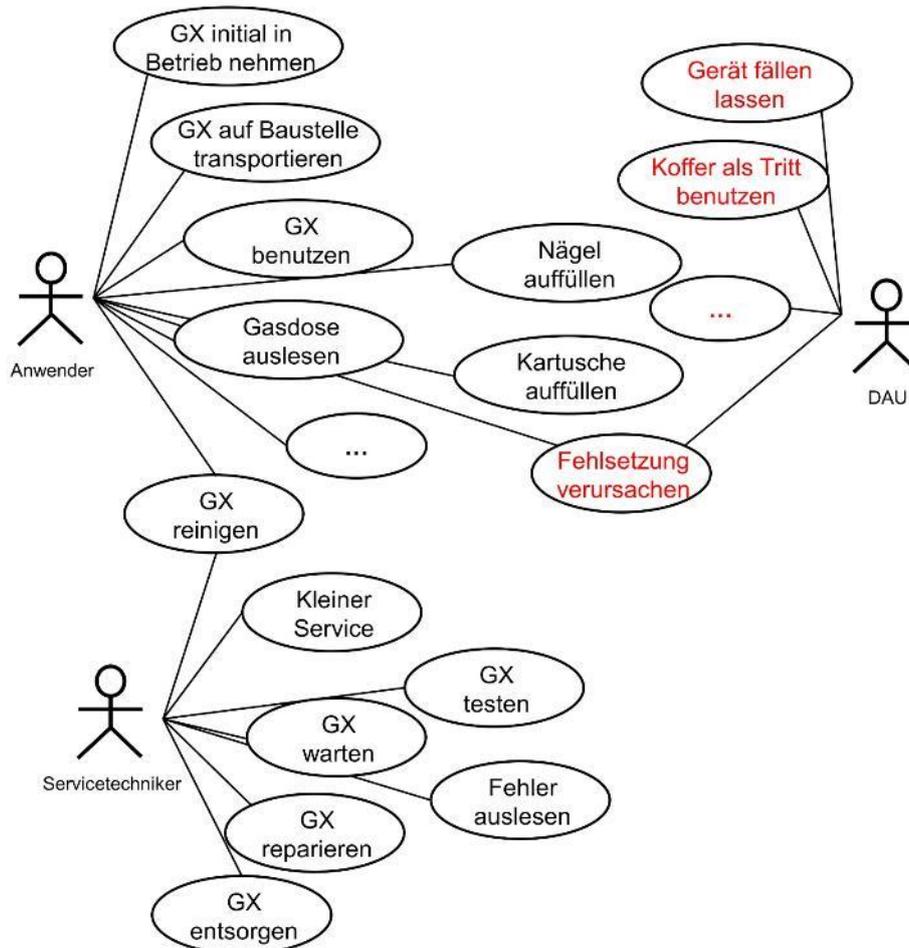


Abbildung 8-9: Anwendungsfälle eines Bolzensetzgerätes

8.2.5 Fazit

In diesem Kapitel wurde die Anwendungsfall-Analyse vorgestellt. Sie stellt die erste Phase der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (e-AFM) dar. Dabei werden die Tätigkeiten, die ein Anwender oder ein anderer Stakeholder mit dem System durchführt analysiert. Gegenüber der initialen Methodik (vgl. Kapitel 6) wurde die Anwendungsfall-Analyse durch die Aktivitäten (1) Systemgrenze identifizieren und analysieren, (2) Systemkontext identifizieren und analysieren, (3) Stakeholder identifizieren und analysieren und (4) Anwendungsfälle identifizieren und analysieren, erweitert. Um diese Aktivitäten zu unterstützen, wurden folgende Methoden und Vorlagen entwickelt oder auf Power-Tools angepasst:

- PT-Systemkontext-Template
- PT-Persona-Template
- PT-Stakeholder-Vorlage
- PT-Anwendungsfall-Vorlage
- PT- Methodenübersicht

Basierend auf den in diesem Kapitel vorgestellten Ergebnissen kann Forschungsfrage 2.1 wie folgt beantwortet werden:

Antwort auf Forschungsfrage 2.1 „*Welche Methoden gibt es, um Anwendungsfälle zu identifizieren und zu dokumentieren?*“:

- Mit Hilfe der Aktivitäten (Systemgrenze identifizieren und analysieren, Systemkontext identifizieren und analysieren, Stakeholder identifizieren und analysieren und Anwendungsfälle identifizieren und analysieren) und den entwickelten oder auf Power-Tools angepassten Methoden (PT-Systemkontext-Template, PT-Persona-Template, PT-Stakeholder-Vorlage) können Anwendungsfälle für Power-Tools ohne direkte Anwenderinteraktion identifiziert oder vorausgedacht werden. Dabei wird auf bereits vorhandenes Anwendungswissen zurückgegriffen.
- Die Dokumentation von Anwendungsfällen kann mit Methoden der SysML und der auf Power-Tools angepassten PT-Anwendungsfall-Vorlage erfolgen.

8.3 Nutzungs-Analyse

In diesem Kapitel wird die Nutzungs-Analyse vorgestellt, sie stellt die dritte Phase der erweiterten Anwendungsfallmodellierung dar. Auf die zweite und sich iterativ wiederholende Phase der Anwendungsfallmodellierung wird in Kapitel 8.4 eingegangen. In der Nutzungs-Analyse wird Anwendungswissen durch eine direkte Anwenderinteraktion (Beobachtung, Befragung, messtechnische Erfassung) neu generiert. Zudem können quantifizierte Messgrößen erhoben werden, um Entwicklungszielgrößen abzuleiten. Als Vorbereitung ist es sinnvoll, das bestehende Anwendungswissen durch eine Anwendungsfall-Analyse (vgl. Kapitel 8.2) zu konsolidieren. Die weiterentwickelte Vorgehensweise der Nutzungs-Analyse ist in Abbildung 8-10 dargestellt.

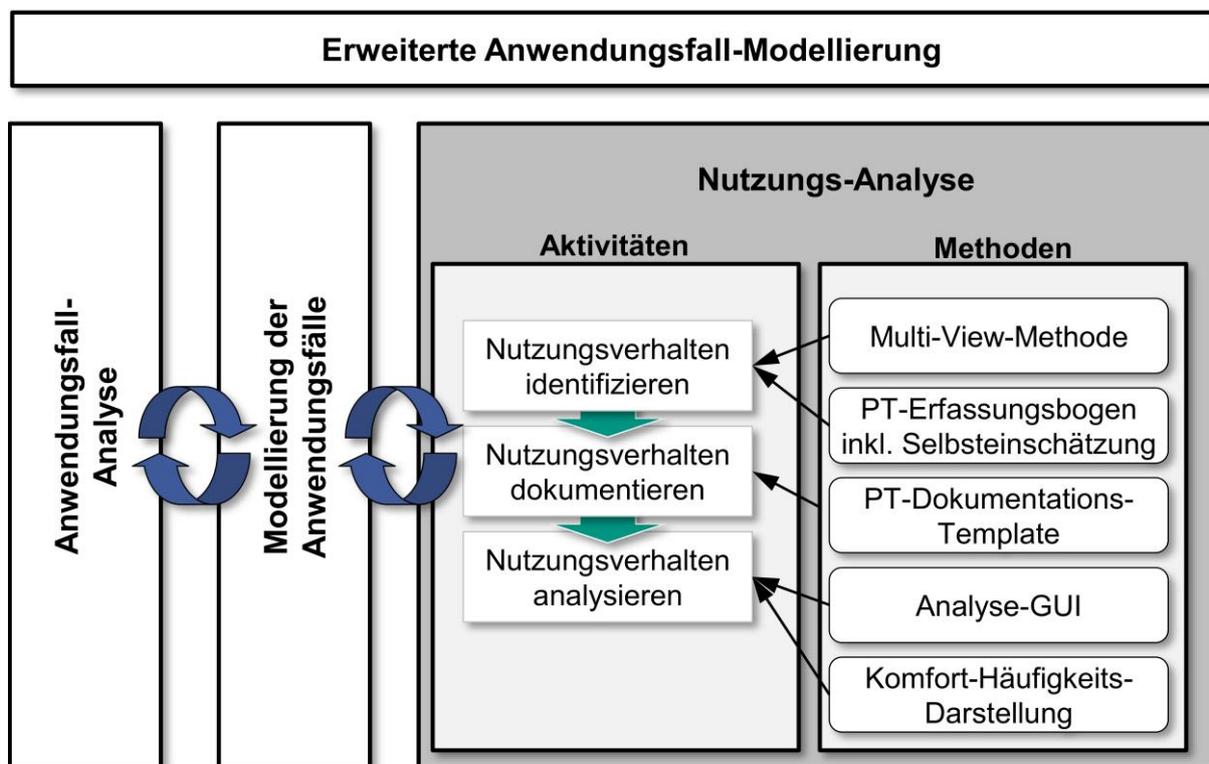


Abbildung 8-10: Phase Nutzungs-Analyse mit Aktivitäten und Methoden

Die Phase wurde durch die Aktivitäten (1) Nutzungsverhalten identifizieren, (2) Nutzungsverhalten dokumentieren und (3) Nutzungsverhalten analysieren, erweitert. Um diese Aktivitäten zu unterstützen, wurden folgende Methoden und Vorlagen entwickelt oder auf Power-Tools angepasst: Multi-View-Methode, PT-Erfassungsbogen inklusive Selbsteinschätzung, PT-Dokumentations-Template, Analyse-GUI und die Komfort-Häufigkeits-Darstellung. Die Aktivitäten mit den unterstützenden Methoden werden in den folgenden Unterkapiteln beschrieben.

8.3.1 Aktivität Nutzungsverhalten identifizieren

Die erste Aktivität der Phase Nutzungs-Analyse ist es, das *Nutzungsverhalten zu identifizieren*. Das Nutzungsverhalten kann durch eine direkte Anwenderinteraktion identifiziert werden. Hierfür eignen sich die in Abbildung 8-11 dargestellte Methoden. Die allgemeingültigen Methoden wurden bereits in Kapitel 2.5 vorgestellt. Nachfolgend werden die entwickelten oder auf Power-Tools angepassten Methoden vorgestellt.

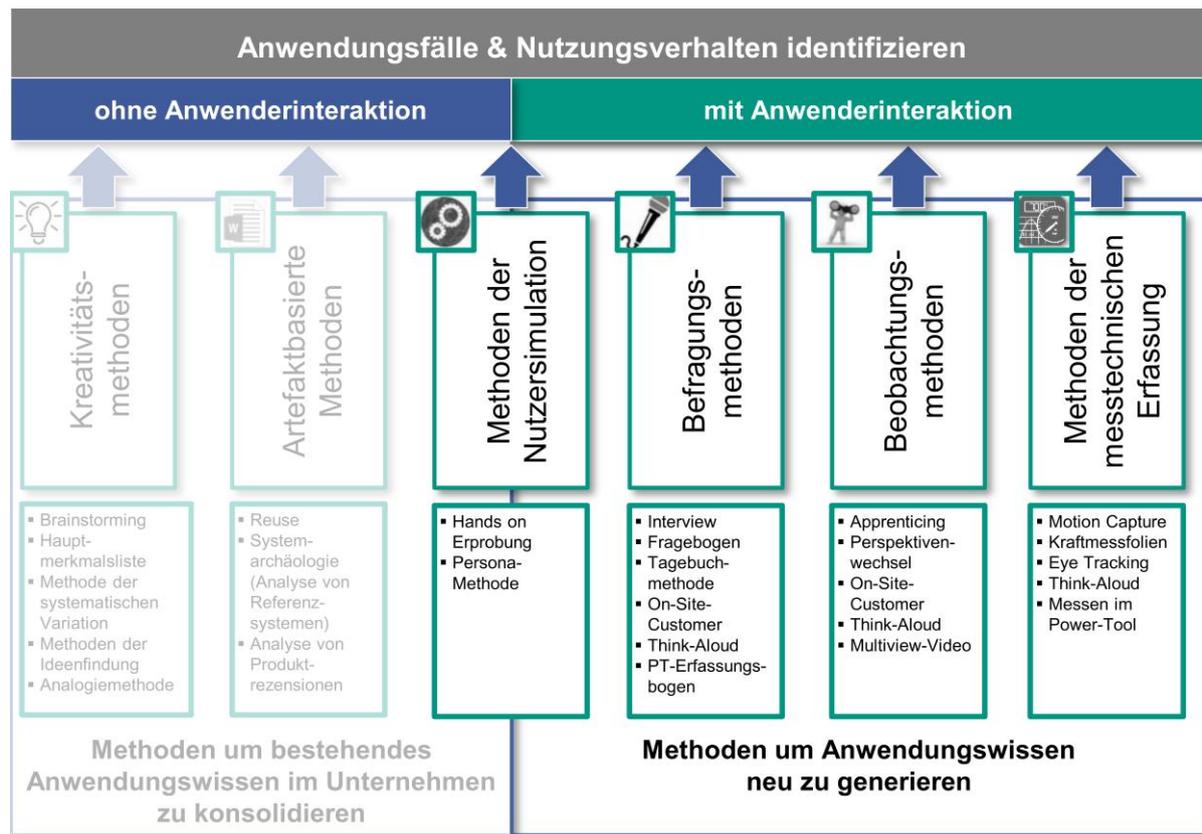


Abbildung 8-11: PT-Methodenübersicht zur Identifikation des Nutzungsverhaltens³¹⁶

8.3.1.1 Vorbereitung

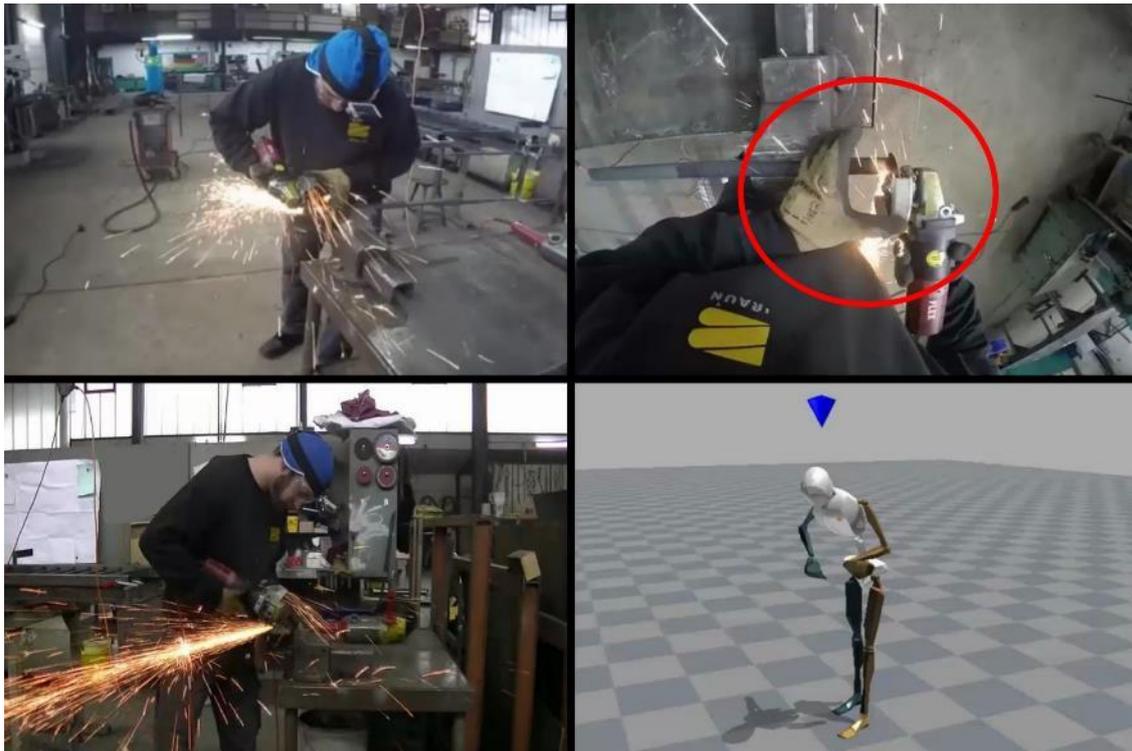
Um die Nutzungs-Analyse effizient und zielgerichtet durchzuführen, bietet es sich an, das vorhandene Anwendungswissen in einer Anwendungsfall-Analyse im Vorfeld zu konsolidieren und hinsichtlich Entwicklungsziel, Häufigkeit, Wissensstand und Kritikalität zu bewerten (vgl. Kapitel 2.2.3). Dadurch können besonders relevante Anwendungsfälle identifiziert werden, welche in der Nutzungsanalyse betrachtet werden sollten. Das Entwicklungs-/ Untersuchungsziel und der Betrachtungsraum besitzt starke Auswirkungen auf die Nutzungs-Analyse (vgl. Kapitel 6.1). Sie

³¹⁶ Bildquelle: vgl. Matthiesen, S. et al. 2016c in Anlehnung an Zehnter, C. et al. 2012, vollständige Darstellung siehe Anhang Kapitel 14.1, S.193

beeinflussen maßgeblich das Studiendesign – welche Anwendungen, Anwendergruppen, Power-Tools, Regionen/Länder, Jahreszeit, Vegetationen in der Nutzungs-Analyse betrachtet werden. Daher sollten Ziel und Betrachtungsraum geprüft und bei Bedarf geschärft werden.

8.3.1.2 Beobachtungsmethoden

Beobachtungsmethoden dienen dem direkten Aufnehmen und Begleiten von Anwendern bei ihrer alltäglichen Arbeit (vgl. Kapitel 2.5.4). Der Beobachter erfasst und hinterfragt die Arbeitsschritte sowie unklare Prozesse des Anwenders. Hierfür können die im Stand der Forschung beschriebenen Beobachtungsmethoden (Apprenticing-Methode, Think-Aloud und Perspektivenwechsel) genutzt werden. Als Methode des Perspektivenwechsels wird das Einnehmen unterschiedlicher Blickwinkel auf die Power-Tool-Benutzung verstanden. Häufige Blickwinkel sind dabei: Mikro/Makro Perspektive, interne/externe Sicht, Außensicht/Egoperspektive/3rdPerson-View (Blick über die Schulter), Vogel- oder Froschperspektive oder auch Zeitlupe oder Zeitraffer. Der Nachteil dieser Beobachtungsmethoden ist, dass sie den Anwender und/oder das Power-Tool nur aus einer Perspektive zeigen. Es wurde allerdings die Erfahrung gemacht, dass es sehr schwierig und teilweise nicht möglich ist, anhand einer Perspektive die Anwendung umfänglich zu verstehen. Um einen möglichst umfänglichen Einblick des Nutzungsverhaltens zu erlangen, wurde daher eine Methode entwickelt, welche mehrere Perspektiven kombiniert – die sogenannte Multiview-Methode. Abbildung 8-12 zeigt einen Ausschnitt aus einem Multiview-Video, welches vier Sichtweisen zeitlich synchronisiert darstellt: Ansicht von vorne (o.l.), Anwendersicht (o.r.), seitliche Ansicht (u.l.) und ein digitales Menschmodell (u.r.). Der Anwender trägt hierfür eine Kopfkamera und wird aus zwei externen Perspektiven gefilmt. Die vierte Ansicht ist ein biomechanisches Menschmodell, welches mit Motion Capturing erzeugt wurde. Hiermit kann die Bewegung des Anwenders trotz Schutzkleidung und Hindernisse wie die Werkbank oder Werkstück, erfasst werden. Die Synchronisationsmethode ist in Kapitel 8.3.1.4 beschrieben. Anstatt einer Kopfkamera ist auch eine Eye-Tracking-Brille denkbar. Hierauf wurde bei dieser Untersuchung allerdings verzichtet.

Abbildung 8-12: Multiview-Video aus vier Perspektiven³¹⁷

Die Multiview-Methode hat in diesem Fall dazu beigetragen, zu erkennen, dass der Anwender das Gerät mit der linken Hand am Gehäuse führt und gegenüber dem Werkstück abstützt. Hierdurch ist dem Anwender möglich bei Trennarbeiten einen rechtwinkligen und sehr präzisen Schnitt zu erzeugen. Mit dieser Erkenntnis können Anforderungen für die Weiterentwicklung der Griff- und Führungselemente eines Winkelschleifers abgeleitet werden.

8.3.1.3 Befragungsmethoden

Mit Befragungsmethoden Anforderungen an Power-Tools durch die explizite Befragung von Anwendern oder anderen Stakeholdern ermittelt werden (vgl. Kapitel 2.5.5). Ziel der Befragung ist es, das Wissen der Befragten nach außen zu tragen und den begrenzten Zeitraum einer Beobachtung zu verlängern. Hierfür wurde eine Methode entwickelt, welche die Beobachtung der realen Anwendung mit den Befragungsmethoden Fragebogen, teilstrukturiertes Interview, Onsite-Customer und

³¹⁷ entstanden in Zusammenarbeit mit Janik, M. 2017, S. 81 ff. (betreute Abschlussarbeit)

Selbsteinschätzung des Probanden kombiniert. Hierfür wurde der PT-Erfassungsbogen entwickelt, welcher bereits mehrfach erprobt und in Anwendungsstudien mit unterschiedlichen Power-Tools angewendet wurde. Die aktuelle Version des Erfassungsbogens ist auf Winkelschleifer angepasst (vgl. Anhang Kapitel 14.7, S.212)³¹⁸ und setzt sich aus drei Teilen zusammen (vgl. Abbildung 8-13): (1) Erfassung der Anwendermerkmale, (2) Erfassung der Anwendung und (3) Diskussion inklusive Selbsteinschätzung. Zwischen den drei Interview-Teilen soll der Anwender seiner Arbeitstätigkeit nachgehen.

Teil 1: Anwendermerkmale	Teil 2: Anwendung	Teil 3: Diskussion
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Persönliche Merkmale ▪ Persönliche Einflussfaktoren ▪ Körperliche Beeinträchtigungen ▪ Umgebungsfaktoren ▪ Geräteinformationen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beschreibung der Anwendung aus Anwendersicht ▪ Tätigkeitsprofil ▪ Geräteinformationen ▪ Verbesserungsideen am Power-Tool ▪ Lebensdauer ▪ Erfahrungen mit Geräten von anderen Herstellern 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wie zufrieden sind sie mit...? ▪ Was würden Sie sich wünschen ? ▪ Wie häufig arbeiten Sie in/mit...? ▪ Hat Sie die Messtechnik beeinträchtigt? ▪ War diese Tätigkeiten repräsentativ für ihre alltägliche Arbeit?

Abbildung 8-13: Aufbau des PT-Erfassungsbogen³¹⁹

Zu Beginn werden dem Anwender Fragen zu seiner Person und dem Power-Tool gestellt (Teil 1 des Erfassungsbogens). Dieser erste Teil dient dazu, den Anwender mit dem Studienaufbau vertraut zu machen. Auf seine Fragen einzugehen und Informationen über ihn zu sammeln, wie beispielsweise seine körperlichen Beeinträchtigungen. Im Anschluss an das Interview soll der Anwender seiner Arbeitstätigkeit nachgehen. Im Anschluss an die Arbeitsphase wird der Anwender bezüglich seiner Anwendung befragt. Danach kann sich eine zweite Anwendungsphase anschließen oder es findet direkt Teil 3 der Befragung statt. Schwerpunkt dabei ist es, Wünsche des Anwenders zu Komponenten, Werkzeugen oder Zubehör sowie eine Selbsteinschätzung zu erfragen. Mithilfe dieser dreiteiligen Aufteilung ist es möglich, den Anwender zunächst zu befragen, ihn in der Anwendung

³¹⁸ Der Fragebogen ist in enger Zusammenarbeit mit betreuten Abschlussarbeiten (Hölz, K. 2016, Kempf, D. 2016 und Janik, M. 2017) entstanden. Er wurde kontinuierlich weiterentwickelt und auf unterschiedliche Power-Tools angepasst.

³¹⁹ Entwickelte Vorlage: PT-Erfassungsbogen inkl. Selbsteinschätzung, vgl. Kapitel 14.7 S.211

zu beobachten und nachträglich mit ihm sehr konkret zu diskutieren. Der Interviewer kann bedarfsgerecht auf gewisse Themen tiefer eingehen und direkt am Gerät oder der Anwendung diskutieren und sich Spezialfälle zeigen lassen.

8.3.1.4 Methoden der messtechnischen Erfassung

Bei der Erfassung des Nutzungsverhaltens kann der Einsatz von Messtechnik unterstützen. Hierbei kann zwischen Messtechnik unterschieden werden, die sich (1) am Anwender befindet, wie Motion Capturing, Kraftmessfolien und Eye-Tracking, (2) Messtechnik, die sich im Gerät befindet, um Leistungsdaten des Power-Tools zu erfassen sowie (3) externer Messtechnik wie Foto und Videokameras (vgl. Kapitel 2.5.6). Im zweiten Fall spricht man von einem sogenannten Sensorgerät. Mögliche Messsysteme wurden bereits in Kapitel 2.5.6 vorgestellt. Wie aus dem Experten-Interview (vgl. Kapitel 5.1) hervorgeht, wird aktuell vorwiegend Messtechnik im Gerät eingesetzt. Messtechnik am Anwender wird hingegen selten genutzt. Was zum Teil am hohen Aufwand und der aufwendigen zeitlichen Synchronisierung der Messsignale liegt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Verfahren entwickelt, um unterschiedliche Messsysteme miteinander zu kombinieren und zu synchronisieren. Hierdurch konnte der Aufwand für die Durchführung einer Anwendungsstudie nicht minimiert, jedoch der Mehrwert durch zeitlich synchronisierte Messdaten gesteigert werden. In diesem Abschnitt wird die zeitliche Synchronisierung am Beispiel Reifen wechseln mit einem Impulsschrauber vorgestellt.

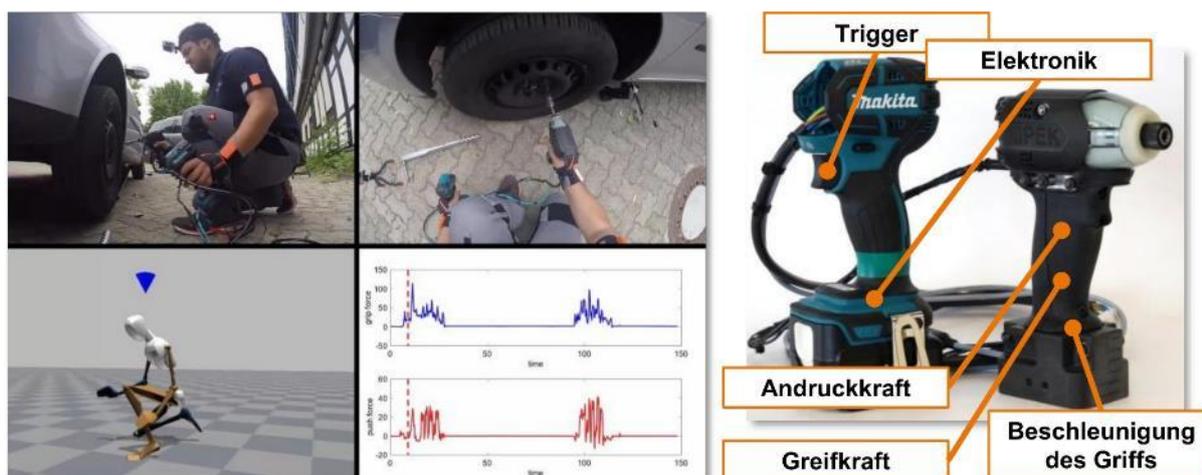


Abbildung 8-14: Messtechnik für das Messen in der Anwendung³²⁰

³²⁰ Bildquelle: Matthiesen, S. et al. 2017, S.5

Abbildung 8-14 zeigt die Messtechnik bestehend aus Sensorgerät (Impulsschrauber), Motion Capturing System und zwei Kameras. Das Sensorgerät ist ein Impulsschrauber, welcher mit Kraftmesssensoren und Beschleunigungssensoren im Griff ausgestattet ist, um die Greif- und Anpresskraft zu erfassen.³²¹ Mit der eingesetzten Messtechnik wurden die Bewegungen, Greif- und Anpresskräfte beim Wechseln der Reifen erfasst. Zudem wurde der Proband aus drei unterschiedlichen Blickwinkeln erfasst. Die Synchronisation der Messsysteme ist identisch mit der Synchronisation in der Fallstudie Freischneider (vgl. Kapitel 7), bei welcher zusätzlich noch ein Datenlogger zur Drehzahlerfassung, Puls, GPS und Kraftmessfolien eingesetzt wurde. Für die Synchronisation ist das Motion Capture-Signal das Mastersignal, welches das Sensorgerät beziehungsweise die Kraftmessfolien über einen gemeinsamen Triggermechanismus startet. Die Signale Puls, GPS und Drehzahl wurden nicht getriggert, sondern im Nachgang offline über einen Timecode (Zeitstempel) synchronisiert. Nachdem die Messung gestartet wurde, kann die kabelgebundene Verbindung entfernt werden und der Proband sich frei bewegen. Das Synchronisieren des Motion Capturing mit den Video-Kameras stellte die größte Herausforderung dar. Dies konnte gelöst werden, indem zu Beginn jeder Messung der Proband in die Hände klatscht, was als optisches Triggersignal fungiert. Hierfür muss das Klatschen von allen Kameras erfasst werden (vgl. Abbildung 8-15). Das Klatschen wird im Anschluss als Start für die Bewegungsdaten und die Videos gesetzt. Mit einer Videoschnittsoftware kann ein Multiview-Video erzeugt werden (vgl. Kapitel 8.3.1.2). Das Synchronisationsschema ist in Abbildung 8-16 verdeutlicht. Mit Hilfe eines entwickelten Algorithmuses zur Datenaufbereitung (vgl. Angang 0, S.225) und des hier beschriebenen Synchronisationsschemas ist es möglich, einen synchronen Datensatz und zudem ein Multiview-Video der Messung teilautomatisiert zu generieren.

³²¹ vgl. Matthiesen, S. et al. 2017



Abbildung 8-15: Synchronisation durch Klatschen des Anwenders

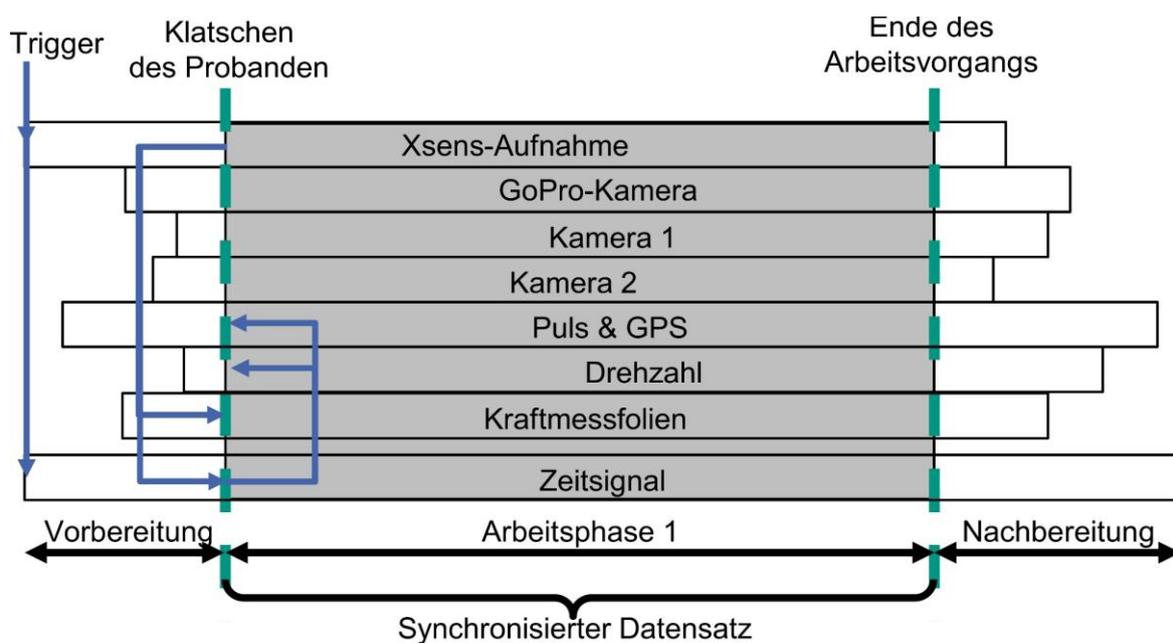


Abbildung 8-16: Schema zur Synchronisation der Messsignale

8.3.2 Aktivität Nutzungsverhalten dokumentieren

Die zweite Aktivität der Phase Nutzungsverhalten-Analyse ist das *Nutzungsverhalten dokumentieren*. Wie im Experten-Interview aufgezeigt existieren in vielen Unternehmen bislang keine standardisierten Vorlagen (vgl. Kapitel 5). Um eine standardisierte Dokumentation des Nutzungsverhaltens zu ermöglichen, wurde daher eine einfach verständliche und einfach editierbare Vorlage entwickelt, welche der Konstrukteur selbständig ausfüllen kann (vgl. Abbildung 8-17 und Abbildung 8-18) –

das PT-Dokumentations-Template. Wie von den Entwicklern gewünscht, wurde die Vorlage in PowerPoint umgesetzt. Sie sieht Platzhalter für die wichtigsten Informationen, Fotos und gegebenenfalls Videos sowie individuell anpassbare Bereiche vor. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Vorlage alle Informationen beinhaltet, welche auch für die Beschreibung von Anwendungsfällen durch das PT-Template verwendet wird (vgl. Abbildung 8-31 bis Abbildung 8-33). Die Hauptbestandteile der Vorlage sind: Arbeitsumfeld, Proband und das verwendete Power-Tool, Beschreibung des Werkzeugs, Werkstücks, Anwendung, Arbeitsweise, Auffälligkeiten, Besonderheiten und ergänzende Metadaten (zum Beispiel Alter, Größe, Berufserfahrung, Werkstück) sowie optional eine Auswertung der Gelenkwinkel. Die Vorlage ermöglicht, den Dokumentationsaufwand zu senken und schnell einen schnellen Einblick in das Nutzungsverhalten und die Randbedingungen des Anwenders zu erlangen.

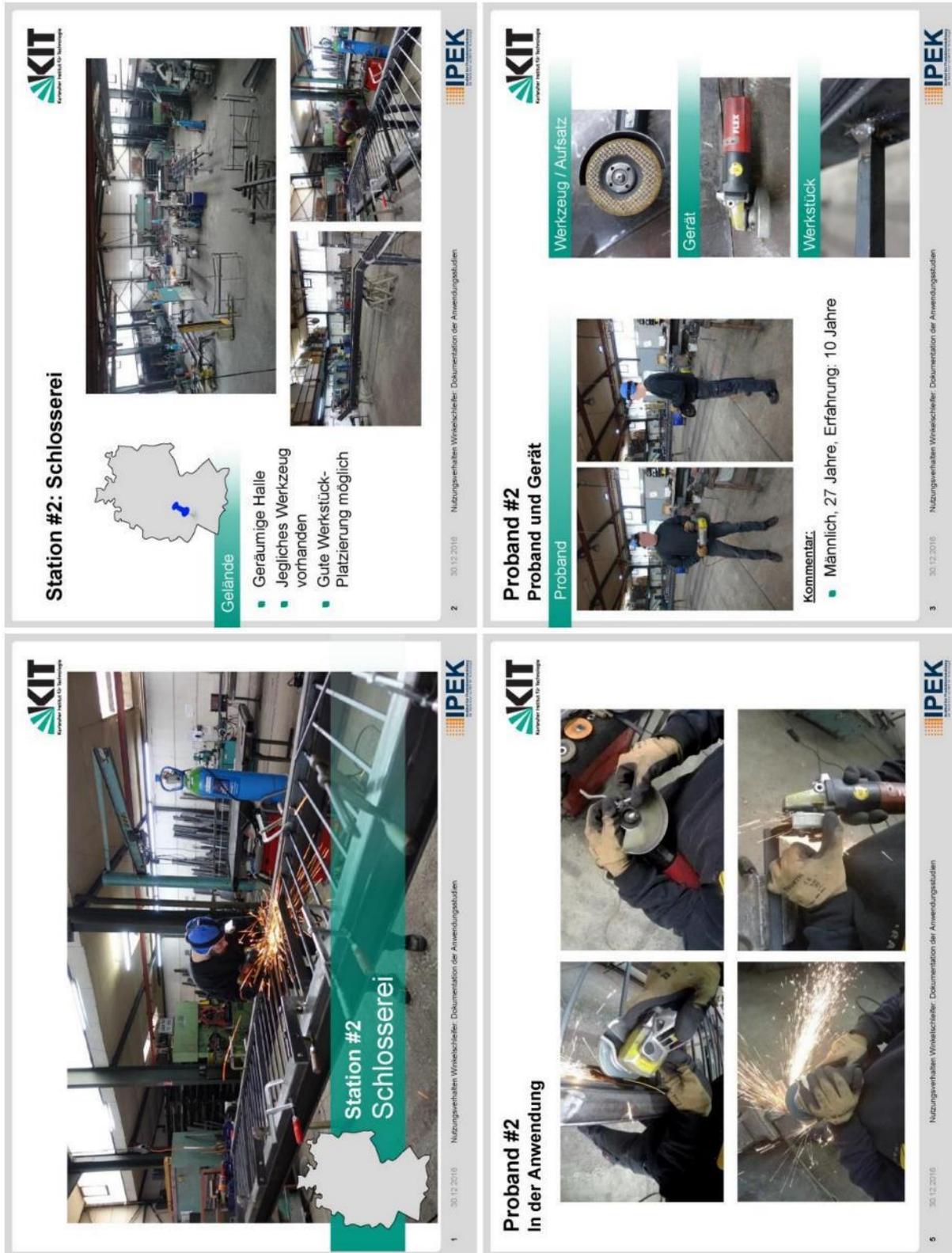


Abbildung 8-17: PT-Dokumentations-Template Teil 1/2 am Beispiel Winkelschleifer-Anwender in Schlosserei ³²²

³²² in Zusammenarbeit mit Janik, M. 2017, S. 81 ff. (betreute Abschlussarbeit)



Abbildung 8-18: PT-Dokumentations-Template Teil 2/2 am Beispiel Winkelschleifer-Anwender in Schlosserei³²³

³²³ in Zusammenarbeit mit Janik, M. 2017, S. 81 ff. (betreute Abschlussarbeit)

8.3.3 Aktivität Nutzungsverhalten analysieren

Die dritte Aktivität der Phase Nutzungsverhalten-Analyse ist es, das erfasste und dokumentierte *Nutzungsverhalten zu analysieren*. In diesem Kapitel werden zwei im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Analysewerkzeuge vorgestellt: Die Komfort-Häufigkeits-Darstellung (KHD) und die Analyse-GUI. Die Komfort-Häufigkeits-Darstellung (KHD) verknüpft Gelenkwinkel mit Gelenkkomfortbereichen und deren Häufigkeiten. Die Analyse-GUI ermöglicht eine gekoppelte Auswertung von Video und Messdaten. Beide Werkzeuge unterstützen den Power-Tool-Entwickler bei der Analyse des Anwenderverhaltens insbesondere hinsichtlich Ergonomie und Bewegungsverhalten.

8.3.3.1 Weiterentwickelte Darstellung für Gelenk-Komfortbereiche

Das Anwenderverhalten kann mithilfe von Motion Capture-Systemen erfasst werden. Mit Analysemethoden lassen sich die Bewegungen, Gelenkwinkel, Arbeitshaltung und Bewegungsbahnen unterschiedlicher Anwender auswerten. Wie in Kapitel 2.3.2 aufgezeigt, besitzt jede Person Gelenkbereiche, die sie als angenehm oder unangenehm empfindet. Die Gelenkkomfortbereiche können - unter Berücksichtigung des physiologischen Bewegungsumfangs – in ein Ampelschema mit drei Bereichen kategorisiert werden. Abbildung 8-19 zeigt Messdaten beim Arbeiten mit einem Power-Tool. Es ist die Abduktion des rechten Schultergelenks (Bewegungsrichtung rechter Arm seitlich anheben) dargestellt. Der Darstellung in der Mitte ist zu entnehmen, dass Gelenkwinkel von 0° bis ca. 20° akzeptabel, von 20° bis ca. 60° als bedingt akzeptabel und außerhalb als nicht akzeptabel gelten.

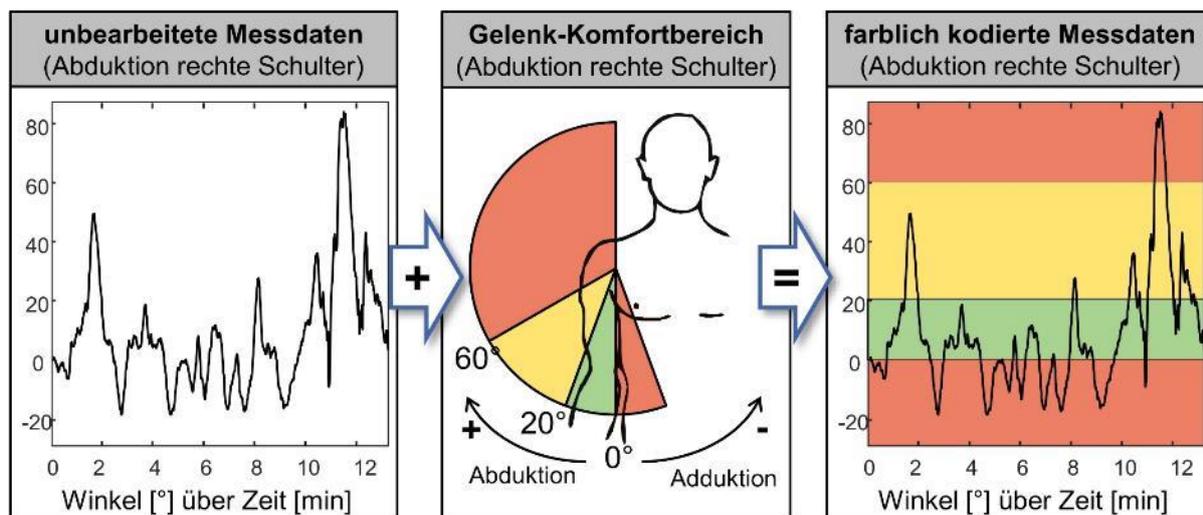


Abbildung 8-19: Gelenkkomfortbereich (links), farblich kodierte Messdaten (rechts)

Die Einteilung in Komfortbereiche und die farbliche Kodierung kann auf die Messdaten übertragen werden. Dies erleichtert die Interpretation der Messdaten für Entwickler.

Eine aufwendigere Methode zur Bewegungsanalyse ist die Exposure Variation Analysis (kurz EVA)³²⁴. Die EVA verknüpft die Häufigkeiten von einem eingenommenen Winkelbereiche (exposure level) mit der Geschwindigkeit der durchgeführten Bewegungen (time level) in einem dreidimensionalen Säulendiagramm (vgl. Abbildung 8-20). Auf der Y-Achse werden die eingenommenen Winkelbereiche, auf der X-Achse die Zeitbereiche dargestellt. Die Höhe der Säulen entspricht der Häufigkeit, mit der ein Winkelbereich eingenommen wurde. In der vorderen Reihe sind schnelle Bewegungen, in der hinteren Reihe langsame Bewegungen dargestellt. Abbildung 8-20 zeigt die Abduktion der rechten Schulter beim Arbeiten mit einem Power-Tool. Der Abbildung ist zu entnehmen, dass der Gelenkwinkel überwiegend im grünen Bereich liegt. Allerdings führt der Proband den Arm auch in den roten Bereich vor den Körper (0° bis 20°), was in einer langsamen Bewegung geschieht. Zudem hebt der Anwender den Arm in schnellen Bewegungen an und gelangt damit in den roten Bereich über -60° .

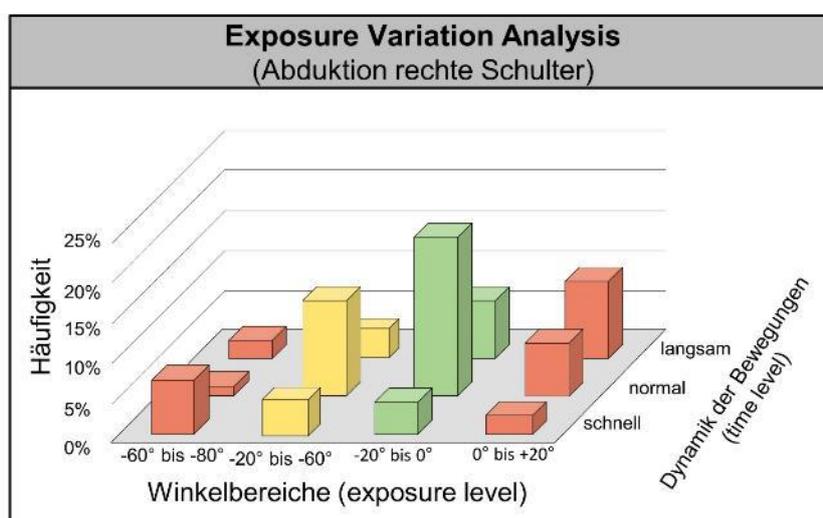


Abbildung 8-20: Exposure Variation Analysis

Die EVA ist eine komplexe und umfangreiche Methode zur Bewegungsanalyse, welche sehr viele Informationen enthält. Für ungeschulte Entwickler ist die Darstellung schwierig zu interpretieren und der Übertrag auf die Bewegung bzw. das Gelenk ist aufgrund einer fehlenden Gelenkdarstellung schwierig³²⁵. Im Rahmen dieser Arbeit

³²⁴ vgl. Mathiassen, S. E. & Winkel, J. 1991

³²⁵ Experten-Interview: Teilnehmer 4

wurde daher eine einfach verständliche Darstellung entwickelt, welche die farbliche Kodierung der Gelenkkomfortbereiche, mit der Häufigkeitsverteilung und der Gelenkdarstellung kombiniert. Abbildung 8-21 zeigt die Komfort-Häufigkeits-Darstellung (KHD). Die farblich gekennzeichneten Winkelbereiche wurden in Kreissegmente weiterentwickelt, welche im Durchmesser variieren und damit die Häufigkeit des Gelenkwinkelbereichs darstellen. Bei der durchgeführten Bewegung wurde der nicht akzeptable Winkelbereich 1 (kleiner 0°) 23% der Zeit, der akzeptable Winkelbereich 2 (0° bis 20°) 39% der Zeit, der bedingt akzeptable Winkelbereich 3 (20° bis 60°) 24% der Zeit, und der nicht akzeptable Winkelbereich 4 (größer 60°) 14% der Zeit eingenommen.

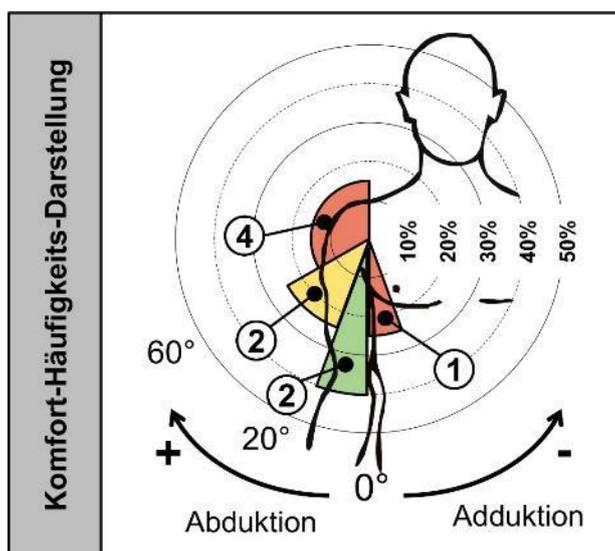


Abbildung 8-21: Komfort-Häufigkeits-Darstellung³²⁶

Die KHD ermöglicht auch ergonomisch ungeschulten Entwicklern einfache Bewegungsanalysen durchzuführen. Durch die Kombination der Gelenkkomfortbereiche, mit der Gelenkdarstellung und der Häufigkeitsverteilung wurde die bisherige Darstellung modifiziert und somit die Aussagefähigkeit bei ähnlicher Komplexität stark erhöht. Damit unterstützt sie Entwickler bei der Analyse des Nutzungsverhaltens, indem sie aus Anwendungsstudien, quantifizierbare Messgrößen ableitet, welche als Entwicklungszielgrößen genutzt werden können. Abbildung 9-9 (Anhang) zeigt eine entwickelte Poster-Vorlage für die Gelenk-Häufigkeits-Darstellung aller Segmente des

³²⁶ In Anlehnung an Matthiesen S. et al. 2016c, S.230

oberen Rumpfes³²⁷. Mithilfe eines teilautomatisierten Prozesses ist es möglich, die erfassten Messdaten entsprechend der Gelenk-Häufigkeits-Darstellung aufzubereiten.

8.3.3.2 Softwaretool zur Analyse des Nutzungsverhaltens (Analyse-GUI)

Wie aus den vorangegangenen Kapitel hervorgeht, so sind Fotos und Videos für die Analyse des Nutzungsverhaltens ein wichtiger Bestandteil – ohne den visuellen Abgleich fehlt dem Entwickler häufig der Bezug zur Anwendung. Aktuell gibt es kein geeignetes Softwaretool, welches die Kopplung von Videos und Messdaten wie beispielsweise Gelenkwinkel ermöglicht. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein MATLAB® Softwaretool mit grafischer Bedienoberfläche (GUI) entwickelt, die sogenannte Analyse-GUI.³²⁸ Das Tool ermöglicht die Auswertung von zeitsynchronen Messdaten in Kombination mit einer Videoanalyse.

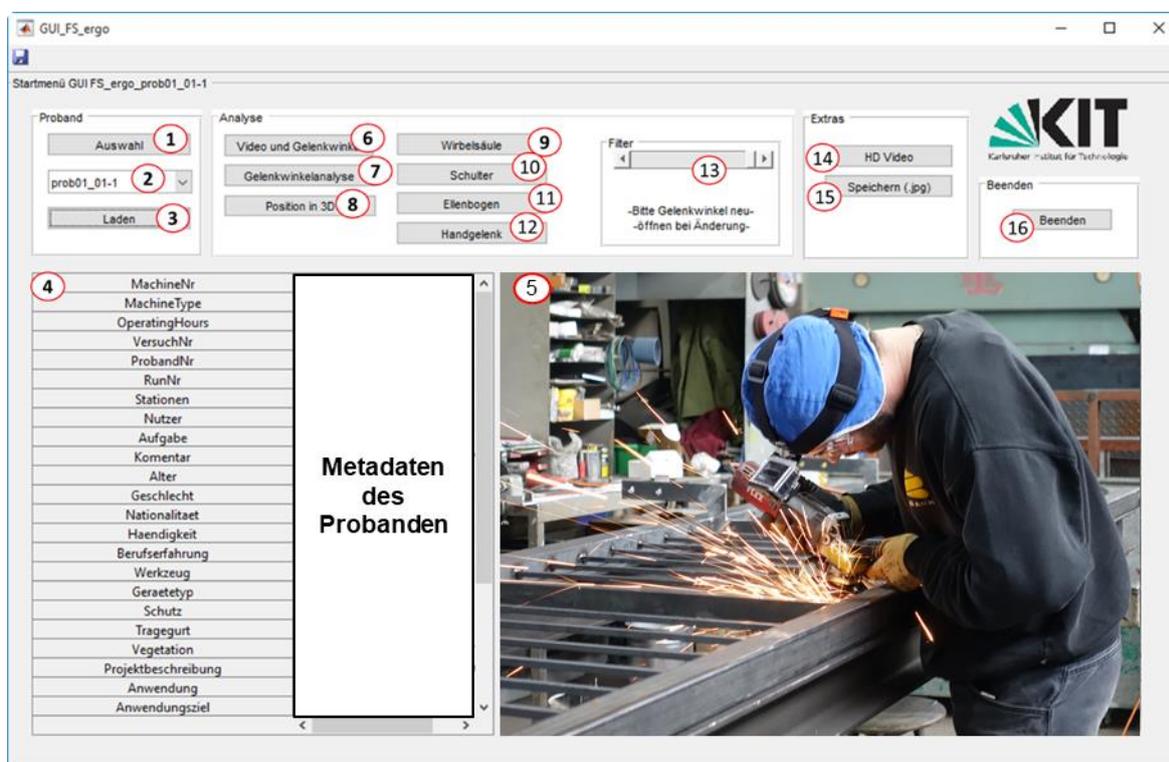


Abbildung 8-22: Startmenü der Analyse-GUI

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1. Auswahl | 9. GUI zur Gelenkwinkelanalyse: Wirbelsäule |
| 2. Dropdown | 10. GUI zur Gelenkwinkelanalyse: Schulter |
| 3. Ladenbutton | 11. GUI zur Gelenkwinkelanalyse: Ellenbogen |
| 4. Tabelle mit Metadaten | 12. GUI zur Gelenkwinkelanalyse: Handgelenk |
| 5. Bild des Probanden | 13. Filter zum Einstellen der Filterfrequenz, Standard 60 Hz |
| 6. GUI zur Video und Gelenkanalyse | 14. HD Video separat anzeigen |
| 7. GUI zur Gelenkwinkelanalyse | 15. Export aller GUIs als jpg |
| 8. GUI zur Positionsanalyse | 16. Beenden-Button |

³²⁷ Komfortbereiche für die unteren Extremitäten sind im Stand der Forschung aktuell nicht vorhanden.

³²⁸ in Zusammenarbeit mit Brunke, T. 2016 (betreute Abschlussarbeit)

Die Analyse-GUI kombiniert hierfür folgende Datensätze (vgl. Abbildung 8-22 bis Abbildung 8-28): (1) Metadaten und Fotos des Probanden, (2) Video der Anwendung aus unterschiedlichen Perspektiven (Multiview-Video), (3) Gelenkwinkel und Körperpositionen aus Motion Capture sowie (4) Puls, (5) GPS-Position, (6) Beschleunigungs- oder Drehzahldaten. Durch die grafische Oberfläche ist die Bedienung und Auswertung der Messdaten auch für Entwickler mit geringen MATLAB®-Kenntnissen möglich. Im Folgenden werden die wesentlichen Funktionen der Analyse-GUI vorgestellt.

Abbildung 8-22 zeigt das Startmenü der Analyse-GUI. Diese Seite dient dazu, den Probanden auszuwählen (1-3), zeigt Informationen zum ausgewählten Probanden (4) sowie ein Foto (5) und dient der Navigation zu den unterschiedlichen Analyseseiten (6-12). Die Seiten zur Auswertung der Gelenkwinkel (Wirbelsäule, Schulter, Ellenbogen, Handgelenk) sind in Abbildung 8-23 bis Abbildung 8-26 dargestellt. Die Seiten sind ähnlich aufgebaut. Auf der linken Seite ist der zeitliche Gelenkwinkelverlauf der linken Extremitäten dargestellt, in der Mitte die grafische Darstellung der Gelenkwinkel und auf der rechten Seite der Gelenkwinkelverlauf der rechten Extremitäten. Auf der X-Achse ist die Zeit in Sekunden und auf der Y-Achse der Winkel des jeweiligen Gelenks in Grad aufgetragen.

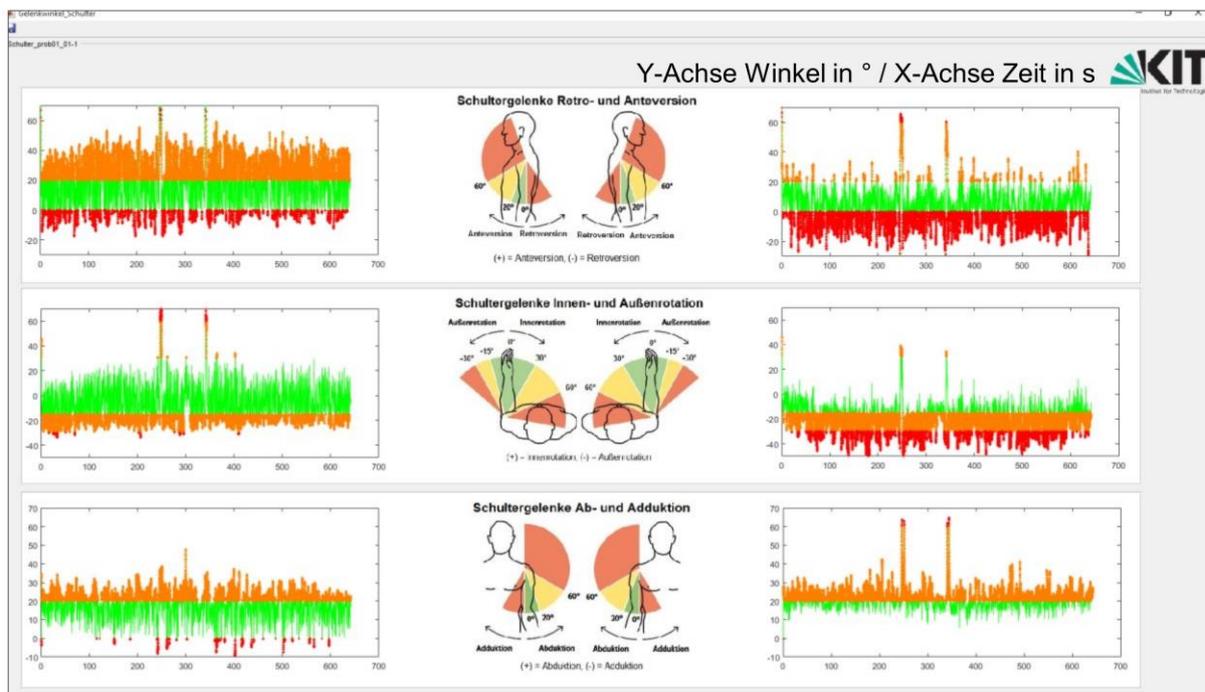


Abbildung 8-23: Gelenkwinkel Schulter (Retro- und Anteversion; Innen- und Außenrotation; Ab- und Adduktion)

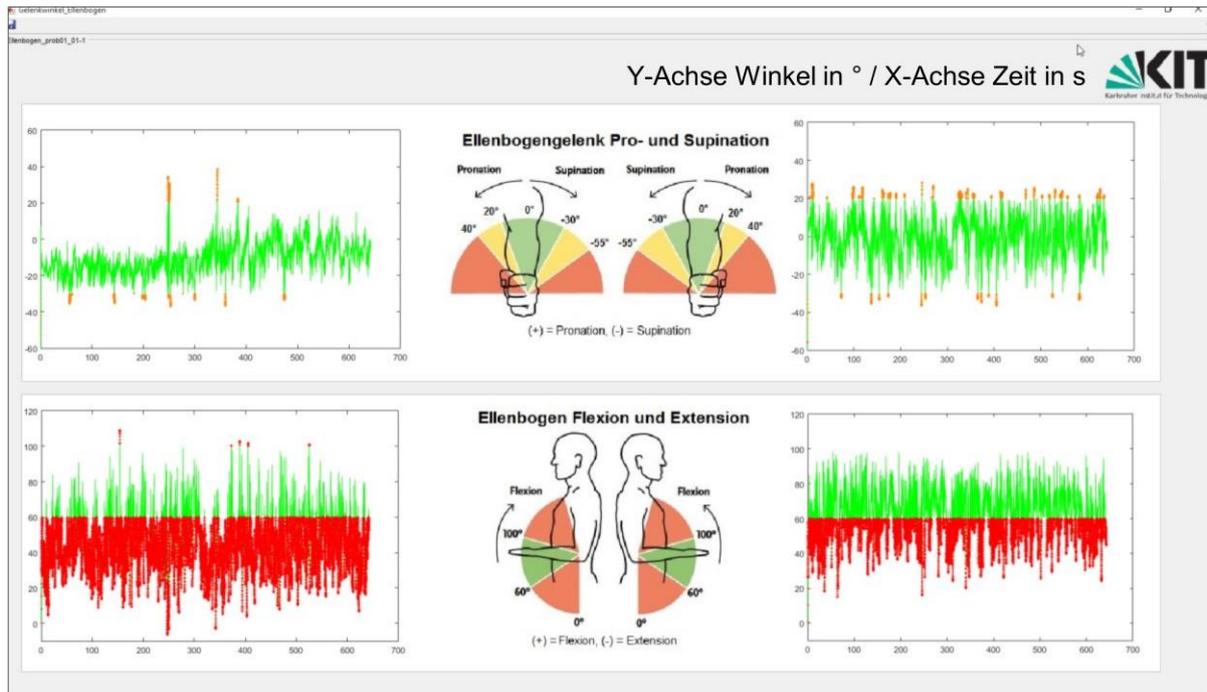


Abbildung 8-24: Gelenkwinkel Ellenbogen (Pro- und Supination; Extension und Flexion)

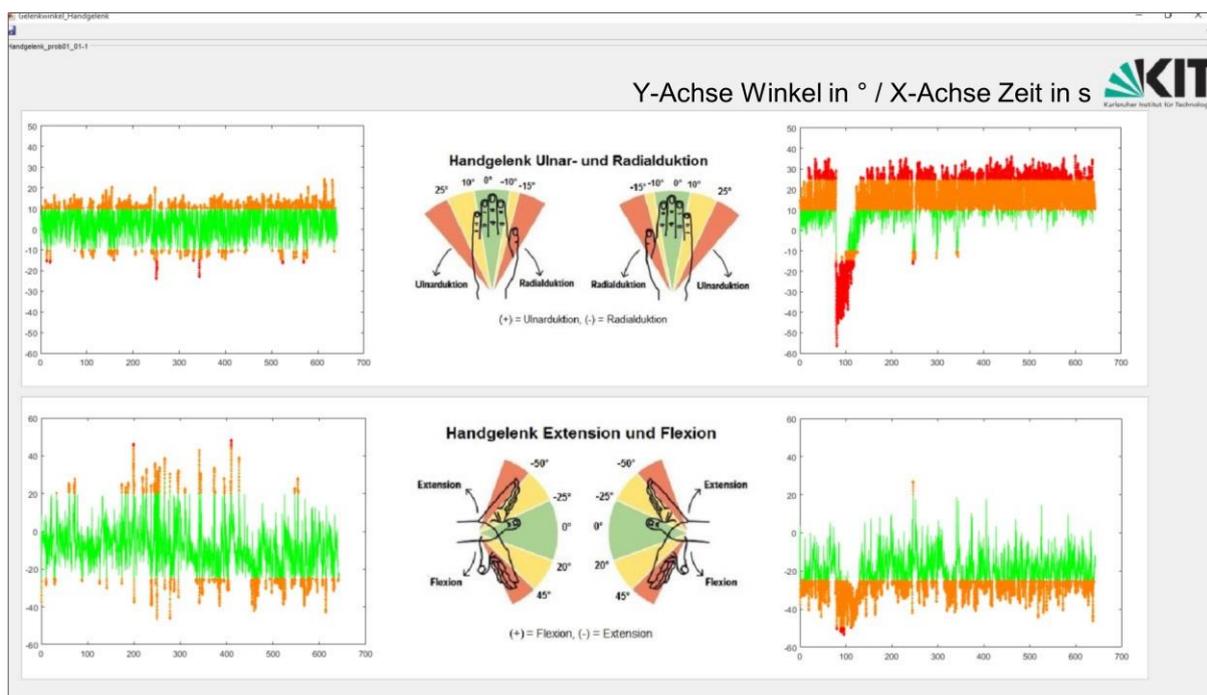


Abbildung 8-25: Gelenkwinkel Handgelenk (Ulnar- und Radialduktion; Extension und Flexion)

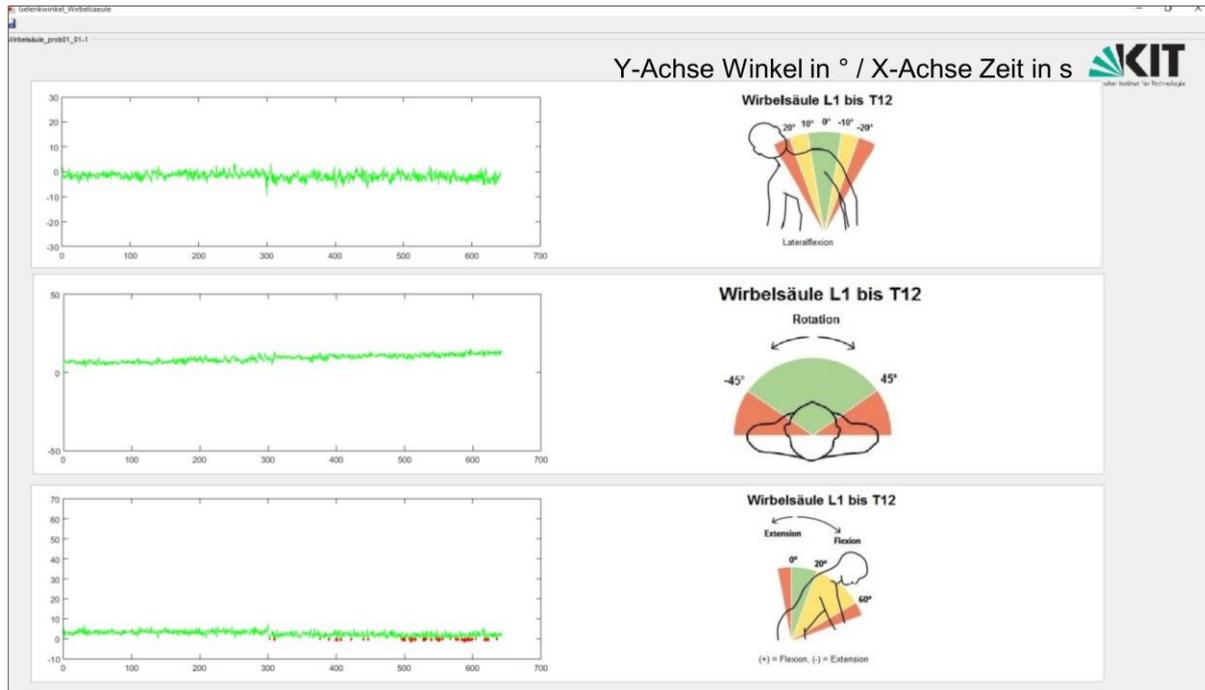


Abbildung 8-26: Gelenkwinkel Wirbelsäule (Lateralflexion; Rotation; Extension und Flexion)

Neben der Aufbereitung der Gelenkkomfortbereiche ist die gekoppelte Analyse der Messdaten mit zeitlich synchronisierten Videos, ein Kern des Tools. Dies wird durch die Seite „Video und Gelenkwinkel“ ermöglicht, welche in Abbildung 8-27 dargestellt ist. Auf der linken Seite ist das Multiview-Video zu sehen. Es kann zur detaillierten Analyse auch auf Vollbild vergrößert werden. Auf der rechten Seite können verschiedene Messdaten ausgewählt und dargestellt werden. Der rote Balken in den Messdaten ist mit dem Video gekoppelt und gibt dessen aktuellen Zeitpunkt an. Damit ist es für den Entwickler sehr einfach möglich, die Messwerte zusammen mit der Videosequenz zu analysieren. Mithilfe der zeitgleichen Analyse der Messdaten und des Videos lässt sich die Auswertung deutlich vereinfachen. Neben den Gelenkwinkel können auch die Position und die Bewegungsbahnen wichtige Informationen über das Nutzungsverhalten liefern.

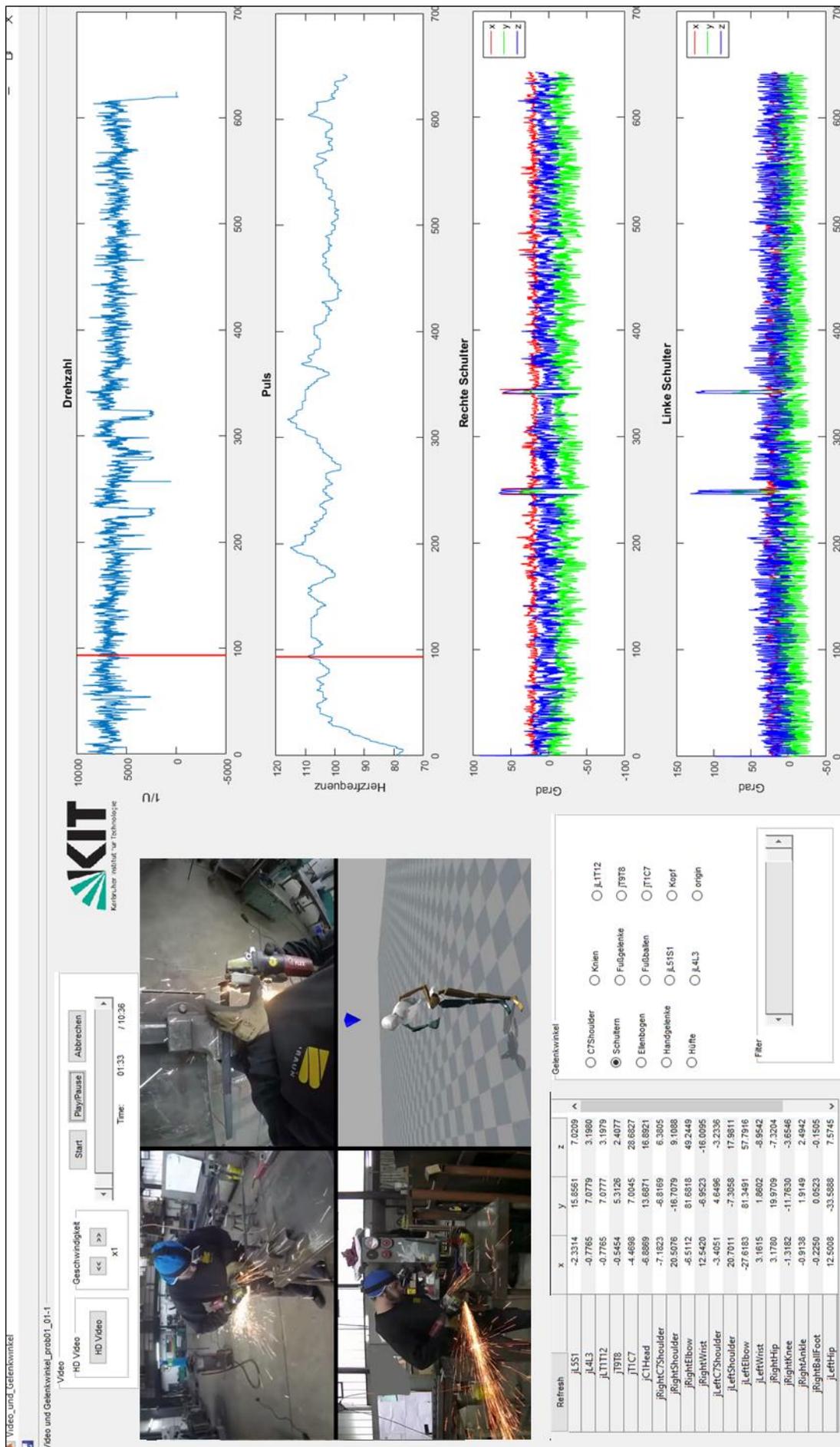


Abbildung 8-27: GUI „Video und Gelenkwinkel“ zur gekoppelten Analyse von Multiview-Video und Gelenkwinkel

Weiter kann der Entwickler mittels einer dreidimensionalen Positionsanalyse (vgl. Abbildung 8-28) die Bewegungsbahnen aller Körpersegmente untersuchen. Beispielhaft sind in Abbildung 8-28 die Bewegungsbahnen der rechten und linken Hand visualisiert. Es ist eine Anwendung dargestellt, welche größtenteils ebene Arbeiten erfordert, allerdings finden auch einzelne Bewegungen von oben nach unten statt. Zudem ist zu erkennen, dass die linke Hand größere Bewegungen als die rechte Hand durchführt.

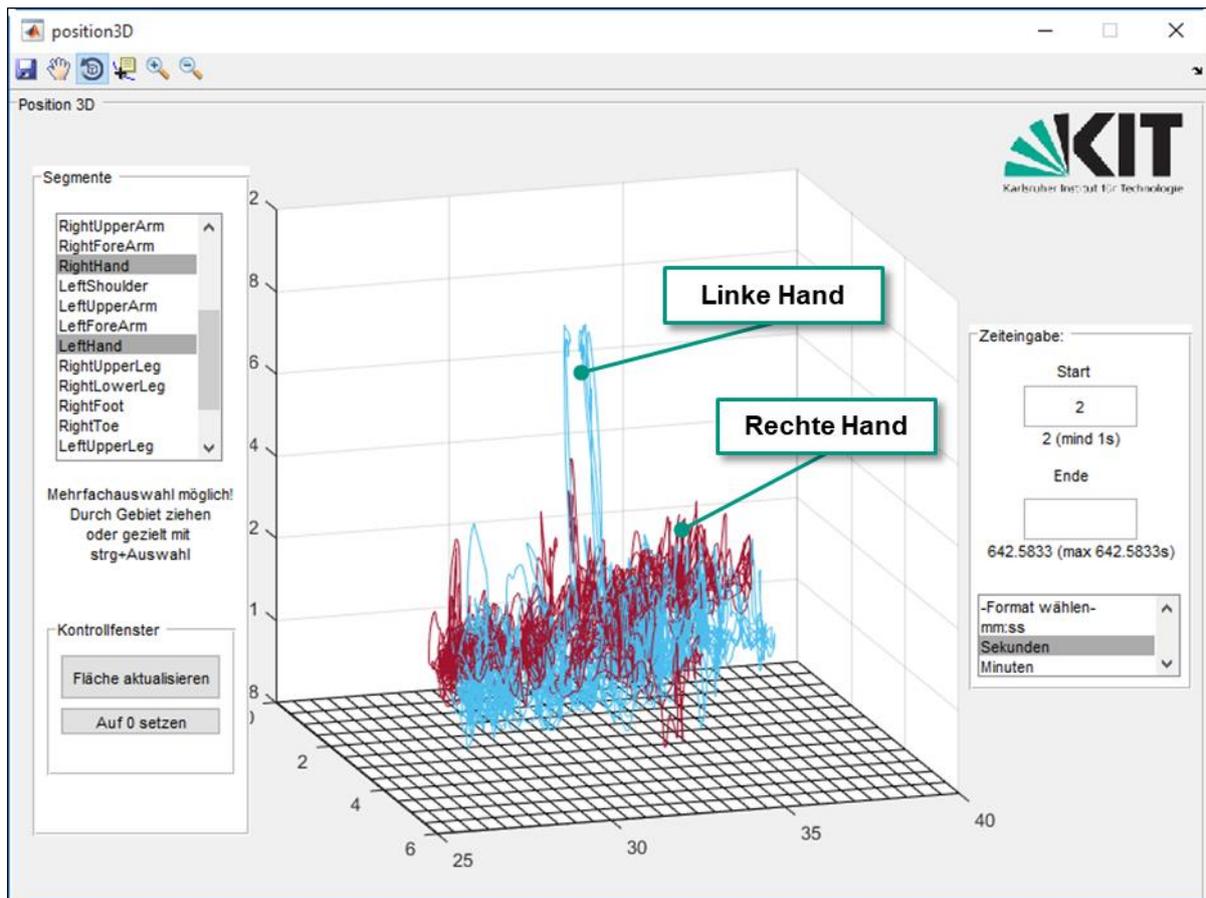


Abbildung 8-28: dreidimensionale Positionsanalyse

8.3.4 Fazit

In diesem Kapitel wurde die Nutzungs-Analyse vorgestellt. Sie stellt die zweite Phase der erweiterten Anwendungsfallmodellierung dar. Dieses Kapitel zeigt Ergebnisse zur Identifikation, Dokumentation und Analyse des Nutzungsverhaltens auf. Gegenüber der initialen Methodik (vgl. Kapitel 6) wurde die Nutzungs-Analyse durch die Aktivitäten (1) Nutzungsverhalten identifizieren, (2) Nutzungsverhalten dokumentieren und (3) Nutzungsverhalten analysieren, erweitert. Zur Unterstützung diese Aktivitäten, wurden folgenden Methoden und Vorlagen entwickelt oder auf Power-Tools angepasst:

- PT- Methodenübersicht
- Multi-View-Methode
- PT-Erfassungsbogen inklusive Selbsteinschätzung
- PT-Dokumentations-Template
- Komfort-Häufigkeits-Darstellung.
- Analyse-GUI

Mit den in diesem Kapitel vorgestellten Ergebnissen kann Forschungsfrage 3.1 wie folgt beantwortet werden:

Antwort auf Forschungsfrage 3.1 „*Welche Methoden gibt es, um das Nutzungsverhalten zu identifizieren, zu dokumentieren und zu analysieren?*“:

- Zur Identifikation des Nutzungsverhaltens stellt die PT- Methodenübersicht geeignete Methoden der Nutzersimulation, Befragungsmethoden, Beobachtungsmethoden und Methoden der messtechnischen Erfassung (beispielsweise die Multi-View-Methode und der PT-Erfassungsbogen inklusive Selbsteinschätzung) bereit.
- Die Dokumentation des Nutzungsverhaltens ist mit dem PT-Erfassungsbogen inkl. Selbsteinschätzung und dem PT-Dokumentations-Template standardisiert und effizient möglich.
- Zur Analyse des Nutzungsverhaltens eignet sich die Analyse-GUI, die Multi-View-Methode und die Komfort-Häufigkeits-Darstellung. Die Komfort-Häufigkeits-Darstellung verknüpft Gelenkwinkel mit Gelenkfortbereichen und deren Häufigkeiten. Die Analyse-GUI ermöglicht eine gekoppelte Auswertung von Video und Messdaten.

8.4 Modellierung von Anwendungsfällen

Das Modellieren der Anwendungsfälle stellt eine sich wiederholende Phase der erweiterten Anwendungsfallmodellierung dar. Die Modellierung sollte iterativ nach den Phasen Anwendungsfall-Analyse und der Nutzungs-Analyse durchgeführt werden, um ein möglichst aktuelles und vollständiges Modell zu erzeugen. In der Fallstudie wurde die Modellierung als zu abstrakt und schwer verständlich angesehen. Zudem wurde der hohe Aufwand bemängelt und der Mehrwert für die Produktentwicklung nicht gesehen (vgl. Kapitel 8.1). Aus diesen Gründen wird der Fokus dieser Arbeit daraufgelegt, den Aufwand zu reduzieren und eine klare Struktur für die Modellierung vorzugeben. Abbildung 8-29 zeigt die Phase Anwendungsfallmodellierung mit den Aktivitäten und den bereitgestellten Methoden.

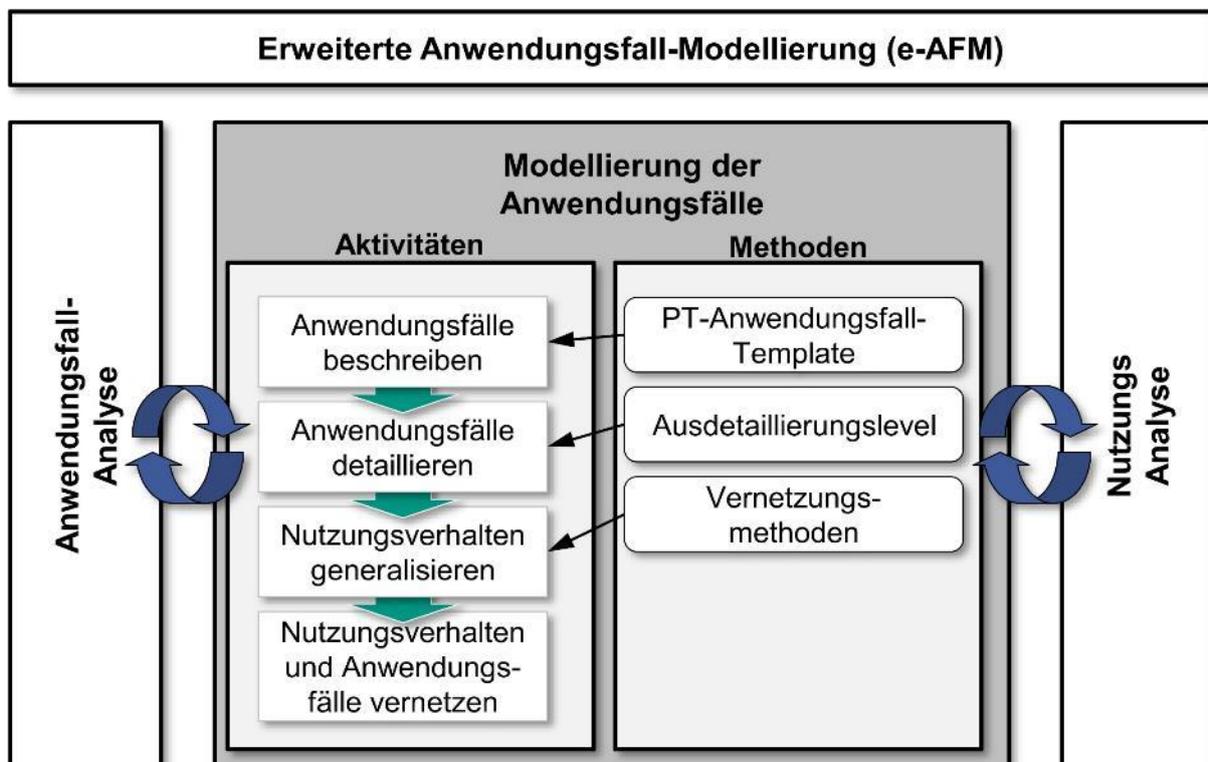


Abbildung 8-29: Phase Anwendungsfallmodellierung mit Aktivitäten und Methoden

Die Phase wurde durch die Aktivitäten (1) Anwendungsfälle beschreiben, (2) Anwendungsfälle detaillieren, (3) das Nutzungsverhalten zu abstrahieren und (4) Nutzungsverhalten und Anwendungsfälle vernetzen erweitert. Zudem wurden folgenden Methoden und Vorlagen entwickelt oder auf Power-Tools angepasst: PT-Anwendungsfall-Template, Ausdetaillierungslevel und Vernetzungsmethoden. Diese Aktivitäten und Methoden werden in den folgenden Unterkapiteln detailliert beschrieben.

8.4.1 Aktivität Anwendungsfälle beschreiben

Anwendungsfälle beschreiben ist die erste Aktivität der Anwendungsfallmodellierung. Zur Beschreibung von Anwendungsfällen haben sich textuelle Beschreibungen bereits etabliert (vgl. Kapitel 2.4.2). Einen definierten Standard gibt es allerdings noch nicht. Um den Aufwand zu senken und eine Struktur vorzugeben wird in diesem Kapitel, eine auf Power-Tools angepasste, textuelle Beschreibungsform für Anwendungsfälle entwickelt. Eine erste Version des Power-Tool-Anwendungsfall-Templates wurde bei der Weiterentwicklung von Blasgeräten eingesetzt³²⁹. Abbildung 8-30 zeigt die vorläufige Version des Templates.

	Anwendungsfallbeschreibung „Titel“	
	Kurzbeschreibung	Beschreibung der Arbeitsweise
	Beschreibung des Anwenders	Beschreibung Umwelt & Untergrund
Beschreibung der Anwendung	Bild	
		
		

Abbildung 8-30: Anwendungsfalltemplate für Blasgeräte³²⁹

³²⁹ in Anlehnung an Göring, M. 2014 (betreute Abschlussarbeit), Bildquellen: <http://www.stihl.de>

Bei der Anwendung des Templates wurde ersichtlich, dass das vorläufige Version weiterentwickelt werden sollte. Sie sollte modular aufgebaut und generisch für unterschiedliche Power-Tools anwendbar sein.³³⁰ Abbildung 8-31 bis Abbildung 8-33 zeigen die weiterentwickelten auf Power-Tools angepassten finalen Schablonen zur Beschreibung von Anwendungsfällen. Das dargestellte PT-Anwendungsfall-Templates kombiniert Modelle aus der Literatur³³¹ und ergänzt sie um Power-Tool spezifische Elemente. Die spezifischen Elemente sind hervorgehoben.

Use-Case ID	(Nr.)
Titel	Prägnante Bezeichnung des Use-Case. Der Name muss mit dem Namen im Use-Case Diagramm übereinstimmen
Kurzbeschreibung	Kurze informelle Beschreibung des Use-Cases

Abbildung 8-31: PT-Anwendungsfall-Template 1/3
initialer Beschreibung (geringster Detaillierungsgrad)

Primär Akteur	Bezeichnung des primären Akteurs dieses Use-Cases
Sekundäre Akteure	Liste der sekundären Akteure dieses Use-Cases
Ziele	Ziele die durch diese Ausführung des Use-Cases erreicht werden sollen; typischerweise sind dies Ziele der Akteure
Umweltbedingungen	Beschreibung der Umwelt- und Umgebungsbedingungen
Besondere Anforderungen	Anforderungen, die bei der Ausführung des Use-Cases zusätzlich berücksichtigt werden müssen, wie zum Beispiel Performance- oder Sicherheitsanforderungen
Häufigkeit	Beschreibung der Häufigkeit mit der der Use-Case durchgeführt wird
Arbeitsweise	Beschreibung der Arbeitsweise
Power-Tool	Beschreibung des Power-Tools
Werkzeug	Beschreibung des Werkzeugs
Werkstück/ Untergrund	Beschreibung des Werkstücks, der Vegetation
Schutzvorrichtung	Beschreibung von Schutzeinrichtungen am Gerät und am Anwender
Hindernisse	Beschreibung von Hindernisse, Störquellen
Zubehör	Beschreibung des benutzten Zubehörs
Hyperlinks	Verlinkung zu weiterführenden Informationen, Fotos, Video, Messdaten

Abbildung 8-32: PT-Anwendungsfall-Template 2/3
Basis-Beschreibung (mittlerer Detaillierungsgrad)

³³⁰ Hantl, A. 2014, S.24 (betreute Abschlussarbeit)

³³¹ vgl. DIN EN 62559-1, Cockburn, A. 2000, Sikora, E. 2011, Rupp, C. & Sophisten 2014

Autoren	Name der Autoren, die an der Use-Case Beschreibung mitgearbeitet haben	
Priorität	Wichtigkeit des Use-Cases gemäß der verwendeten Priorisierungstechnik	
Kritikalität	Kritikalität des Use-Cases z.B hinsichtlich des Schadensausmaßes bei Fehlverhalten des Use Cases	
Quelle (des uc)	Bezeichnung der Quelle (Stakeholder, Dokument, System) von dem der Use-Case stammt	
Verantwortlicher Stakeholder	Der für den Use-Case verantwortlichen Stakeholder	
Auslösendes Ereignis	Angabe des Ereignisses das den Use-Case auslöst	
Vorbedingungen	Liste notwendiger Voraussetzungen, die erfüllt sein müssen, bevor die Ausführung des Hauptszenarios beginnen kann	
Nachbedingungen	Liste der Zustände, in denen sich das System unmittelbar nach der Ausführung des Hauptszenarios befindet	
Ergebnis	Beschreibung der Ausgabe, die während der Ausführung des Use-Cases erzeugt werden.	
Hauptszenario	Schritte	Aktion
	[Nr]	Beschreibung des Hauptszenarios eines Use-Cases
	...	
Alternativszenario	Schritte	Aktion
	[Nr]	Beschreibung des Hauptszenarios eines Use-Cases
	...	
Fehlerszenario	Schritte	Aktion
	[Nr]	Beschreibung des Hauptszenarios eines Use-Cases
	...	

Abbildung 8-33: PT-Anwendungsfall-Template 3/3
vollständig ausgefüllter PT-Anwendungsfall-Beschreibung (höchster Detaillierungsgrad)

Mit der Schablone kann ein Anwendungsfall situationsangepasst beschrieben werden. Dabei kann zwischen den Detaillierungsgraden initialer Beschreibung (PT-Anwendungsfall-Template 1/3), Basis-Beschreibung (PT-Anwendungsfall-Template 2/3) und vollständige Beschreibung (PT-Anwendungsfall-Template 3/3) unterschieden werden (vgl. Kapitel 2.2.2). Jede weitere Detaillierungsebene ergänzt die Vorhergehende. Es wird allerdings empfohlen immer eine initiale Beschreibung eines Anwendungsfalls vorzunehmen.

8.4.2 Aktivität Anwendungsfälle detaillieren

Anwendungsfälle detaillieren ist die zweite Aktivität der Anwendungsfallmodellierung. In der Fallstudie Freischneider waren den Entwicklern die Struktur und Detaillierungsmöglichkeiten eines Anwendungsfalls häufig unklar (vgl. Kapitel 7). Daher soll der

Detailierungs- und Auswahlprozess unterstützt werden. Hierfür wurde ein Ansatz mit vier Detaillierungsebenen entwickelt (vgl. Abbildung 8-34):

- **1. Ebene:** Initiale Anwendungsfallbeschreibung: Titel und Kurzbeschreibung (siehe PT-Anwendungsfall-Template 1/3, Abbildung 8-31)
- **2. Ebene:** Detaillierte Anwendungsfallbeschreibung: Akteur, Arbeitsziel, Beschreibung von Power-Tool, Werkzeug, Werkstück, Umgebung, etc. (siehe PT-Anwendungsfall-Template 2/3, Abbildung 8-32)
- **3. Ebene:** Verhaltensmodellierung: Vorbedingung, Nachbedingung, Ablauf, Ergebnis, etc. (siehe PT-Anwendungsfall-Template 3/3, Abbildung 8-33)
- **4. Ebene:** Vernetzung von Anwendungsfällen mit dem Nutzungsverhalten (Metadaten, Bilder, Video, Messdaten, Gelenkwinkel, PT- Dokumentation, vgl. Kapitel 8.4.4)

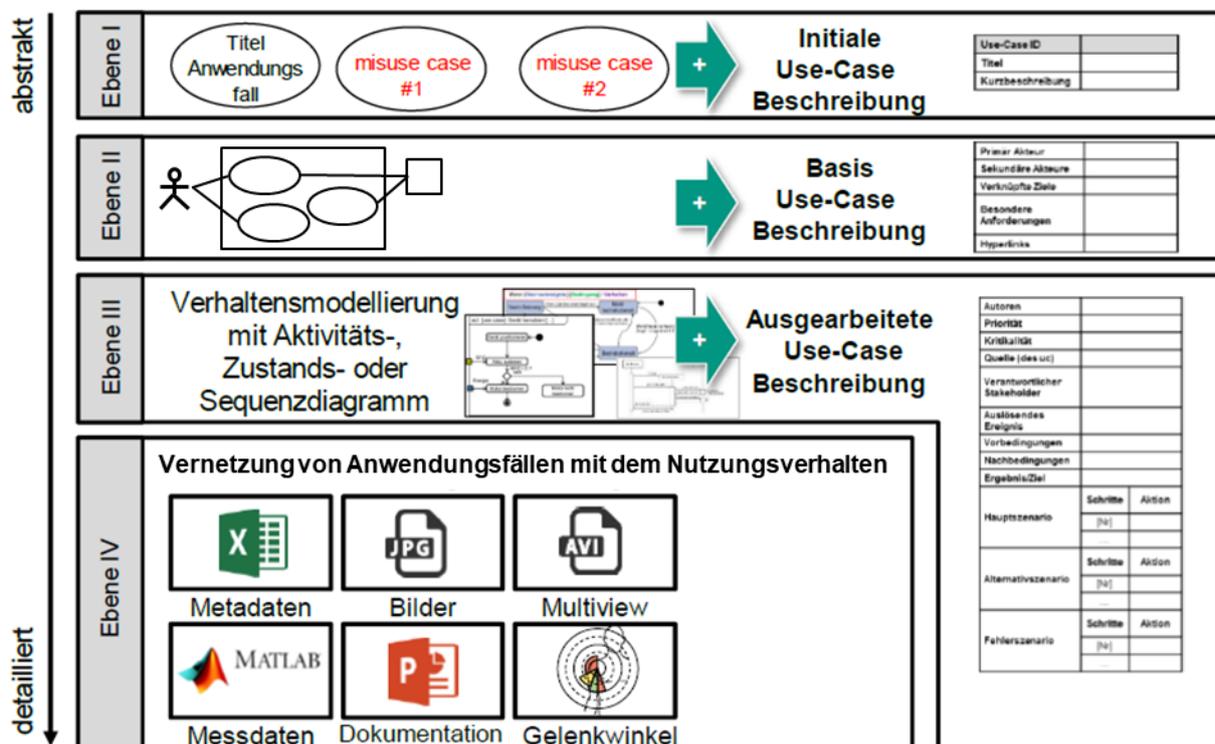


Abbildung 8-34: Detaillierungsebenen von Anwendungsfällen³³²

Die erste Ebene wird zur Strukturierung der Anwendungsfälle genutzt. Sie sollte immer modelliert werden. Für aufwendige oder komplexere Anwendungsfälle ist eine tiefere Beschreibung sinnvoll. Allerdings müssen nicht alle Anwendungsfälle vollständig ausdetailliert werden. Vielmehr kann es zielführend sein, (1) gut bekannte

³³² Bildquellen: <http://www.iconarchive.com>; in Anlehnung Schmidt, S. et al. 2015

und wenig sicherheits- oder funktionsrelevante Anwendungsfälle auf Ebene 1 zu beschreiben, wohingegen (2) sicherheits- und funktionsrelevante oder wenig bekannte Anwendungsfälle detaillierter auf Ebene 2 oder Ebene 3 beschrieben werden sollten. Detailliertes Anwendungswissen kann mit dem Modell über Ebene 4 vernetzt werden.³³³ In Kapitel 8.4.3 wird dies näher ausgeführt. Um die Nutzungs-Analyse effizient und zielgerichtet durchzuführen, biete es sich an, die Anwendungsfälle hinsichtlich Entwicklungsziel, Häufigkeit, Wissensstand und Kritikalität zu bewerten (vgl. Kapitel 2.2.3). Dadurch können besonders relevante Anwendungsfälle identifiziert werden, welche beispielsweise in einer Nutzungsanalyse betrachtet werden sollten.

8.4.3 Aktivität Nutzungsverhalten generalisieren

Nutzungsverhalten generalisieren ist die dritte Aktivität der Anwendungsfallmodellierung. Um eine Vergleichbarkeit von mehreren Anwendern zu ermöglichen, muss das kontextspezifische Nutzungsverhalten geclustert und abstrahiert werden, um es in generalisierte Anwendungsfälle zu überführen. Da das Nutzungsverhalten in vielen Fällen nicht exakt einem Anwendungsfall zugeordnet werden kann, ist es notwendig, es in Aktionen aufzuteilen und zu clustern.

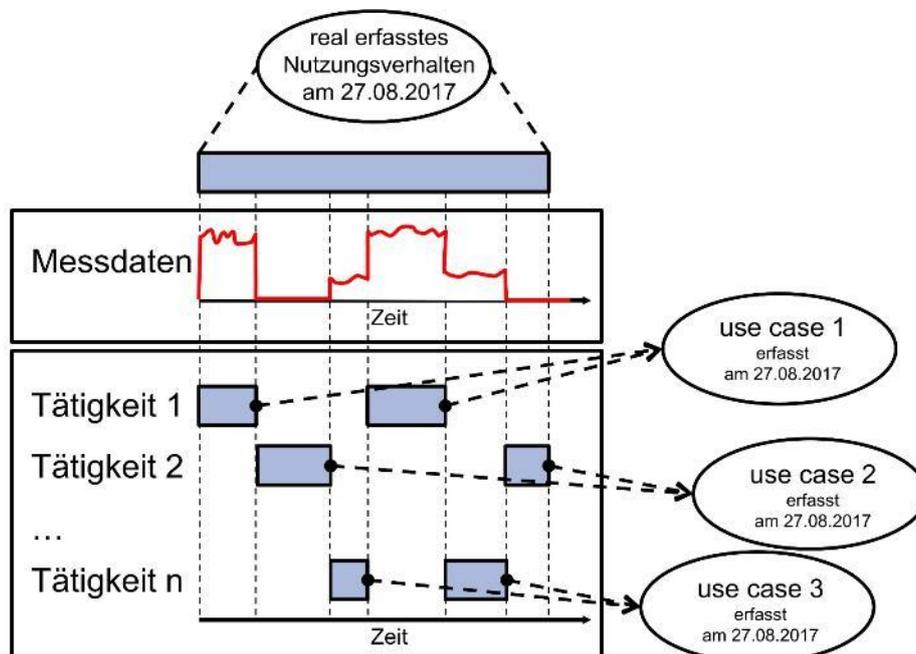


Abbildung 8-35: Vernetzung des Nutzungsverhalten mit Anwendungsfällen

³³³ vgl. Schmidt, S. et al. 2015, S.8

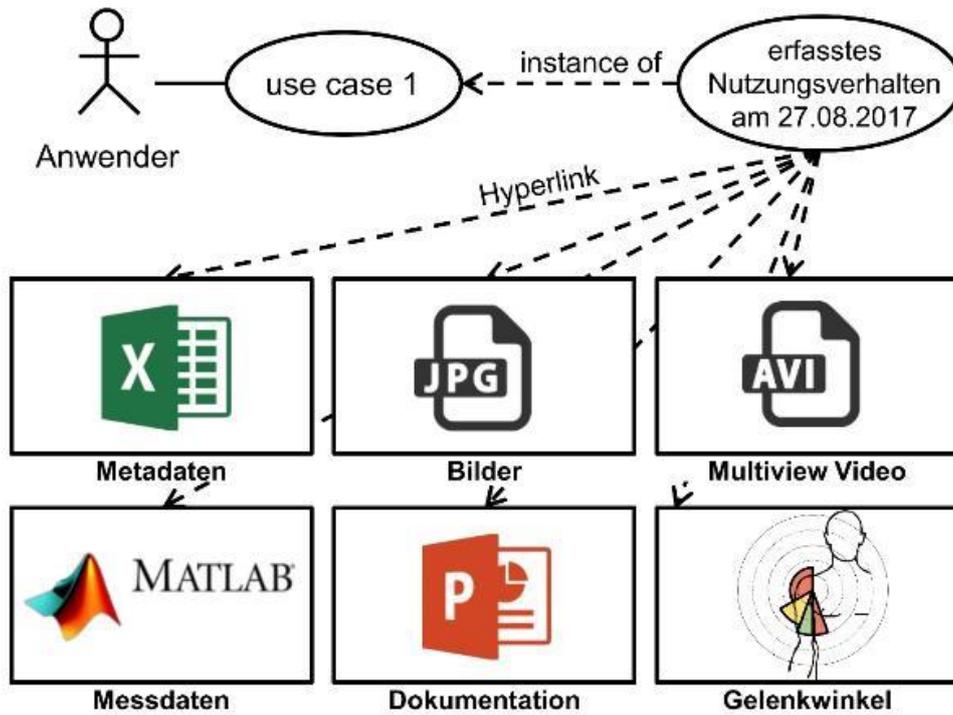
Bei Hybridfahrzeugen mit parallelem Hybridantrieb ist eine solche Clusterung beispielsweise durch die Fahrzeugparameter Fahrzeuggeschwindigkeit, Leistung Verbrennungsmotor, Leistung Elektromotor und Bremsmoment möglich. Hiermit ist eine Aufteilung in die Betriebszustände Start-Stopp-Betrieb, Lastpunktanhebung, Rekuperation, elektrisch Fahren, Boosten, Segeln und verbrennungsmotorisch Fahren möglich.³³⁴ Abbildung 8-35 verdeutlicht das Clustern des Nutzungsverhaltens in Abhängigkeit von signifikanten Messdaten. Für Power-Tool sind solche Clusterkriterien beispielsweise:

- **Körperhaltung:** Stehend, Sitzend, Liegend, Arbeiten in Brusthöhe, am Boden, über Kopf, Gelenkwinkel, etc.
- **Werkzeug:** Trennscheibe, Schleifscheibe, Schruppscheibe, Fächerscheibe, Polierscheibe, etc.
- **Arbeitsweise:** Schleifen, Trennen, Schruppe, Polieren, etc.
- **Interne Gerätedaten:** Leistungsaufnahme, Drehmoment oder Drehzahl

8.4.4 Aktivität Nutzungsverhalten mit Anwendungsfällen vernetzen

Nutzungsverhalten mit Anwendungsfällen vernetzen ist die vierte Aktivität der erweiterten Anwendungsfallmodellierung. In den vorangegangenen Kapiteln wurden Methoden aufgezeigt, um das Nutzungsverhalten zu identifizieren, zu dokumentieren und zu analysieren. In diesem Kapitel wird dieses dokumentierte Nutzungsverhalten mit dem in Kapitel 8.4.2 erzeugten Anwendungsfall-Modell verknüpft. Wie in Kapitel 2.2.5 aufgezeigt, so kann das Nutzungsverhalten als Instanz eines Anwendungsfalls betrachtet werden. Im Anwendungsfall-Modell kann das Nutzungsverhalten mit einem Anwendungsfall über eine Instanziierungsbeziehung (instance of) verknüpft werden. Das erfasste Nutzungsverhalten sollte seinerseits mit den Metadaten, Bildern und Videos, Messdaten, der PT-Dokumentation und den Gelenkwinkel verknüpft sein. Abbildung 8-36 zeigt wie die mit der „instance of“-Beziehung und mit Hyperlinks umgesetzt werden kann.

³³⁴ vgl. Ringshandl, T. 2016, S.

Abbildung 8-36: Vernetzungsmöglichkeiten des Nutzungsverhalten mit Anwendungsfällen ³³⁵

³³⁵ Bildquellen: <http://www.iconarchive.com>

8.4.5 Fazit

In diesem Kapitel wurde die Anwendungsfallmodellierung vorgestellt. Das Modellieren stellt eine sich wiederholende Phase der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (e-AFM) dar. Die Modellierung sollte iterativ durchgeführt werden, um ein möglichst aktuelles und vollständiges Modell zu erzeugen. Gegenüber der initialen Methodik (vgl. Kapitel 6) wurde die Anwendungsfallmodellierung durch die Aktivitäten (1) Anwendungsfälle beschreiben, (2) Anwendungsfälle detaillieren, (3) Nutzungsverhalten abstrahieren und (4) Nutzungsverhalten mit Anwendungsfällen vernetzen, erweitert. Zur Unterstützung der Aktivitäten, wurden folgende Methoden und Vorlagen entwickelt oder auf Power-Tools angepasst. Diese ermöglichen eine einfache Beschreibung, Detaillierung, Bewertung und Vernetzung von Anwendungsfällen mit dem Nutzungsverhalten:

- PT-Anwendungsfall-Template
- Detaillierungsebenen
- Bewertungskriterien
- Vernetzungsmethoden

Mit den in diesem Kapitel vorgestellten Ergebnissen kann Forschungsfrage 2.2 sowie Forschungsfrage 3.2 beantwortet werden.

Antwort auf Forschungsfrage 2.2 „Nach welchen Kriterien können Anwendungsfälle bewertet und geclustert werden?“:

- Es bietet sich an, Anwendungsfälle von Power-Tools hinsichtlich Entwicklungsziel, Häufigkeit, Wissensstand und Kritikalität zu bewerten.
- Zum Clustern der Anwendungsfälle bieten sich die Kriterien Körperhaltung, Werkzeug, Arbeitsweise und interne Gerätedaten an.

Antwort auf Forschungsfrage 3.2 „Wie kann ein Prozess zur Verknüpfung des Nutzungsverhaltens mit Anwendungsfällen gestaltet sein?“:

- Das Nutzungsverhalten kann über ein Anwendungsfallmodell mit Anwendungsfällen verknüpft werden. Das Nutzungsverhalten wird als Instanz eines Anwendungsfalls mit der Instanziierungsbeziehung (instance of) modelliert.

- Das Nutzungsverhalten sollte seinerseits über Hyperlinks mit den Metadaten, Bildern, Videos, Messdaten, der PT-Dokumentation und den Gelenkwinkel verknüpft sein.

8.5 Regeln und Empfehlungen zur Methodikanwendung

Auf Basis der gesammelten Erfahrungen und den Ergebnissen der Fallstudie werden im Folgenden Regeln und Empfehlungen zur Methodikanwendung abgeleitet. Hierbei sollen möglichst wenige und gleichzeitig einfache Regeln und Empfehlungen gebildet werden, die flexibel angewandt werden können. Hierdurch soll der Aufwand minimiert und die individuelle Akzeptanz der Methodik erhöht werden. Die Regeln und Empfehlungen teilen sich in drei Phasen Anwendungsfall-Analyse, Anwendungsfallmodellierung und Nutzungs-Analyse auf.

8.5.1 Regeln und Empfehlungen für die Anwendungsfall-Analyse

Die folgenden Empfehlungen und Regeln sind auf die Anwendungsfall-Analyse ausgerichtet.

- Die Anwendungsfall-Analyse soll einem Entwickler-Team helfen, ein gemeinsames Verständnis über das Verhalten eines Systems zu entwickeln. Daher sollten die Aktivitäten auf die Bedürfnisse des Teams angepasst werden.
- Bei der Erhebung der Anwendungsfälle sollte das richtige Team zurate gezogen werden. Es hat sich bewährt ein inhomogenes Team, beispielsweise aus den Abteilungen Entwicklung, Marketing und Erprobung, einzubinden. Teilweise stehen in unterschiedlichen Abteilungen grundlegend verschiedene Anwendungsfälle im Fokus und es wurde bereits Wissen zu gewissen Anwendern oder Anwendungsfällen aufgebaut, welches es zu bündeln gilt.
- Die Stakeholder und der Systemkontext sollten regelmäßig auf Richtigkeit und Vollständigkeit geprüft werden. Nur so ist es möglich, Veränderungen frühzeitig zu erkennen und entsprechend zu reagieren.

8.5.2 Regeln und Empfehlungen für die Anwendungsfallmodellierung

Die folgenden Empfehlungen und Regeln sind auf die Anwendungsfallmodellierung ausgerichtet.

- Der Aufwand für die Modellierung ist nicht zu unterschätzen. Die Detaillierungstiefe mit der ein Anwendungsfall beschrieben ist, sollte daher situationsabhängig und bedarfsgerecht erfolgen. Wie in Kapitel 2.2.5 aufgezeigt, ist es ausreichend, einen bekannten Anwendungsfall lediglich zu erfassen.

- Der Aufwand für die Modellierung ist in der ersten Produktgeneration noch recht groß. Er wird sich jedoch bei nachfolgenden Produktgenerationen signifikant reduzieren. Daher ist eine Wiederverwendung von Modellelementen anzustreben.
- Eine Vernetzung der Anwendungsfälle mit dem Nutzungsverhalten ist anzustreben. Die PT-vorlage unterstützt den Modellierer dabei, die entsprechenden Modellelemente zu verwenden, damit eine Verknüpfung mit dem Nutzungsverhalten sichergestellt ist.

8.5.3 Empfehlungen für die Nutzungs-Analyse

Die folgenden Empfehlungen beziehen sich auf die Erfassung des Nutzungsverhaltens in Anwendungsstudien (Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung).

- Anwendungsstudien sind mit einem hohen Aufwand verbunden. Daher sollte als Vorbereitung geprüft werden, ob mit dem geplanten Studiendesign und der geplanten Studienart (Feld oder Laborstudie) das Untersuchungsziel beantwortet werden kann. Hierfür bietet es sich an, eine Vorstudie oder Machbarkeitsuntersuchung durchzuführen. Bei der eigentlichen Studie sollten alle Handgriffe sitzen, um den Probanden einen flüssigen Ablauf zu ermöglichen. Eine genaue Aufgabenverteilung und ein Probedurchlauf sind sinnvoll. Falls Messtechnik eingesetzt wird, so muss diese stabil und robust laufen, für Ersatzakkus und Verschleißteile sollte ebenfalls gesorgt sein.
- Bei der Probandenauswahl sollte darauf geachtet werden, dass die Probanden der Zielgruppe dem definierten Betrachtungsraum entsprechen. Je nach Untersuchungsziel können dies Novizen, Profi- oder auch Gelegenheitsanwender sein. In durchgeführten Studien hat sich gezeigt, dass die meisten Probanden interessiert und offen für Befragungen sind. Die Probanden empfinden es als Wertschätzung, wenn sich der Gerätehersteller oder eine Forschungseinrichtung für seine Anwendungen und Probleme interessiert. Sehr wichtig ist es bei der Auswahl der Probanden darauf zu achten, dass diese motiviert und offen sind, was meist bei jüngeren Probanden der Fall war. In den durchgeführten Studien waren ältere Probanden bereits häufig auf eine Marke geprägt. Sie führen ihre Anwendungen bereits seit Jahren auf eine gewisse Art und Weise durch. Defizite des Power-Tools gleichen sie mit routinierten Umgehungslösungen aus. Von jungen Probanden wurden hingegen innovative und kreative Lösungsansätze geäußert. Allerdings waren die älteren Probanden meist mehr auf ihre Gesundheit

bedacht und sehen im Gegensatz zu den jüngeren Probanden einen größeren Bedarf in arbeitserleichternden Maßnahmen.

- Beim Erstkontakt mit dem Probanden ist zu beachten, dass eine Studie eine ungewohnte Situation darstellt. Es sollte sich die Zeit genommen werden, dem Probanden zu erklären, was auf ihn zukommt, welche Messtechnik eingesetzt wird und wie der geplante Ablauf und die Dauer der Studie ist. Um die Nervosität zu reduzieren, kann es helfen ruhig, langsam und deutlich zu sprechen. Der Studienaufbau sollte ebenfalls ohne Hektik erfolgen, da sich der Stress auf alle Beteiligten überträgt.
- Je nach Untersuchungsziel soll die alltägliche Arbeitsaufgabe oder ein gewisser Anwendungsfall untersucht werden. Dies sollte im Vorfeld mit dem Probanden abgestimmt werden. So ist es für ihn möglich, sich darauf einzustellen und falls notwendig, Vorbereitungen zu treffen.
- Bei der Durchführung der Anwendungsstudie ist darauf zu achten, auf Fragen des Probanden einzugehen. Da häufig Hilfsarbeiter beschäftigt sind, kann es zu Sprachbarrieren kommen. Bei ausländischen Probanden kann ein Dolmetscher eingesetzt werden.
- Es empfiehlt sich ein Versuchsprotokoll zu führen, um Unregelmäßigkeiten zu protokollieren und die Messdaten dementsprechend beurteilen zu können.
- Je nach Umweltbedingungen der Studie sollte für Getränke, Verpflegung, Sonnen-/Regenschutz und Sitzmöglichkeiten, auch für den Probanden gesorgt werden.
- In den durchgeführten Studien hat sich gezeigt, dass manche Probanden es nicht gewöhnt sind, ihre Gedanken in Schriftform zu fassen. Sie möchten besonders schön und ausführlich schreiben oder es kann sogar zu einer Schreibblockade kommen, was die Befragung deutlich verlängert. Ist dies der Fall, so ist von dem persönlichen Ausfüllen des Fragebogens abzusehen, so dass der Interviewer das Schreiben für den Probanden übernimmt.
- Es hat sich gezeigt, dass die Probanden oder deren Arbeitskollegen nach der Studiendurchführung meist nicht mehr so angespannt, sondern offen und interessiert sind. Ein anschließender Austausch oder ein Feedbackgespräch haben sich als gewinnbringend herausgestellt.
- Die Probanden interessiert es zu sehen, welche Messdaten erhoben wurden und wie diese ausgewertet werden. Das Anschauen von den nicht alltäglichen Motion Capture Aufnahmen, hat besonderes Interesse bei allen Beteiligten geweckt.

8.6 Fazit zur Methodenentwicklung

In diesem Kapitel wurde die Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (e-AFM) weiterentwickelt. Die Methodik geht über die klassischen Ansätze der Anwendungsfallmodellierung hinaus, indem sie die Top-Down mit der Bottom-up-Modellierung kombiniert und die eher abstrakte Beschreibungsmethoden auf Beschreibungsmethoden für das Nutzungsverhalten erweitert. Abbildung 8-37 zeigt die finale Methodik mit den drei Phasen, den zugehörigen Aktivitäten und den entwickelten Methoden.

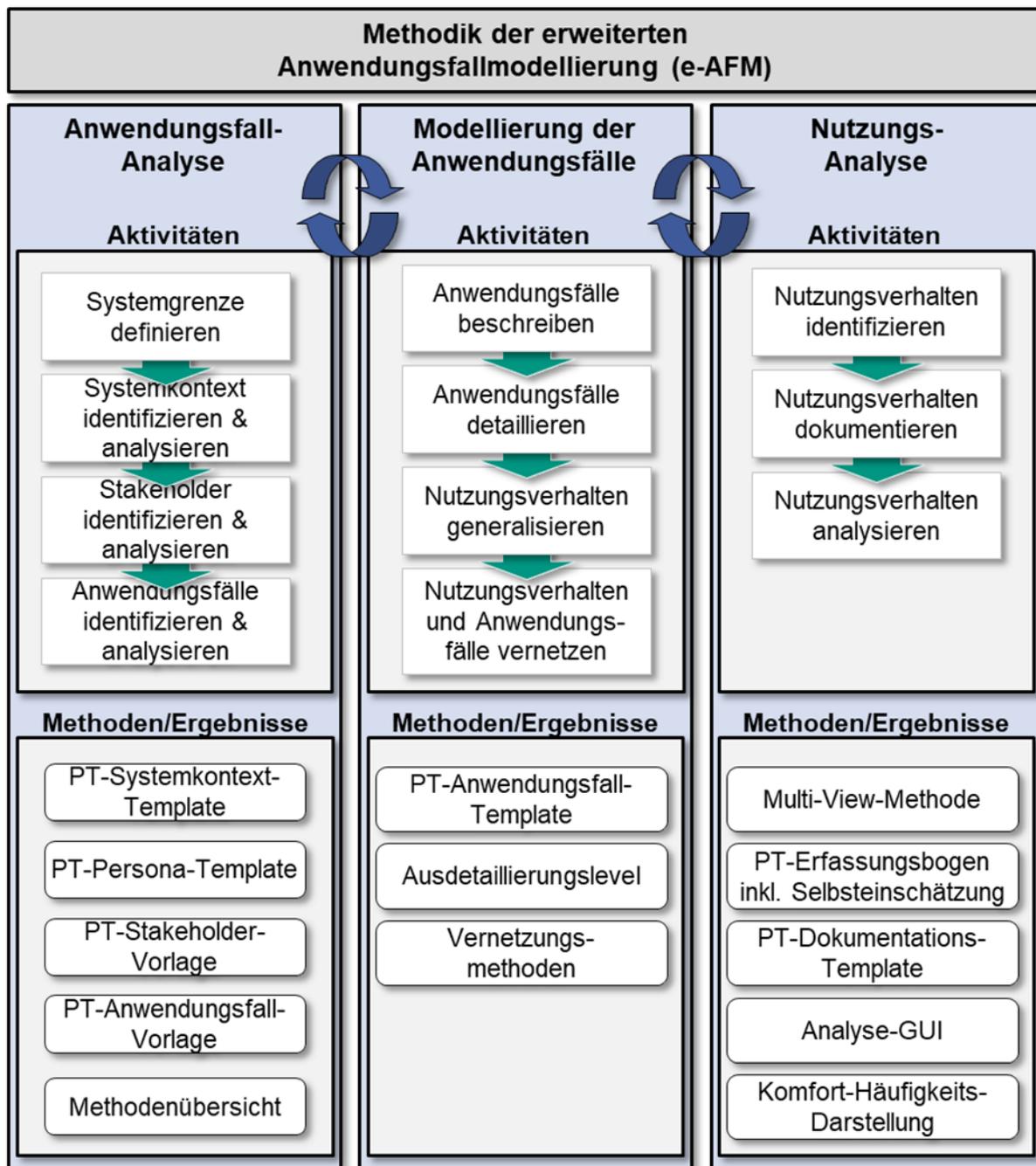


Abbildung 8-37: Methodik inklusive den Aktivitäten und den entwickelten Methoden

Die weiterentwickelte Methodik besteht, wie die initiale Methode aus den drei Phasen: Anwendungsfall-Analyse, Anwendungsfallmodellierung und Nutzungs-Analyse. Die Phasen wurden durch Aktivitäten mit geeigneten Methoden erweitert. Im Folgenden werden die Ergebnisse zusammengefasst:

Die Phase Anwendungsfall-Analyse wurde durch die Aktivitäten (1) Systemgrenze identifizieren und analysieren, (2) Systemkontext identifizieren und analysieren, (3) Stakeholder identifizieren und analysieren und (4) Anwendungsfälle identifizieren und analysieren, erweitert. Um diese Aktivitäten zu unterstützen, wurden folgende Methoden und Vorlagen entwickelt oder auf Power-Tools angepasst:

- PT-Systemkontext-Template
- PT-Persona-Template
- PT-Stakeholder-Vorlage
- PT-Anwendungsfall-Vorlage

Die Phase Nutzungs-Analyse wurde durch die Aktivitäten (1) Nutzungsverhalten identifizieren, (2) Nutzungsverhalten dokumentieren, (3) Nutzungsverhalten analysieren, erweitert. Um diese Aktivitäten zu unterstützen, wurden folgende Methoden und Vorlagen entwickelt oder auf Power-Tools angepasst:

- Multi-View-Methode
- PT-Erfassungsbogen inklusive Selbsteinschätzung
- PT-Dokumentations-Template
- Analyse-GUI
- Komfort-Häufigkeits-Darstellung

Die Phase Anwendungsfallmodellierung wurde durch die Aktivitäten (1) Anwendungsfälle beschreiben, (2) Anwendungsfälle detaillieren, (3) Nutzungsverhalten abstrahieren und (3) Nutzungsverhalten mit Anwendungsfällen vernetzen, erweitert. Um diese Aktivitäten zu unterstützen, wurden folgende Methoden und Vorlagen entwickelt oder auf Power-Tools angepasst:

- PT-Anwendungsfall-Template
- Detaillierungsebenen
- Vernetzungsmethoden

In Kapitel 8.5 wurde auf Basis der gesammelten Erfahrungen und den Untersuchungen Regeln und Empfehlungen zur Anwendung der Methodik abgeleitet.

9 Anwendung und Validierung der Methodik

In diesem Kapitel wird die Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung angewendet und validiert. Die Methodik wurde dabei auch Dritten an die Hand gegeben, welche sie selbstständig einsetzen konnten. Dies waren zum einen mehrere studentische Abschlussarbeiter, Studierende der Lehrveranstaltung Gerätekonstruktion sowie Industriepartner. Folgende zwei Beispiele wurden dafür ausgewählt: Fallbeispiel 1 - Winkelschleifer (vgl. Kapitel 9.1) und Fallbeispiel 2 - Anwendung in der Lehrveranstaltung Gerätekonstruktion (vgl. Kapitel 9.2). Im Anschluss werden die Ergebnisse in Kapitel 9.3 diskutiert.³³⁶

9.1 Fallbeispiel: Winkelschleifer

In diesem Fallbeispiel wird die Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung anhand eines Winkelschleifers angewendet. Ziel ist es Anwendungswissen über Winkelschleifer aufzubauen. Dabei handelt es sich um ein eigenmotiviertes Projekt. Das Entwicklungsziel kann wie folgt formuliert werden:

Aufgabenstellung:

Ermittlung des realen Nutzungsverhaltens von Winkelschleifern, um daraus Anforderungen und Innovationspotentiale abzuleiten.

Zur Erreichung dieses Entwicklungsziels wird eine Anwendungsfall-Analyse, gefolgt von einer Anwendungsfallmodellierung und einer Nutzungs-Analyse im Rahmen einer Anwendungsstudie durchgeführt.

9.1.1 Vorstellung eines Winkelschleifers

Ein Winkelschleifer ist ein Power-Tool, mit einem schnell rotierenden Werkzeug, mit dem verschiedene Materialien bearbeiten werden können. Winkelschleifer besitzen einen Elektromotor, größere Geräte einen Verbrennungsmotor – diese werden jedoch als Trennschleifer bezeichnet und in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.³³⁷ Der Motor sitzt im Hauptgriff des Geräts. Das erzeugte Antriebsmoment wird durch ein Kegelradgetriebe umgelenkt und auf ein Werkzeug übertragen. Abbildung 9-1 zeigt einen Winkelschleifer mit den Werkzeugen, Trenn- und Schruppscheibe. Um den Anwender

³³⁶ Die in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse sind in Zusammenarbeit mit Kempf, D 2016 (betreute Abschlussarbeit) und Janik, M. 2017 (betreute Abschlussarbeit) entstanden,

³³⁷ STIHL 2017; Bosch Professional 2017

vor Funkenflug, abgetragenem Material oder einer geplatzen Scheibe zu schützen, besitzen alle Winkelschleifer eine Schutzhaube, welche ungefähr die Hälfte des Werkzeugs umschließt. Außerdem verfügen die Geräte über einen optionalen seitlichen Handgriff. Winkelschleifer werden in unterschiedlichen Leistungsklassen und Größen angeboten. Gängige Geräte besitzen eine Leistung von etwa 700W bis 2.800W, eine Leerlaufdrehzahl von etwa $2.800 \frac{1}{min}$ bis $13.000 \frac{1}{min}$ sowie einen Scheibendurchmesser von 115 mm bis 300 mm. Winkelschleifer bis 150 mm, werden als kleine und alle darüber hinaus als große Winkelschleifer bezeichnet.



Abbildung 9-1: System Winkelschleifer und Werkzeuge³³⁸

9.1.2 Anwendungsfall-Analyse

In einer Anwendungsfall-Analyse wurden die Tätigkeiten, die ein Anwender oder ein anderer Stakeholder mit einem Winkelschleifer - gemäß der in Kapitel 8.2 vorgestellten Methoden - analysiert. Da es sich bei diesem Fallbeispiel, um ein eigenmotiviertes Projekt ohne Industriebeteiligung handelt, konnte kein Vorwissen eines Unternehmens genutzt werden. Daher werden vorwiegend artefakt-basierte Methoden und Kreativitätsmethoden eingesetzt. Die erste Aktivität der Anwendungsfall-Analyse ist die Festlegung der Systemgrenze. In diesem Fall ist das zu betrachtende System der Winkelschleifer (vgl. Abbildung 9-2). Der seitliche Handgriff, Werkzeuge und Zubehör sind nicht mehr Teil des Gestaltungsraums, sondern Teil des Systemkontextes.

³³⁸ Bildquelle: www.flex-tools.com

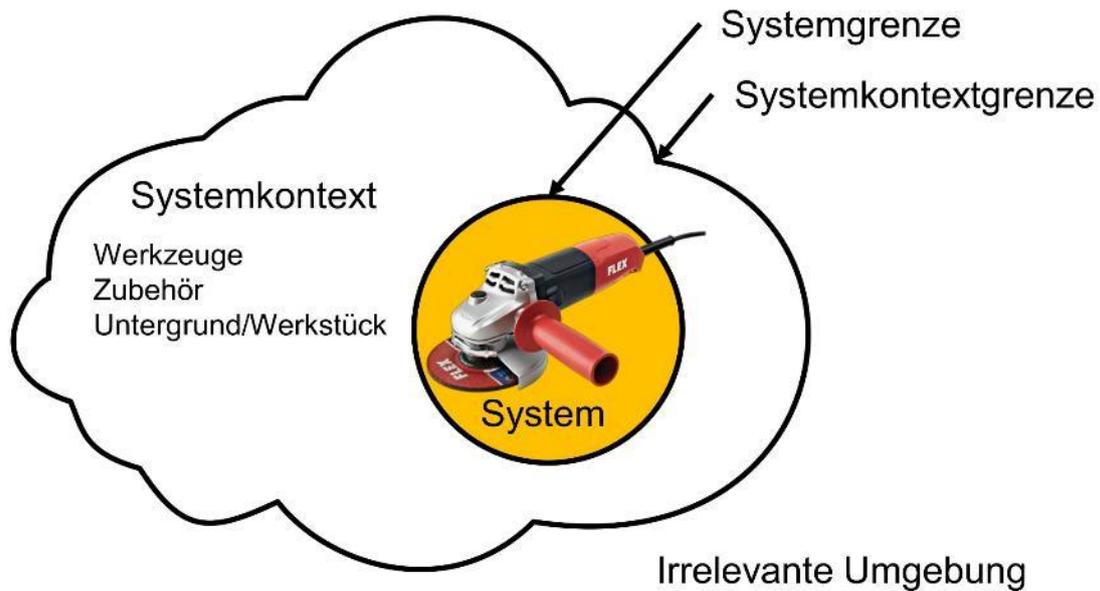
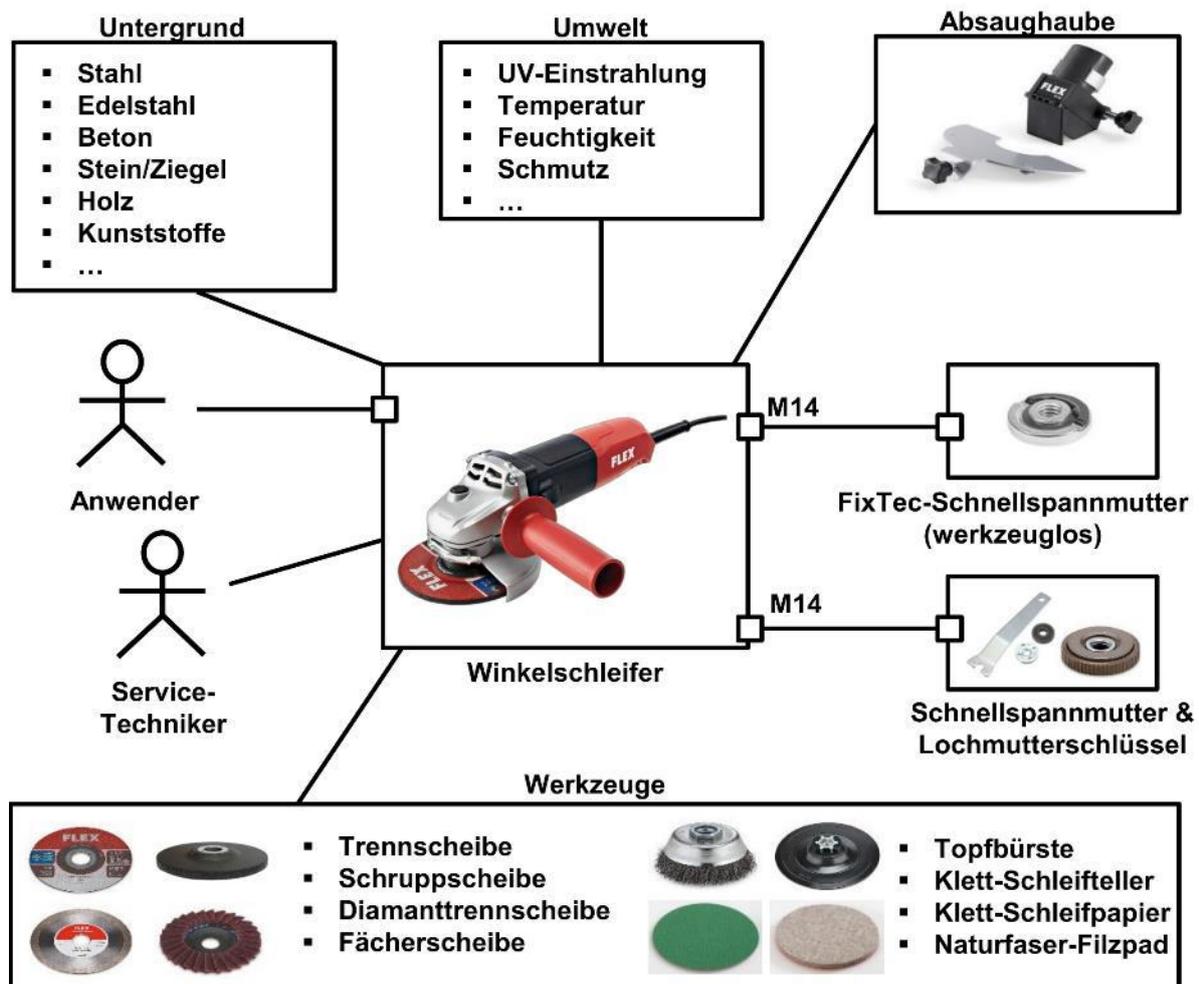


Abbildung 9-2: Systemgrenze und Kontextgrenze eines Winkelschleifers ³³⁹

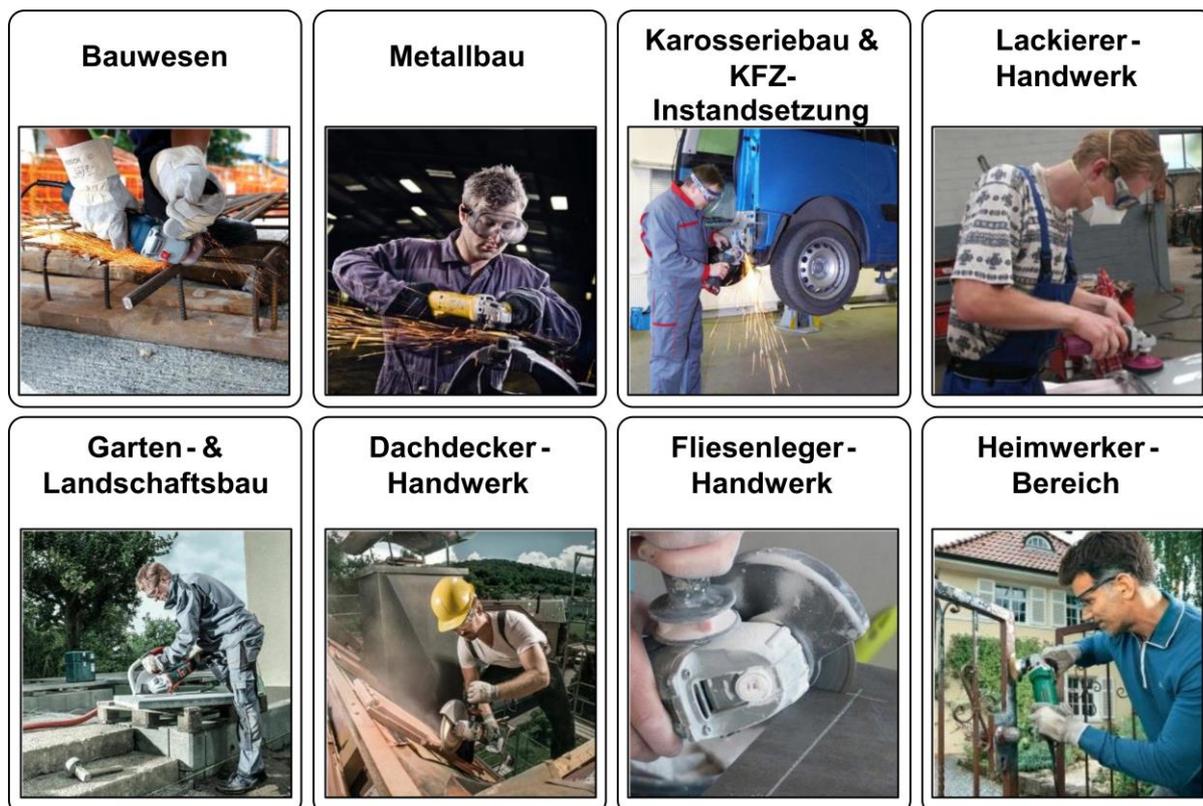
Nachdem die Systemgrenze definiert wurde, wurde das Systemkontext des Winkelschleifers analysiert. Mit artefakt-basierten Methoden und Kreativitätsmethoden wurden die Internetauftritte und Broschüren der Hersteller nach Funktionsweise, Modellvariationen, Ausstattungsmöglichkeiten, Werkzeuge, Anwendungsbereiche und Anwendergruppen analysiert. Abbildung 9-3 zeigt das Systemkontext-Diagramm eines Elektro-Winkelschleifers. Dem Diagramm ist zu entnehmen, dass Winkelschleifer für sehr viele unterschiedliche Einsatzzwecke genutzt werden. Es können Unterschiedliche Untergründe wie Stahl, Edelstahl, Beton, Stein/Ziegel, Holz und Kunststoffe mit unterschiedlichsten Werkzeugen bearbeitet werden. Die verbreitetsten Werkzeuge sind Trenn- und Diamanttrennscheiben zum Ablängen von Metall und Stein sowie Schruppscheiben für grobe Schleifarbeiten. Fächerscheiben und Schleifteller mit Schleifpapier werden für Feinschleifarbeiten, Filz pads für Polierarbeiten verwendet. Das Werkzeug ist auf der Getriebeausgangswelle mit einer Spannmutter fixiert, welche entweder werkzeuglos oder mit einem Lochmutter-schlüssel montiert werden kann.

³³⁹ Bildquelle: www.flex-tools.com

Abbildung 9-3: Systemkontext eines Winkelschleifers³⁴⁰

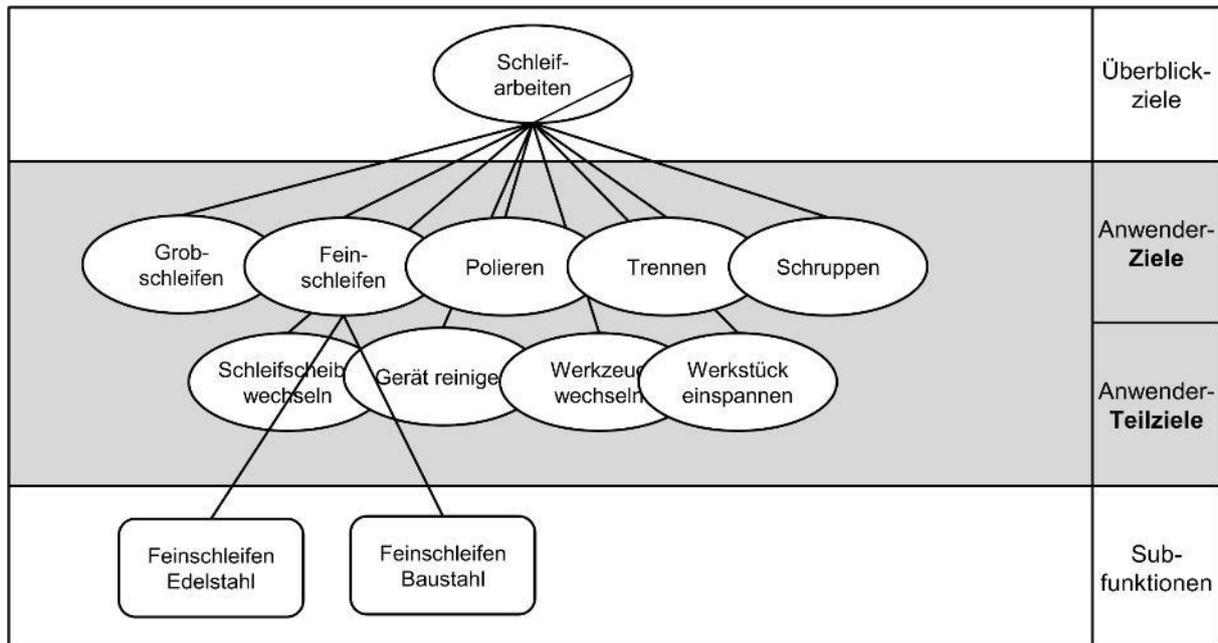
Aufbauend auf der Systemkontext-Analyse werden die Stakeholder analysiert. Winkelschleifer werden im Heimwerker- als auch im professionellen Handwerkerbereich eingesetzt. Aufgrund der flexiblen Einsatzmöglichkeiten werden sie in verschiedenen Branchen genutzt (vgl. Abbildung 9-4). Vorwiegend kommen sie im Bauwesen und dem Metallbau zum Einsatz.

³⁴⁰ Bildquellen: www.flex-tools.com

Abbildung 9-4: Anwenderbranchen von Winkelschleifern ³⁴¹

Nachdem der Systemkontext und die Stakeholder bestimmt wurden, werden nun die Anwendungsfälle identifiziert. Hierfür wird die in Kapitel 2.2.5 vorgestellte Einteilung von Anwendungsfällen genutzt: Überblickziel-Ebene, Anwenderziel-Ebene, Anwenderteilziel-Ebene und Subfunktions-Ebene. Als Überblick Anwendungsfall wurde „Schleifarbeiten“ ausgewählt. Als Anwendungsfälle auf der Anwenderzielebene sind die Haupttätigkeiten: „Grobschleifen“, „Feinschleifen“, „Polieren“, „Trennen“, „Schruppen“. Mit der Ausführung dieser Anwendungsfälle verfolgt der Anwender jeweils ein Ziel. Um dieses Ziel erreichen zu können, müssen die Anwendungsfälle auf der Teil-Zielebene „Schleifscheibe wechseln“, „Gerät reinigen“, „Werkzeug wechseln“ und „Werkstück einspannen“ erfüllt werden.

³⁴¹ Janik, M. 2017, S.7 (betreute Abschlussarbeit); Bildquellen: <http://akkuwinkelschleifertest.com>; www.auto-elliger.de; <http://werkzeugforum.de>; www.voelkner.de; <https://diybook.at/bauen-renovieren>;

Abbildung 9-5: Anwendungsfälle eines Winkelschleifers ³⁴²

Zwei der identifizierten Anwendungsfälle werden im Folgenden mit der entwickelten Beschreibungsvorlage beschrieben.

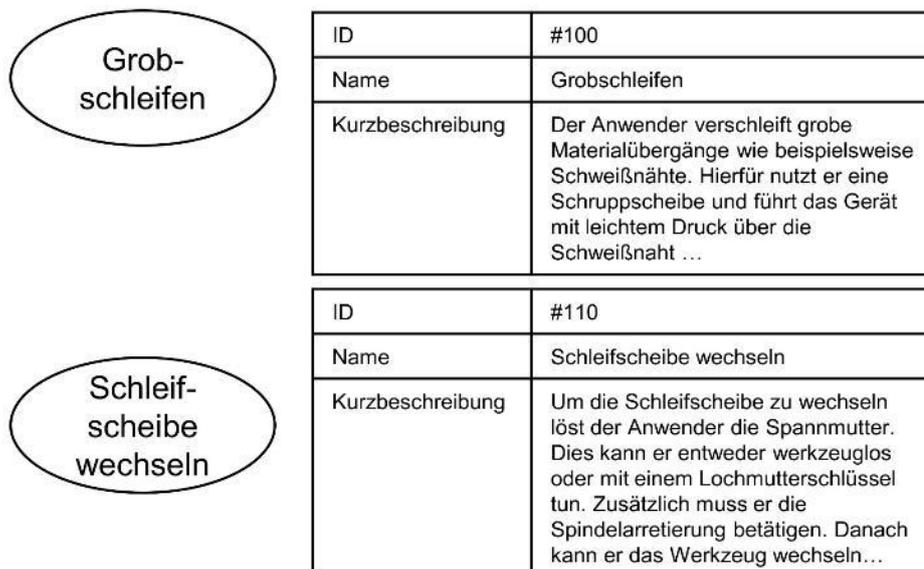


Abbildung 9-6: textuelle Beschreibung des Anwendungsfalls

Bei der Bewertung der Anwendungsfälle hinsichtlich Häufigkeit und Größe der Anwendergruppen ist festzustellen, dass Metallarbeiten und hierbei vorwiegend das Trennen und Schruppen zu den häufigsten Anwendungsfällen zählen.

³⁴² In Anlehnung an Janik, M. 2017, S.79 (betreute Abschlussarbeit)

9.1.3 Nutzungs-Analyse

In diesem Kapitel wird eine Nutzungs-Analyse bei Winkelschleifern mit Hilfe einer Anwendungsstudie vorgestellt. Das Nutzungsverhalten von Winkelschleifer-Anwendern wird - gemäß der in Kapitel 8.3 vorgestellten Methoden - identifiziert, dokumentiert und analysiert. Proband der Studie war ein Metallbau-Meister einer Schlosserei. Der Proband ist Ausbilder für Lehrlinge. Beobachtungs- und Befragungsmethoden sowie Apprenticing haben mit diesem Probanden sehr gut funktioniert, da er gewohnt ist, die Hintergründe seiner Tätigkeiten zu vermitteln. Während der Studie hat der Proband an einer Metalltreppe mit Geländer gearbeitet. Zur Befragung wurde der PT-Erfassungsbogen inkl. Selbsteinschätzung verwendet (vgl. Kapitel 8.3.1.3). Mit der Messtechnik Motion Capturing, Puls und Video-Aufnahmen wurden Messdaten bei den Anwendungsfällen *Schrubben*, *Schweißnaht schleifen* sowie *Trennen* mit kleinem und großen Winkelschleifer erfasst. Für die Dokumentation der Studie wurde das PT-Dokumentations-Template (vgl. Kapitel 8.3.2, Abbildung 8-17) verwendet. Bei der Analyse des Nutzungsverhaltens hat die Multi-View-Methode (vgl. Kapitel 8.3.1.2) einen sehr guten Überblick in die Arbeitsweise geliefert (vgl. Abbildung 9-7).



Abbildung 9-7: Multiview-Video aus 4 Perspektiven: seitlich (o.l.), Anwender-Sicht (o.r.), vorne (u.l.) und digitales Menschmodell (u.r.).³⁴³

³⁴³ vgl. Janik, M. 2017, S. 81 ff. (betreute Abschlussarbeit)

Bei der Videoanalyse wurden unterschiedliche Handstellungen identifiziert. Zum einen bringt der Anwender mit der linken Hand Druck auf das Gerät auf (vgl. Abbildung 9-8, links) oder führt das Gerät am Gehäuse oder der Schutzhaube (vgl. Abbildung 9-8, mitte und rechts). Auf der rechten Seite von Abbildung 9-8 ist das Führen an der Schutzhaube und das Abstützen gegenüber dem Werkstück zu erkennen. Mithilfe von Retrospektive Think-Aloud-Methode konnten die Gründe für diese Handstellungen in Erfahrung gebracht werden. Für präzise Arbeiten führt der Anwender das Gerät zusätzlich mit seiner linken Hand, allerdings nicht am Handgriff, sondern am Getriebe oder der Schutzhaube. Damit verkürzt er erstens den Abstand zum Arbeitspunkt, um eine bessere Kontrolle zu erlangen, zum anderen dient es ihm als Unterstützung für das rechtwinklige Ablängen.



Abbildung 9-8: variierende Führungspositionen der linken Hand ³⁴⁴

Abbildung 9-9 zeigt die entwickelte Postervorlage für die Visualisierung der Gelenkwinkel. Ihr ist zu entnehmen, dass der Anwender vor allem mit dem linken Arm ungünstige Gelenkwinkel einnimmt. So ist beispielsweise die linke Ellenbogen Flexion, die linke Ellenbogen Supination wie auch die linke Innenrotation im roten Bereich. Die Arbeitshaltungen sind aufgrund der Anwendung „*verschleifen der eingeschweißten Geländerstäbe*“, ergonomisch ungünstig. Es sollte geprüft werden, ob eine Optimierung am Gerät daher eine grundlegende Verbesserung mit sich bringen würde.

³⁴⁴ vgl. Janik, M. 2017, S. 86 (betreute Abschlussarbeit)

Erklärung der Bildarstellung	Anwendung	Gerät & Werkzeug
<p>Weiterentwickelte Gelenk-Komfort-Häufigkeits-Darstellung</p> <p>Die einzelnen Kreise stellen den prozentualen Anteil der Dauer bezogen auf die Gesamtdauer dar, in dem sich die Gelenke in den jeweiligen Winkelbereichen befinden.</p>		

Gelenkwinkel-Häufigkeits-Darstellung

<p>Wirbelsäule L1 bis T12 Extension & Flexion</p>	<p>Wirbelsäule L1 bis T12 Lateralflexion</p>
<p>Ellenbogen links Extension & Flexion</p>	<p>Wirbelsäule L1 bis T12 Rotation</p>
<p>Ellenbogen links Pro- & Supination</p>	<p>Schulter links Ab-/ Adduktion</p>
<p>Handgelenk links Ulnar- & Radialduktion</p>	<p>Schulter links Extension & Flexion</p>
<p>Handgelenk links Extension & Flexion</p>	<p>Schulter rechts Innen- & Außenrotation</p>

Abbildung 9-9: Analyse der Gelenkwinkel beim Arbeiten mit einem Winkelschleifer

9.1.4 Fazit

In diesem Fallbeispiel wurde die Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung auf Winkelschleifer angewendet. Der Fokus lag dabei auf der Anwendungsfall-Analyse und der Nutzungs-Analyse. Die Anwendungsfall-Modellierung wurde verkürzt durchgeführt.

Im Fallbeispiel wurden folgende Methoden und Vorlagen unterstützend eingesetzt:

- PT-Systemkontext-Template
- PT-Stakeholder-Vorlage
- PT-Anwendungsfall-Vorlage
- Multi-View-Methode
- PT-Erfassungsbogen inklusive Selbsteinschätzung
- PT-Dokumentations-Template
- Analyse-GUI
- Komfort-Häufigkeits-Darstellung
- PT-Anwendungsfall-Template

Die folgenden Methoden und Vorlagen wurden nicht eingesetzt:

- PT-Persona-Template
- Ausdetaillierungslevel
- Vernetzungsmethoden

Es konnte gezeigt werden, dass die Methoden geeignet sind, um Anwendungsfälle zu identifizieren und zu modellieren. Auch das Nutzungsverhaltens konnte mit den Methoden nachvollziehbar identifiziert und beschrieben werden.

9.2 Fallbeispiel Lehrveranstaltung Gerätekonstruktion

In diesem Fallbeispiel wird die Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung in der Lehrveranstaltung Gerätekonstruktion angewendet und validiert. Fokus liegt hierbei auf der Anwendungsfall-Analyse und der Nutzungs-Analyse. Eine Anwendungsfallmodellierung wurde von den Studierenden nicht durchgeführt.

Die Lehrveranstaltung Gerätekonstruktion ist eine Masterveranstaltung im Maschinenbaustudium. Im Fokus der Lehrveranstaltung stehen die besonderen Anforderungen bei der Entwicklung von Power-Tools. Die Lehrveranstaltung basiert auf dem KaLeP – Karlsruher Lehrmodell für Produktentwicklung³⁴⁵, welches die besondere Bedeutung von realistischen Entwicklungsumgebungen zum Erlangen von Entwicklungs-Kernkompetenzen betont. Durch eigenes Tun und das Sammeln prägender Erfahrungen in gezielt geschaffenen Lernsituationen erlangen Studierende Handlungskompetenz beim Lösen real-komplexer technischer Probleme.³⁴⁶ Die Lehrveranstaltung vermittelt tiefes Detailwissen zur Entwicklung, Fertigung und Validierung von Power-Tools.³⁴⁷ Sie folgt den Leitsätzen der forschungsorientierten und forschenden Lehre. Dies bedeutet, dass aktuelle Forschungsergebnisse kontinuierlich in die Veranstaltung einfließen. Darüber hinaus wird die Veranstaltung auch als Live-Lab genutzt: *„Ein Live-Lab im Kontext der Produktentwicklung ist eine Untersuchungsumgebung, die es ermöglicht, Methoden und Prozesse der Produktentwicklung in einem möglichst realen Entwicklungsprozess zu erforschen und gleichzeitig die Randbedingungen in hohem Maße gestalten zu können. Ziel hierbei ist es, Entwicklungsmethoden, Prozesselemente, Werkzeuge und Arbeitsweisen weiterzuentwickeln und zu evaluieren, um diese mehrwertstiftend der Praxis in Industrieunternehmen bereitstellen zu können.“*³⁴⁸ Die Studierenden bekommen aktuellste Forschungsergebnisse und Methoden in der Lehrveranstaltung vorgestellt und validieren sie.

³⁴⁵ vgl. Breitschuh, J. & Albers, A. 2014

³⁴⁶Das in diesem Kapitel dargestellte Lehrkonzept wurde bereits im Rahmen der folgenden Publikationen vorgestellt: Matthiesen, S. et al. 2013a; Matthiesen, S. et al. 2015a; Matthiesen, S. et al. 2015a.

³⁴⁷ vgl. Matthiesen, S. et al. 2013a

³⁴⁸ vgl. Walter, B. et al. 2016

9.2.1 Studiendesign

In den vergangenen zwei Jahrgängen (Sommersemester 2016 und 2017), wurde den Studierenden die Methode der erweiterten Anwendungsfallmodellierung im Rahmen eines 1-tägigen Workshops vermittelt und über das Semester mehrfach die Anwendbarkeit und Fortschritte diskutiert. Aus jedem Team haben 2-3 Studierende an der Schulung teilgenommen. Im ersten Jahrgang fand ein vierstündiger Workshop in der 3.Vorlesungswoche statt, bestehend aus Theorie- und Praxisphasen. Bei der Evaluation des Workshops wurde angemerkt, dass die Vorgehensweise ohne erklärende Informationen nicht selbsterklärend ist. Des Weiteren wurde der Wunsch nach mehr Zeit für Übungsphasen geäußert³⁴⁹. Basierend auf den Verbesserungsvorschlägen wurde der Workshop im zweiten Jahr auf einen ganztägigen Workshop in der zweiten Vorlesungswoche erweitert. Die systematische Vorgehensweise wurde an einem durchgängigen Beispiel aufgezeigt und nach einer Theorieeinheit in Kleingruppen an einem Beispielsystem angewendet sowie die Ergebnisse vorgestellt und diskutiert. Beispielsysteme in der Schulung waren ein IXO-Akkuschrauber, ein Elektro-Winkelschleifer und ein Kunststoff-Dübel (vgl. Abbildung 9-10).



Abbildung 9-10: Beispielsysteme des Workshops³⁵⁰

Die Gruppen haben eine Anwendungsfall-Analyse und -Identifikation durchgeführt. Den Teilnehmern wurden die PT-Persona-Vorlage, PT-Systemkontext, PT-Anwendungsfall-Vorlage und der Ablauf mit Methodikbeschreibung, zur Verfügung gestellt. Der IXO-Akkuschrauber und mehrere Kunststoff-Dübel lagen den Gruppen physisch vor. Ein Winkelschleifer wurde nicht zur Verfügung gestellt. Der Winkelschleifer sollte nur theoretisch analysiert werden, um die Relevanz von physischen Modellen bei der Systemanalyse zu analysieren.

³⁴⁹ vgl. Kempf, D. 2016, S.105 (betreute Abschlussarbeit)

³⁵⁰ Bildquelle: www.bosch.de; www.hilti.de; www.fischer.de

9.2.2 Ergebnisse

In einer schriftlichen Umfrage³⁵¹ nach dem Methodenworkshop und in ergänzenden Befragung während der Projektarbeit, haben die Studierenden den Workshop mit gut bewertet (1,8). 9 von 9 Teilnehmern fanden die vermittelten Methoden geeignet, um die Beispielsysteme zu modellieren. Damit konnte gezeigt werden, dass die Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung sowohl für Power-Tools als auch für Consumables geeignet ist. Die System-Analyse wurde durch die real vorliegenden Systeme unterstützt. Das Team ohne ein physisches System (Winkelschleifer) hatten deutlich größere Probleme bei der Analyse und der Definition von Anwendungsfällen. Mehrere Teilnehmer haben sich gewünscht die Systeme zerlegen zu dürfen. 9 von 9 Teilnehmern trauen es sich nach dem Workshop zu, die Methoden mit Hilfe der Unterlagen selbstständig anzuwenden, die Methoden auf die konkrete Aufgabenstellung der Projektarbeit zu übertragen, sowie die Teammitglieder, die nicht am Workshop teilgenommen haben, anzulernen. Die Anwendbarkeit war für die Studierenden mit den zur Verfügung gestellten Begleitmaterial mit angemessenem Aufwand möglich. Im Workshop wurde der Mehrwert der Methodik nicht für alle Teilnehmer ersichtlich. Bei der Anwendung in der semesterbegleitenden Projektarbeit hat die Methodik die Studierenden bei der Stakeholder-Analyse und Systemkontext-Analyse. Die Erfahrungen aus dem Workshop haben dazu beigetragen, den Mehrwert einer einheitlichen Benennung und eines gemeinsamen Systemverständnisses im Team, zu erkennen³⁵².

9.2.3 Fazit

In diesem Fallbeispiel wurde die Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung im Rahmen der Lehrveranstaltung Gerätekonstruktion angewendet. Die Methodik wurde im Rahmen einer Methodenschulung vermittelt und von den Studierenden erfolgreich auf die drei Beispielsysteme IXO-Akkuschrauber, Elektro-Winkelschleifer und Kunststoff-Dübel angewendet. Anschließend haben die Studierenden die Methodik ihren Teamkollegen vermittelt und in ihrer Projektarbeit angewendet. Die Anwendung der Methodik wurde als Mehrwert und Unterstützung für die Systemanalyse empfunden.

³⁵¹ vgl. Ergebnisse der Umfrage, siehe Anhang Kapitel 14.8, S.226

³⁵² vgl. Kempf, D. 2016, S.60 (betreute Abschlussarbeit)

9.3 Fazit zur Anwendung und Validierung der Methodik

Die Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (e-AFM) wurde am Fallbeispiel Winkelschleifer, der Lehrveranstaltung Gerätekonstruktion sowie am Fallbeispiel Freischneider angewendet und validiert. In den Fallbeispielen konnte gezeigt werden, dass die drei Phasen der Methodik mit den Aktivitäten und den unterstützenden Methoden eine strukturierte Vorgehensweise von der Anwendungsfall-Analyse über die Modellierung bis hin zur Erfassung und Beschreibung des Nutzungsverhaltens ermöglicht. Die Methoden wurden dabei auch von Dritten angewendet. Diese konnten die Methoden nach einer Unterweisung selbstständig einsetzen. Die Methoden sind demnach erlernbar und für verschiedene Power-Tools sowie auch für Consumables anwendbar. Die Eignung der Methodik konnte damit gezeigt werden. Mit den in diesem Kapitel vorgestellten Ergebnissen kann Forschungsfrage 4.1 und Forschungsfrage 4.2 wie folgt beantwortet werden:

Antwort auf Forschungsfrage 4.1 *„Wie gestaltet sich die Anwendbarkeit der Methode?“*:

- Die Anwendbarkeit der Methodik wurde in mehreren Fallbeispielen mit verschiedene Power-Tools sowie auch für Consumables nachgewiesen.
- Die Methoden wurden dabei auch von Dritten angewendet, welche die Methoden nach einer Unterweisung selbstständig einsetzen konnten.
- Die Anwendbarkeit der Methodik ist demnach gegeben.

Antwort auf Forschungsfrage 4.2 *„Wie gestaltet sich die Eignung der Methodik?“*:

- Es wurde gezeigt, dass die Methodik mit den drei Phasen, Aktivitäten und den unterstützenden Methoden eine strukturierte Vorgehensweise von der Anwendungsfall-Analyse über die Modellierung bis hin zur Erfassung und Beschreibung des Nutzungsverhaltens ermöglicht.
- Der Aufwand wurde im Rahmen der Lehrveranstaltung als angemessen bewertet. Es bleibt allerdings zu prüfen inwieweit der Aufwand beim Einsatz in Industrieunternehmen gerechtfertigt ist. Insbesondere der hohe Aufwand der Modellierung kann vermutlich nur im Rahmen einer Produktgenerationsentwicklung gerechtfertigt werden.

- Die Methoden sind erlernbar. Die Eignung der Methoden wurde an verschiedene Power-Tools sowie auch für Consumables gezeigt. Der Mehrwert konnte nicht nachgewiesen werden.

Im Folgenden werden die drei Phasen der Methodik diskutiert:

Für die **Anwendungsfall-Analyse** wurden im Rahmen dieser Arbeit fünf Methoden entwickelt. Diese Methoden haben die Anwendbarkeit vereinfacht und den Aufwand der Analyse reduziert. Die Anwendungs-Analyse konnte mit den Methoden (PT-Systemkontext-Template, PT-Persona-Template, PT-Stakeholder-Vorlage, PT-Anwendungsfall-Vorlage) im Rahmen eines Workshops effizient durchgeführt werden. Die Methodenübersicht mit den sechs Säulen zur Identifikation von Anwendungsfällen kann zudem mit unternehmensspezifischen Methoden erweitert werden.

In den Fallbeispielen fand die **Modellierung der Anwendungsfälle** nur eingeschränkt statt. Dies lag daran, dass der Aufwand für die Modellierung als zu hoch erachtet und der Mehrwert nicht verdeutlicht werden konnte. Auch die Bereitstellung des PT-Anwendungsfall-Templates, der Ausdetaillierungslevel und der Vernetzungsmethoden konnten dem nicht entgegenwirken. Dieser Aufwand kann vermutlich nur im Rahmen einer Produktgenerationsentwicklung gerechtfertigt werden. In der ersten Generation wird noch ein großer Aufwand für die Modellierung anfallen, welcher sich jedoch bei nachfolgenden Produkten signifikant reduzieren wird.

Für die **Nutzungs-Analyse** wurden im Rahmen dieser Arbeit fünf Methoden entwickelt. Mit dem PT-Erfassungsbogen inkl. Selbsteinschätzung und dem PT-Dokumentations-Template ist eine standardisierte und effiziente Beschreibung des Nutzungsverhaltens möglich. Die Analyse des Nutzungsverhaltens konnte mit der Analyse-GUI, der Multi-View-Methode und der Komfort-Häufigkeits-Darstellung unterstützt werden. Der Fokus lag dabei auf der Analyse der Gelenkwinkel und der Bewegungsdaten. Somit war es möglich aus den bislang meist qualitativ durchgeführten Anwendungsstudien, messbare und quantifizierbare Entwicklungszielgrößen für die interdisziplinäre Produktentwicklung abzuleiten. Um den Nutzen der Analyse-GUI zu erhöhen sollte sie um weitere Analysemethoden erweitert werden. Mit Blick auf die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung in der Power-Tool-Branche, werden die zur Verfügung stehenden Informationen weiter ansteigen. Bei der Menge an Daten, stellt die Datenaufbereitung eine nicht zu unterschätzende Herausforderung dar. Daher kann zukünftig eine softwaretechnische Auswertung durch Big Data

Analysen oder Mustererkennung notwendig sein, um den Aufwand für den Entwickler moderat zu halten.

Diese Arbeit hat den Fokus auf die Analyse des Nutzungsverhaltens in der realen Anwendung gelegt. Die Messtechnik und das Messkonzept sollten immer auf das Entwicklungsziel abgestimmt sein. Im Fallbeispiel Freischneider war Motion Capturing sehr gut geeignet, um das Nutzungsverhalten mit vielen großen Bewegungen auszuwerten. Für die recht statische Anwendung im Fallbeispiel Winkelschleifer, konnte mit Motion Capturing lediglich die Körperhaltung erfasst werden. Dies stellte einen geringen Mehrwert dar. Für nachfolgende Untersuchungen wird empfohlen, das Power-Tool mit Messtechnik auszustatten und die Leistungsaufnahme oder die Kräfte zu erfassen, um Rückschlüsse auf das Geräteverhalten in den unterschiedlichen Anwendungsfällen zu erhalten. Zudem sollte die Methodik dahingehend weiterentwickelt werden, dass sie den Entwickler bei der Auswahl von geeigneter Messtechnik, in Abhängigkeit eines Entwicklungsziels, unterstützt.

10 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem abschließenden Kapitel werden die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zusammengefasst und im Ausblick mögliche weiterführende Forschungsaktivitäten, die im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit stehen, angeregt.

10.1 Zusammenfassung

Viele Anforderungen für die Entwicklung von Power-Tools entstehen aus der Systembenutzung und den Wechselwirkungen zwischen Anwender, Power-Tool und Umgebung. Die Erfassung des Nutzungsverhaltens ist ein wichtiger Schritt im Produktentwicklungsprozess und dient als Grundlage für die Identifikation von Kundenanforderungen. Als Nutzungsverhalten wird das Verhalten des Gesamtsystems bestehend aus Anwender, Power-Tool und Umwelt verstanden. Das Nutzungsverhalten kann bei der realen Benutzung von Power-Tools beobachtet werden. Es ist abhängig vom Anwender, dem verwendeten Power-Tool, der Umwelt und dem Arbeitsziel³⁵³ (vgl. Kapitel 2.4.2). Gemäß der in dieser Arbeit entwickelten Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (e-AFM) kann das Nutzungsverhalten in repräsentative Tätigkeiten, sogenannte Anwendungsfälle unterteilt werden. Ein Anwendungsfall im Kontext von Power-Tools beschreibt, auf eine generalisierte Art und Weise, die Tätigkeiten (Menge von Aktionen) die mit einem Power-Tool durchgeführt werden oder durchgeführt werden könnten. Die Tätigkeiten werden mit einem bestimmten Ziel durchgeführt, es empfiehlt sich den Anwendungsfall wie das Ziel zu benennen. Anwendungsfälle können aus dem Nutzungsverhalten abgeleitet oder anhand von Anwendungswissen definiert werden (vgl. Kapitel 2.5). Bei der Analyse des Standes der Forschung wurde festgestellt, dass es bislang in der Gerätebranche keinen Standard für die methodische Identifikation und Beschreibung des Nutzungsverhaltens und der Überführung in Anwendungsfälle gibt. Die Beschreibung erfolgt meist individuell und findet nicht domänenübergreifend statt. Auch bestehen aktuell keine durchgängigen Methoden, von der Identifikation und Beschreibung eines Anwendungsfalls. Daher ist eine Nachvollziehbarkeit kaum möglich. Der Komplexität heutiger Produktentstehung kann jedoch nur durch eine Nachvollziehbarkeit der Anforderungen und einer kontinuierlichen Validierung begegnet werden³⁵⁴.

³⁵³ In Anlehnung an die Definition Fahrverhalten nach Schneider, J. H. 2010, S.24

³⁵⁴ vgl. Ebel, B. 2015, S.2

Anwendungsfälle können mit der Systems Modeling Language (SysML) beschrieben werden. Da Anwendungsfälle jedoch bislang meist in der Informatik eingesetzt werden, sind bestehende Methoden auf softwaretechnische Systeme ausgerichtet. Um die Anwendungsfallmodellierung effektiv und effizient auf Power-Tools zu übertragen, sind daher Anpassungen an den bestehenden Methoden notwendig. Neben dieser Anpassung fehlte es an einer methodischen Vorgehensweise und an Handlungsempfehlungen für das Modellieren der Anwendungsfälle. Daraus wurde die Zielsetzung, *Entwicklung einer Methodik, um das Nutzungsverhalten von Power-Tools zu identifizieren, zu beschreiben, zu quantifizieren und für die interdisziplinäre Produktentwicklung nutzbar zu machen*, abgeleitet (vgl. Kapitel 3).

Die zu entwickelnde Methode muss eine vernetzte, nachvollziehbare und situationsangepasste Modellierung relevanter Anwendungsfälle erlauben und gleichzeitig den einzelnen Entwickler bei einer effizienten Identifikation und Beschreibung des Nutzungsverhaltens von Power-Tools und der Überführung in Modelle unterstützen. Aufbauend auf der Zielsetzung wurden vier Forschungsfragen abgeleitet (vgl. Kapitel 4). Zur Schärfung der Bedarfssituation und den aktuellen Herausforderungen wurden Experten-Interviews durchgeführt. Dabei wurden folgende Herausforderungen identifiziert: (1) Der Aufwand für die Erfassung des Nutzungsverhaltens und das Ableiten der Kundenanforderungen ist hoch. (2) Es bestehen Wissensdefizite bei Anwender, Arbeitsweise und Umweltbedingungen. (3) Die methodische Erfassung und die strukturierte Dokumentation des Nutzungsverhaltens stellen Herausforderungen dar (vgl. Kapitel 5). Aus der geschärften Bedarfsermittlung und durch eine Verdichtung des relevanten Standes der Forschung, wurde in Kapitel 6 eine initiale Methodik zur erweiterten Anwendungsfallmodellierung (e-AFM) entwickelt. Die Methodik geht über die klassischen Modellieransätze hinaus. Sie kombiniert die Top-Down mit der Bottom-up-Modellierung. Zudem stellt sie Methoden zur Verfügung, um das Nutzungsverhalten von Power-Tool-Anwendern beschreiben zu können. Die initiale Methodik besteht aus drei Phasen: Anwendungsfall-Analyse, Anwendungsfallmodellierung, und Nutzungs-Analyse. Die drei Phasen ergänzen sich und können teilweise iterativ angewendet werden. Die Methodik wird in einer projektbegleitenden Fallstudie validiert und kontinuierlich mit den beteiligten Entwicklern diskutiert und Optimierungspotentiale abgeleitet (vgl. Kapitel 7). Im Anschluss daran wurde die Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung weiterentwickelt (vgl. Kapitel 8). Die Methodik besteht, wie die initiale

Methodik aus den drei genannten Phasen. Die Phasen wurden allerdings um Aktivitäten und geeignete Methoden erweitert. Anschließend wurde die Methodik an zwei Fallbeispiele angewendet sowie vor dem Hintergrund der durchgeführten Untersuchungen diskutiert.

Daneben bestand ein wesentlicher Schritt dieser Arbeit in der Quantifizierung der in Anwendungsstudien erhobenen Informationen. Die entwickelte Komfort-Häufigkeits-Darstellung und die Analyse-GUI (vgl. Kapitel 8.3.3) unterstützen Power-Tool-Entwickler bei der Analyse des Nutzungsverhaltens. Diese Methoden können aus bislang meist qualitativ durchgeführten Anwendungsstudien, quantifizierbare Messgrößen ableitet, welche als Entwicklungszielgrößen für die interdisziplinäre Power-Tool-Entwicklung genutzt werden können.

Die Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (e-AFM) wurde am Fallbeispiel Winkelschleifer, der Lehrveranstaltung Gerätekonstruktion sowie am Fallbeispiel Freischneider angewendet und validiert (vgl. Kapitel 9). In den Fallbeispielen konnte gezeigt werden, dass die drei Phasen der Methodik mit den Aktivitäten und den unterstützenden Methoden eine strukturierte Vorgehensweise von der Anwendungsfall-Analyse über die Modellierung bis hin zur Erfassung und Beschreibung des Nutzungsverhaltens ermöglicht. Die Methoden wurden dabei auch von Dritten angewendet, welche die Methoden nach einer Unterweisung selbstständig einsetzen konnten. Die Methoden sind demnach erlernbar und für verschiedene Power-Tools sowie auch für Consumables geeignet.

10.2 Ausblick

Dieses Kapitel stellt einige weiterführende Forschungsthemen im Kontext der vorliegenden Arbeit vor, die besonders relevant erscheinen.

Die Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung wurde im Rahmen dieser Arbeit an mehreren Power-Tools angewendet. Über einige der Systeme war bereits Vorwissen vorhanden, welches die Anwendung der Methodik erleichterte. In weiteren auf diesen Ergebnissen aufbauenden Forschungsarbeiten sollte untersucht werden, inwieweit bei Power-Tools ohne Vorkenntnisse die Methoden und Beschreibungsformen angepasst werden müssen. Es ist zu prüfen, ob unter anderen Randbedingungen oder anderen Entwicklungszielen ähnliche Ergebnisse erreichbar sind, oder ob sich Einschränkungen ergeben.

Im Anschluss an die vorliegende Arbeit sollte die Methodik um eine vierte Phase zur Testfall-Generierung erweitert werden. Dies ist mit Blick auf die Validierung von Power-Tools ein weiterer wichtiger Schritt, um die Nachvollziehbarkeit und Durchgängigkeit in der Produktentstehung sicherzustellen. Für das strukturierte Ableiten von Testfällen ist die Entwicklung ergänzender Methoden notwendig, welche geeignete Bewertungs- und Verrechnungsverfahren sowie statistische Methoden bereitstellen. Herausfordernd ist dabei, wie Belastungen, Schädigungs- und Verschleißkriterien in die Bewertung einfließen und wie sich Testfälle für handgeführte Tests von Prüfstandtests unterscheiden.

Eine der zentralen Herausforderungen besteht darin, dem Aufwand der Modellierung einen adäquaten Nutzen, gegenüber zu stellen. Um den Aufwand der Anwendungsfall- und Testfallmodellierung verringern zu können, sollte erforscht werden, wie die Methodenanwendung softwaretechnisch unterstützt und eventuell teilautomatisiert werden kann. Auch der Aufbau einer Modellbibliothek oder Datenbank für verschiedene Power-Tools, könnte durch Übernahmeanteile den Aufwand reduzieren. Die Beherrschung der Komplexität, einer durchgängigen Modellierung von Anwendungsfällen und des Nutzungsverhaltens bis zur Generierung von Testfällen, wird vermutlich nur über eine Rechnerunterstützung möglich sein. Daher besteht auf dem Forschungsfeld der modellbasierten Systementwicklung Bedarf an weiterführenden Arbeiten, um diesen Herausforderungen begegnen zu können. Weiterhin ist zu prüfen, ob zur Aufwandsreduktion Big Data Analysen oder Methoden der Mustererkennung eingesetzt werden können.

11 Literaturverzeichnis

acatech 2012

acatech (Hg.): Faszination Konstruktion – Berufsbild und Tätigkeitsfeld im Wandel: Empfehlungen zur Ausbildung qualifizierter Fachkräfte in Deutschland (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag, 2012, ISBN: 978-3-642-31931-0.

Adler M. 2010

Adler, M. (Hg.): Ergonomiekompandium. Anwendung ergonomischer Regeln und Prüfung der Gebrauchstauglichkeit von Produkten. 1. Aufl., Dortmund: BAuA-Verlag, 2010, ISBN: 978-3-88261-118-2.

Albers A. 2010

Albers, A.: Five Hypotheses about Engineering Processes and their Consequences. In: 8th International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering. Hrsg. von Horváth I.; Mandorli F.; Rusák Z. (Hg.), S.343-356, 2010, ISBN: 978-90-5155060-3.

Albers A. et al. 2010

Albers, A.; Behrendt, M.; Ott, S.: Validation - Central Activity to Ensure Individual Mobility. In: Automobiles and sustainable mobility: Proceedings of the FISITA 2010 World Automotive Congress, Budapest, S. 3032-3041, 2010, ISBN: 978-963-905829-3.

Albers A. et al. 2014

Albers, A.; Matthiesen, S.; Bursac, N.; Moeser, G.; Schmidt, S.; Lüdcke, R.: Abstraktionsgrade der Systemmodellierung – von der Sprache zur Anwendung. In: Tag des Systems Engineering. Maurer M.; Schulze S. O. (Hg.). Bremen: Carl Hanser Verlag, 2014, S. 183–192, ISBN: 978-3-446-44357-0.

Albers A. et al. 2015

Albers, A.; Matros, K.; Behrendt, M.; Jetzinger, H.: Das Pull-Prinzip der Validierung – Ein Referenzmodell zur effizienten Integration von Validierungsaktivitäten in den Produktentstehungsprozess. In: VDI Konstruktion (6/2015), S. 74–81, 2015.

Albers A. et al. 2016

Albers, A.; Behrendt, M.; Klingler, S.; Matros, K.: Verifikation und Validierung im Produktentstehungsprozess. In: Lindemann, U. (Hg.): Handbuch Produktentwicklung. München: Hanser, S. 541–569, 2016, ISBN: 978-3-446-44518-5.

Albers A. et al. 2016a

Albers, A.; Bursac, N.; Schmidt, S.; Reiss, N.: In den Kunden hineinversetzen – Wie in Entwicklungsprojekten die Kundenorientierung gesteigert werden kann. In: WiGeP News (1), S. 20–21, 2016.

Albers A. et al. 2016b

Albers, A.; Matthiesen, S.; Bursac, N.; Moeser, G.; Klingler, S.; Schmidt, S. et al.: Model-Based

Systems Engineering (MBSE) in der Karlsruher Schule: Fünf Jahre Forschung für die Anwendung.
In: develop³ systems engineering, Konradin Verlag, S. 28-32, 2016.

Albers A. et al. 2016c

Albers, A.; Bursac, N.; Rapp, S.: PGE – Produktgenerationsentwicklung am Beispiel des
Zweimassenschwungrads, Forschung im Ingenieurwesen, S. 13–31, 2017, DOI: 10.1007/s10010-
016-0210-0.

Albers A. / Zingel C. 2013

Albers, A.; Zingel, C.: Challenges of Model-Based Systems Engineering. A Study towards Unified
Term Understanding and the State of Usage of SysML. In: Smart Product Engineering:
Proceedings of the 23rd CIRP Design Conference: Abramovici, M. and Stark R., Berlin: Springer,
2013, ISBN: 978-3-642-30816-1.

Alt O. 2012

Alt, O.: Modellbasierte Systementwicklung mit SysML. München: Hanser, 2012, ISBN: 978-3-446-
43066-2.

Anderl R. et al. 2012

Anderl, R.; Eigner, M.; Sendler, U.; Stark, R. (Hg.): Smart Engineering. Interdisziplinäre
Produktentstehung (acatech DISKUSSION). Berlin: Springer Vieweg, 2012, ISBN: 978-3-642-
29372-6.

Armour F. / Miller G. 2001

Armour, F.; Miller, G.: Advanced use case modeling. Software systems. Boston: Addison-Wesley,
2001, ISBN: 978-0201615920.

Balzert, H 2009

Balzert, H: Lehrbuch der Softwaretechnik: Basiskonzepte und Requirements Engineering.
Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2009, ISBN 978-3-8274-2247-7.

Baumann R. 2017

Baumann, R.: Requirements Engineering. Wie User Stories Use Cases gebären, 2017, online
verfügbar unter: [http://easyrequirement.blogspot.de/2014/03/wie-user-stories-use-cases-
gebaren.html](http://easyrequirement.blogspot.de/2014/03/wie-user-stories-use-cases-gebaren.html), zuletzt aktualisiert am 21.02.2017, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Beck K. / Andres C. 2007

Beck, K.; Andres, C.: Extreme programming explained. Embrace change. Boston: Addison-Wesley,
2007, ISBN: 978-032-127865-4.

Becker F. 2017

Becker, F.: Ort der Untersuchung: Feldstudien und Laborstudien, 2017, online verfügbar unter:
<http://www.wpgs.de/content/view/357/242/>, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Beyer H. R. / Holtzblatt K. 1995

Beyer, H. R.; Holtzblatt, K.: Apprenticing with the customer. Communication of the ACM, 38(5),
S.45-52, 1995.

Booch G. et al. 2006

Booch, G.; Rumbaugh, J.; Jacobson, I.: Das UML Benutzerhandbuch. Aktuell zu Version 2.0. München: Addison Wesley in Pearson Education Deutschland, 2006, ISBN: 3827325706.

Bosch Professional 2017

Bosch Professional: Winkelschleifer & Metallbearbeitung, 2017, online verfügbar unter: <https://www.bosch-professional.com/de/de/winkelschleifer-metallbearbeitung-101272-ocs-c>, zuletzt aktualisiert am 20.08.2017, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Breitschuh J. / Albers A. 2014

Breitschuh, J.; Albers, A.: Teaching and Testing in Mechanical Engineering. In: Musekamp, F., Spöttl, G. und Becker, M. (Hg.): Kompetenz im Studium und in der Arbeitswelt. Nationale und internationale Ansätze zur Erfassung von Ingenieurkompetenzen. Competence in Higher Education and the Working Environment. National and International Approaches for Assessing Engineering Competence, Bd. 12. 1. Aufl. Frankfurt am Main, Bern, Bruxelles, New York, Oxford, Warszawa, Wien: Peter Lang (Berufliche Bildung in Forschung, Schule und Arbeitswelt / Vocational Education and Training: Research and Practice), S. 107–129, 2014, ISBN: 978-3-631-65104-9.

Burmester M. 2017

Burmester, M.: Design Thinking vs. Human-centred Design | UID User Interface Design, 2017, online verfügbar unter: <https://www.uid.com/de/aktuelles/hcd-design-thinking>, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Bursac N. 2016

Bursac, N.: Model Based Systems Engineering zur Unterstützung der Baukastenentwicklung im Kontext der Frühen Phase der Produktgenerationsentwicklung. In: IPEK -Forschungsberichte. Hrsg. Albers, A. Bd. 93. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie (KIT): IPEK - Institut für Produktentwicklung, 2016.

Carlson L. E. / Sullivan J. F. 1999

Carlson, L. E.; Sullivan, J. F.: Hands-on Engineering: Learning by Doing in the Integrated Teaching and Learning Program. In: International Journal of Engineering Education (15), S. 20–31, 1999.

Catic A. 2015

Catic, A., 2015: How to identify and capture actionable knowledge that can be reused immediately, online verfügbar unter: <http://www.projectvisit.org/wp-content/uploads/2015/05/Method-for-capturing-actionable-knowledge1.pdf>, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Cloutier R. / Bone M. 2010

Cloutier, R.; Bone, M.: Compilation of SysML Request for Information - Final Report. Hg. v. Stevens Institute of Technology und School of Systems and Enterprises, 2010.

Cockburn A. 1995

Cockburn, A.: Structuring use cases with goals, 1995, online verfügbar unter: <http://alistair.cockburn.us/Structuring+use+cases+with+goals> , zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Cockburn A. 2000

Cockburn, A.: Writing effective use cases. Boston: Addison-Wesley, 2000, ISBN: 978-0201702255.

Cockburn A. 2003

Cockburn, A.: Use Cases effektiv erstellen. das Fundament für gute Software-Entwicklung, Geschäftsprozesse mit Use Cases modellieren, die Regeln für Use Cases sicher beherrschen. Bonn: REDLINE, 2003, ISBN: 3826613449.

Courage C. & Baxter K. 2005

Courage, C.; Baxter, K.: Understanding your users. A practical guide to user requirements methods, tools, and techniques. Amsterdam, Boston: Morgan Kaufmann Publishers (Morgan Kaufmann series in interactive technologies), 2005, ISBN: 978-0-12-800232-2.

Cropley, A. J., 2008

Cropley, A. J.: Qualitative Forschungsmethoden: Eine praxisnahe Einführung. Magdeburg: Verlag Klotz GmbH, 2008.

Dispan J. 2016

Dispan, J.: Branchenanalyse Elektrowerkzeuge. Entwicklungstrends und Herausforderungen. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung, Nr. 343, 2016, ISBN: 978-3-86593-251-8.

Drechsler S. 2016

Drechsler S.: Kompetenzbedarfe von Maschinenbauingenieuren in Bezug auf Richtlinien, Normen und Standards zur Ausübung ihrer beruflichen Tätigkeit. In: IPEK -Forschungsberichte. Hrsg. Albers, A. Bd. 96. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie (KIT): IPEK - Institut für Produktentwicklung, 2016.

Duchowski A. T. 2009

Duchowski, A. T.: Eye tracking methodology. Theory and practice. London: Springer, 2009, ISBN: ISBN: 978-1-84628-609-4.

Ebel B. 2015

Ebel, B.: Modellierung von Zielsystemen in der interdisziplinären Produktentstehung. In: IPEK - Forschungsberichte. Hrsg. Albers, A. Bd. 85. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie (KIT): IPEK - Institut für Produktentwicklung, 2015.

Ebert C. 2014

Ebert, C.: Systematisches Requirements Engineering. Anforderungen ermitteln, spezifizieren, analysieren und verwalten. 5., überarb. Aufl. Heidelberg: dpunkt, 2014, ISBN: 9783864901393

Ehrlenspiel K. / Meerkamm H. 2016

Ehrlenspiel, K.; Meerkamm, H.: Integration Versus Spezialisierung: Von der Notwendigkeit einer ganzheitlichen Konstruktionsforschung und -lehre an Universitäten und Hochschulen. In: Konstruktion, Bd. 2/2016, S.70-73, 2016.

Eigner M. et al. 2012

Eigner, M.; Gilz, T.; Zafirov, R.: Interdisziplinäre Produktentwicklung - Modellbasiertes Systems

Engineering, 2012, In: PLMportal: Positionen aus Wirtschaft und Forschung, online verfügbar unter: <http://www.plmportal.org/de/forschung-detail/interdisziplinaere-produktentwicklung-modellbasiertes-systems-engineering.html>, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

DIN EN 62559-1

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V., 2015. DIN EN 62559-1:2015-07: Anwendungsfallmethodik - Teil 1: Konzept und Prozesse in der Normung, Beuth, 7/2015.

DIN EN ISO 26800

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V., 2011. DIN EN ISO 26800: Ergonomie – Genereller Ansatz, Prinzipien und Konzepte. Berlin: Beuth, 2011.

DIN EN ISO 9241-210

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V., 2011. DIN EN ISO 9241-210:2011-01: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (ISO 9241-210:2010); Deutsche Fassung EN ISO 9241-210:2010. Berlin: Beuth, 01/2011.

DIN EN 9241-11

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V., 1999. DIN EN 9241-11: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit - Leitsätze. Berlin: Beuth, 01/1999.

DIN EN ISO 6385

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V., 2006. DIN EN ISO 6385:2016-12: Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen. Berlin: Beuth, 06/2006.

Feldhusen J. et al. 2013

Feldhusen, J.; Pahl, G.; Beitz, W.; Schulz, H.-J.; Jarecki, U.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2013, ISBN: 978-3-642-29569-0.

Fichter K. 2005

Fichter, K.: Modelle der Nutzerintegration in den Innovationsprozess. Möglichkeiten und Grenzen der Integration von Verbrauchern in Innovationsprozesse für nachhaltige Produkte und Produktnutzungen in der Internetökonomie; [Anhang zum Schlussbericht Teil 1]. Berlin: IZT (Werkstattberichte / IZT, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, 75), 2005.

Fraunhofer Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM 2018

Fraunhofer Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM: Model-based Systems Engineering. Effizienzsteigerung durch MBSE, 2018, online verfügbar unter: https://www.iem.fraunhofer.de/content/dam/iem/de/documents/Leistungsangebote/Produktentstehung/WEB_LA_Mechatronische%20Systembeschreibung.pdf, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT 2017

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT: Stakeholder-Interaktionsanalyse. Mehr Nachhaltigkeit für Produkte und Produktion, 2017, online verfügbar

unter: <http://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/produkte/stakeholder-interaktionsanalyse.pdf>, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Friedenthal S. et al. 2008

Friedenthal, S.; Moore, A.; Steiner, R.: A practical guide to SysML: the systems modeling language. Hg. v. Friedenthal, S., Amsterdam: Elsevier, 2008, ISBN: 978-0123743794.

Frohnhoff S. et al. 2007

Frohnhoff, S.; Kehler, K.; Dumke, R.: Modellbezogene Use-Case-Identifikation für die UCP-basierte Aufwandsschätzung. Magdeburg: Universität Magdeburg Fakultät für Informatik, 2007.

Gausemeier J. et al. 2000

Gausemeier, J.; Lindemann, U.; Reinhart, G.; Wiendahl, H.: Kooperatives Produktengineering. Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens. Paderborn: HNI (HNI-Verlagsschriftenreihe, 79), 2000, ISBN: 3-931466-78-7.

Gausemeier J. et al. 2013

Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Steffen, D.; Czaja, A.; Wiederkehr, O.; Tschirner, C.: Systems Engineering in der industriellen Praxis. Heinz-Nixdorf-Institut, Universität Paderborn, Fraunhofer Institut für Produktionstechnologie IPT - Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik und UNITY AG. Paderborn, 2013.

Glende S. 2010

Glende, S.: Entwicklung eines Konzepts zur nutzergerechten Produktentwicklung - mit Fokus auf die „Generation Plus“. Hrsg. Friesdorf, W. Dissertation. Technische Universität Berlin, 2010.

Gloger B. / Margetich J. 2014

Gloger, B.; Margetich, J.: Das Scrum-Prinzip. Agile Organisationen aufbauen und gestalten. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2014, ISBN: 978-3791032894.

Gould J. D. / Lewis C. 1985

Gould, J. D.; Lewis, C.: Designing for usability. Key principles and what designers think. In: Communications of the ACM 28 (3), New York: ACM, S. 300–311, 1985. DOI: 10.1145/3166.3170.

Grande M. 2014

Grande, M.: 100 Minuten für Anforderungsmanagement. Kompaktes Wissen nicht nur für Projektleiter und Entwickler. 2., aktualisierte Auflage, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2014, ISBN: 978-3-8348-8135-9.

Großmann, L. 2013

Kooperatives Anforderungsmanagement in KMU: GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e.V., online verfügbar unter: <http://www.projektmanagement-im-maschinenbau.de/category/anforderungsmanagement/>, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Gudehus T. C. 2009

Gudehus, T. C.: Entwicklung eines Verfahrens zur ergonomischen Bewertung von

Montagetätigkeiten durch Motion-Capturing. Hrsg. Martin, H. Dissertation. Kassel: Kassel Univ. Press, 2009, ISBN: 978-3-89958-650-3.

Hauber R. 2007

Hauber, R.: From Use Cases to Test Cases. Step-by-step approach to ensure the quality of specifications and to derive test cases based on a use case model 2007, online verfügbar unter: http://mbse.gfse.de/documents/From%20Use%20Cases%20to%20Test%20Cases_20070116_1238_rudi_reviewed.pdf, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Herstatt C. 1991

Herstatt, C.: Anwender als Quelle für die Produktinnovation. Zürich: ADAG, 1991.

Hettinger T. / Wobbe G. 1993

Hettinger, T.; Wobbe, G. (Hg.): Kompendium der Arbeitswissenschaft. Optimierungsmöglichkeiten zur Arbeitsgestaltung und Arbeitsorganisation. Ludwigshafen (Rhein): Kiehl, 1993.

Hoffmann V. 2013

Hoffmann, V.: Rapid prototyping in der Use-Case-zentrierten Anforderungsanalyse. Hrsg. Riehle, D. Dissertation. RWTH Aachen, Aachen: Shaker, 2013.

Holmqvist K. et al. 2011

Holmqvist, K.; Nyström, M.; Andersson, R.: Eye Tracking. A comprehensive guide to methods and measures. Oxford: OUP Oxford 2011.

Hruschka P. et al. 2009

Hruschka, P.; Rupp, C.; Starke, G.: Agility kompakt. Tipps für erfolgreiche Systementwicklung. 2. Aufl. Heidelberg, Heidelberg: Spektrum Akad. Verl.; Springer (IT kompakt), 2009.

IFA 2016

IFA - Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung: Bewertung physischer Belastungen gemäß DGUV-Information 208-033 (bisher: BGI/GUV-I 7011) (Anhang 3), 2016.

INCOSE 2015

INCOSE: What is Systems Engineering? INCOSE - International Council on Systems Engineering, 2015, online verfügbar unter: <http://www.incose.org/AboutSE/WhatIsSE>, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

INCOSE Technical Operations 2013:

Systems Engineering Vision 2020, online verfügbar unter: http://www.incose.org/ProductsPubs/pdf/SEVision2020_20071003_v2_03.pdf, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

ISO/IEC 19505-2

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V., 2012. ISO/IEC 19505-2:2012-04: Informationstechnik - Object Management Group Unified Modeling Language (OMG UML) - Teil 2: Aufbau. Berlin: Beuth, 04/2012.

Jacobson I. 1998

Jacobson, I.: Object-oriented software engineering. A use case driven approach. Repr. Harlow: Addison-Wesley, 1998.

Jacobson I. et al. 2011

Jacobson, I.; Spence, I.; Bittner, K.: Use-Case 2.0. The Guide to Succeeding with Use Cases, 2011, online verfügbar unter: https://www.ivarjacobson.com/sites/default/files/field_iji_file/article/use-case_2_0_jan11.pdf, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Jakob N. 2002

Jakob, N.: Field Studies Done Right: Fast and Observational, 2002, online verfügbar unter: <https://www.nngroup.com/articles/field-studies-done-right-fast-and-observational/>, zuletzt aktualisiert am 07.10.2016, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Jordan F. / Vataman J. 2018

Jordan, F.; Vataman, J.: Hintergrundwissen: Erfolgsfaktoren auf Amazon - Marketplace Analytics, 2018, online verfügbar unter: <https://marketplace-analytics.de/blog-amazon-erfolgsfaktoren-verkaeufertipps>, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Kaffenberger R. et al. 2012

Kaffenberger, R.; Schulze, S.-O.; Weber, H. (Hg.): INCOSE Systems Engineering Handbuch. München: GfSE Verlag, 2012, ISBN: 978-1118999400.

Kelter U. 2013

Kelter, U.: Anwendungsfälle und Anwendungsfalldiagramme. 2013, online verfügbar unter: http://pi.informatik.uni-siegen.de/kelter/lehre/11w/lm/lm_afd_20030316_a5.pdf, zuletzt aktualisiert am 16.03.2003, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Kett S. et al. 2014

Kett, S.; Schröppel, T.; Wartzack, S.: Nutzerzentrierte Produktentwicklung durch systematische Integration von Marketingaspekten – ein erster Ansatz. In: Krause, D. (Hg.): Design for X. Beiträge zum 25. DfX-Symposium, Oktober 2014. Hamburg, Hamburg: TuTech Verlag, S. 249–260, 2014.

Klingler S. 2017

Klingler, S.: Eine Methode zur effizienten und effektiven Unterstützung der kontinuierlichen Validierung im Kontext der PGE - Produktgenerationsentwicklung. In: IPEK -Forschungsberichte. Hrsg. Albers, A. Bd. 101. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie (KIT): IPEK - Institut für Produktentwicklung, 2017.

Lettl C. 2004

Lettl, C.: Die Rolle von Anwendern bei hochgradigen Innovationen. Eine explorative Fallstudienanalyse in der Medizintechnik. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag (Forschungs- / Entwicklungs-/Innovations-Management), 2004.

Leutenecker B. et al. 2013

Leutenecker, B.; Meboldt, M.; Lohmeyer, Q.: Impart 'Design for Production' Knowledge by

Application of Functional Prototyping. In: Proceedings of the 15th International Conference on Engineering and Product Design Education, Dublin: Elsevier, S. 617-622, 2013.

Lindemann U. 2009

Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. 3., korrigierte Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch), 2009, ISBN: 978-3-642-01423-9.

Lindemann et al. 2009

Lindemann, U. ; Maurer, M. ; Braun, T.: Structural complexity management an approach for the field of product design. Berlin: Springer, 2009, ISBN 978-3-540-87889-6

Lindqvist B. / Skogsberg L. 2008

Lindqvist, B.; Skogsberg, L.: Ergonomie bei Handwerkzeugen. Beurteilung von Kraftwerkzeugen, Essen: Atlas-Copco, 2008, ISBN: 9163325802.

Lohmeyer Q. et al. 2013

Lohmeyer, Q.; Meboldt, M.; Matthiesen, S.: analyzing visual strategies of novice and experienced designers by eye tracking application. In: Proceedings International conference on engineering and product design education, Dublin, S. 202-207, 2013.

Lohmeyer Q. 2013

Lohmeyer, Q.: Menschzentrierte Modellierung von Produktentstehungssystemen unter besonderer Berücksichtigung der Synthese und Analyse dynamischer Zielsysteme. In: IPEK - Forschungsberichte. Hrsg. Albers, A. Bd. 59. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie (KIT): IPEK - Institut für Produktentwicklung, 2013.

Lohmeyer Q. et al. 2015

Lohmeyer, Q.; Mussgnug, M.; Meboldt, M.: Skimming and Scrutinizing: Quantifying Two Basic Patterns of Visual Behavior in Design. In: Chakrabarti, A. (Hg.): ICoRD'15 - Research into Design Across Boundaries Volume 1. Theory, Research Methodology, Aesthetics, Human Factors and Education, Bd. 34. New Delhi: Springer India, S. 479–489, 2015.

Mathiassen S. E. / Winkel J. 1991

Mathiassen, S. E.; Winkel, J.: Quantifying variation in physical load using exposure-vs-time data. In: Ergonomics 34 (12), S. 1455–1468, 1991, DOI: 10.1080/00140139108964889.

Matros K. et al. 2015

Matros, K.; Schille, F.; Behrendt, M.; Holzer, H.: Manöverbasierte Validierung von Hybridantrieben. In: ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift 117 (2), S. 64–71, 2015.

Matthiesen S. et al. 2013a

Matthiesen, S.; Mangold, S.; Klink, K.; Diez, A.: Untersuchung zum Ausbau von Problemlösekompetenz im ingenieurwissenschaftlichen Studium. In: Tangungsband TeachING-LearnING. Dortmund, S.77-86, 2013.

Matthiesen S. et al. 2013b

Matthiesen, S.; Schaefer, T.; Mangold, S.; Durow, W.: X-in-the-Loop in der Gerätebranche. Ein ganzheitliches Validierungsframework unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Anwender, Gerät und Anwendung. In: Dieter Spath, B. Bertsche und Fraunhofer IAO (Hg.). Stuttgart: Fraunhofer Verlag, S.1-10, 2013. ISBN: 978-383-96057-3-8.

Matthiesen S. et al. 2014a

Matthiesen, S.; Gwosch, T.; Mangold, S.: Eine Methode für eine Prüf- und Validierungsumgebung zur Komponentenuntersuchung handgehaltener Geräte in der Produktentwicklung. In: Rieg, F., Brökel, K., Feldhusen, J., Grote, K.-H. und Stelzer, R. (Hg.): 12. gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik, Bd. 12. Bayreuth, S. 51–61, 2014.

Matthiesen S. et al. 2014b

Matthiesen, S.; Schmidt, S.; Moeser, G.; Munker, F.: The Karlsruhe SysKIT Approach – A Three-Step SysML Teaching Approach for Mechatronic Students. In: Proceedings of the 24th CIRP Design Conference, S. 6, 2014.

Matthiesen S. et al. 2015a

Matthiesen, S.; Schmidt, S.; Ludwig, J.; Hohmann, S.: Iteratives Vorgehen in räumlich getrennten mechatronischen Entwicklungsteams – Das Wechselspiel von Synthese und testbasierter Analyse. In: Proceedings der VDI Mechatroniktagung, Dortmund, S. 137-142, 2015.

Matthiesen S. et al. 2015b

Matthiesen, S.; Mangold, S.; Bruchmueller, T.; Stelzer, D.; Truenkle, B.: The influence of the user on the power tool functionality – a force sensing handle for a hammer drill. In: Proceedings of the 13th International Conference on Hand-Arm Vibration, Beijing, S. 89–90, 2015.

Matthiesen S. et al. 2015c

Matthiesen, S.; Schaefer, T.; Schmidt, S.: Zielgerichtete und kundenorientierte Produktentwicklung – von der Anwendungsanalyse zur Validierung. In: Proceedings Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung, Stuttgart: Fraunhofer Verlag, S.1-10, 2015.

Matthiesen S. et al. 2015d

Matthiesen, S.; Mangold, S.; Schäfer, T. & Schmidt, S.: A method to develop hand-arm models for single impulse stimulation. In: Proceedings of the 13th International Conference on Hand-Arm Vibration, Beijing, S. 91–92, 2015.

Matthiesen S. et al. 2016a

Matthiesen, S.; Gwosch, T.; Schäfer, T.; Dültgen, P.; Pelshenke, C.; Gittel, H.-J.: Experimentelle Ermittlung von Bauteilbelastungen eines Power Tool Antriebsstrangs durch indirektes Messen in realitätsnahen Anwendungen als ein Baustein in der Teilsystemvalidierung. In: Forschung im Ingenieurwesen, Bd. 80, S. 17–27, 2016.

Matthiesen S. et al. 2016b

Matthiesen, S.; Albers, A.; Moeser, G.; Schmidt, S.; Bursac, N.: Model-Based Systems Engineering

(MBSE) in der Karlsruher Schule: Neue Lehrkonzepte für die Aus- und Weiterbildung im Bereich MBSE. In: *develop^3 systems engineering* (02/2016), S. 26–30, 2016.

Matthiesen S. et al. 2016c

Matthiesen, S.; Germann, R.; Schmidt, S.; Hölz, K.; Uhl, M.: Prozessmodell zur anwendungsorientierten Entwicklung von Power-Tools. Messtechnisch gestützt vom realen Nutzungsverhalten zu fundierten Entwicklungszielgrößen. In: Weidner, R. (Hg.): *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Zweite Transdisziplinäre Konferenz*. Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität, S. 223–232, 2016.

Matthiesen S. 2017

Matthiesen, S.: Gut konstruieren kann nur, wer die Details versteht. In: *Konstruktion*, Bd. 69, S.3, 2017.

Matthiesen S. et al. 2017a

Matthiesen, S.; Nelius, T.; Pflegler, B.; Gutmann, T.: Studiendesign zur Untersuchung der synthese-getriebenen Analyse von Konstrukteuren. In: *Proceedings 27. DfX-Symposium*, Hamburg: TuTech Verlag, S. 299-310, 2017.

Matthiesen S. et al. 2017b

Matthiesen, S.; Hölz, K.; Grauberger, P.: Systemverständnis durch Analysemethoden. In: *Proceedings 27. DfX-Symposium*, Hamburg: TuTech Verlag, 2017.

Matthiesen S. et al. 2017c

Matthiesen, S.; Mangold, S.; Bruchmueller, T.: The Influence of Varying Passive User Interactions on Power Tools in the Context of Product Development. In: *Forschung im Ingenieurwesen*, 2017.

Matthiesen S. et al. 2017d

Matthiesen, S.; Drechsler, S.; Bruchmüller, T.: Universitäre Ausbildung zum Konstrukteur im Kontext des industriellen Wandels. In: Hildebrandt, A. und Landhäußer, W. (Hg.): *CSR und Digitalisierung: Der digitale Wandel als Chance und Herausforderung für Wirtschaft und Gesellschaft*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 735–754 2017, ISBN: 978-3-662-53202-7.

Matthiesen S. et al. 2018a

Matthiesen, S.; Behrendt, M.; Gwosch, T.; Bruchmueller, T.; Schaefer, T.: IPEK-XiL-Ansatz und IPEK-XiL-Framework für Power-Tools, 2018, DOI: 10.5445/IR/1000080086.

Matthiesen S. et al. 2018b

Matthiesen, S.; Gwosch, T.; Gittel, H-J.: Schlussbericht zu IGF-Vorhaben Nr. 18196N – Entwicklung einer beanspruchungsidentischen Prüftechnik für Elektrowerkzeug-Komponenten [Zusammenfassung des Abschlussberichtes zum IGF-Vorhaben], Remscheid: FGW - Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe, 2018, KITopen ID: 1000071370.

Matthiesen S. / Germann R. 2017

Matthiesen, S.; Germann, R.: Ansatz zur objektiven und effizienten Erfassung der empfundenen

Anwendungseignung von Power-Tool. In: Roth, D. (Hg.): Proceedings Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung SSP, Stuttgart: Fraunhofer IAO, S.1-10, 2017.

Matzke P. 2017

Matzke, P.: IT-Trend Design Thinking: Was 2016 auf die CIO-Agenda gehört, 2017, online verfügbar unter: <http://www.cio.de/a/was-2016-auf-die-cio-agenda-gehoert,3250760>, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Mayer, H. O., 2009

Mayer, H. O.: Interview und schriftliche Befragung: Entwicklung, Durchführung, Auswertung. München: Oldenburg Verlag. 2009, ISBN: 3486590707.

microTOOL GmbH 2018

microTOOL GmbH: Das Use Case Handbuch, 2018, online verfügbar unter: <https://www.microtool.de/downloads/das-use-case-handbuch/>, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Moser C. 2012

Moser, C.: User Experience Design. Mit erlebniszentrierter Softwareentwicklung zu Produkten, die begeistern. Berlin Heidelberg: Springer, 2012.

Müller-Glaser K. D. 1997

Müller-Glaser, K. D.: Moderner Entwurf von Mikrosystemen. In: e&i Elektrotechnik und Informationstechnik. Bd. 114, S. 475–482, Vienna: Springer, 1997.

Mussnug M. 2017

Mussnug, M.: mobile eye tracking in usability testing of tangible products. Hrsg. Meboldt, M. Dissertation. ETH Zurich: pd|z Product Development Group Zurich, 2017.

Nickl M. 2009

Nickl, M.: Marken - Herausforderung für die Technische Dokumentation. In: Janich, N. (Hg.): Marke und Gesellschaft: Markenkommunikation im Spannungsfeld von Werbung und Public Relations. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 163–178, 2009.

Noraxon U.S.A. Inc. 2018

Noraxon U.S.A. Inc.: 3D Motion Capture, 2018, online verfügbar unter: <http://www.noraxon.com/products/3d-motion-capture/>, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Object Management Group 2018

Object Management Group: UML 2.0 Unified Modeling Language: Superstructure, 2018, online verfügbar unter: <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?formal/05-07-04>, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

OMG 2015

SysML Specification. Systems Modeling Language (OMG SysML). Version 1.4, 2015, online verfügbar unter: <http://www.omg.org/spec/SysML/1.3/PDF>, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

oose Innovative Informatik 2017

oose Innovative Informatik: Der eigentliche Unterschied zwischen SysML und UML, 2017, online

verfügbar unter: https://www.oose.de/blogpost/der-eigentliche-unterschied-zwischen-sysml-und-uml/#_ftnref2, zuletzt aktualisiert am 27.04.2017, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Petzold K. 2015

Petzold, K.: Systems Engineering - Chancen und Potentiale. In: VDI Technik in Bayern 06/2015, S. 8-9, 2015.

Plattner H. et al. 2016

Plattner, H.; Meinel, C.; Leifer, L.: Design Thinking Research. Taking Breakthrough Innovation Home (Understanding Innovation), Cham: Springer, 2016, ISBN: 978-3-319-40382-3.

Pohl K. / Rupp C. 2011

Pohl, K.; Rupp, C.: Basiswissen Requirements Engineering. Aus- und Weiterbildung zum „Certified Professional for Requirements Engineering“; Foundation Level nach IREB-Standard. 3., korrigierte Aufl. Heidelberg: Dpunkt-Verl., 2011.

Rachmann A. et al. 2014

Rachmann, A.; Valentini, U.; Weissbach, R.: Tutorium Use Cases 2.0, 2014, online verfügbar unter: <http://docplayer.org/10748602-Tutorium-use-cases-2-0-im-rahmen-der-konferenz-modellierung-2014-in-wien.html>, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Reinicke T. 2004

Reinicke, T.: Möglichkeiten und Grenzen der Nutzerintegration in der Produktentwicklung. Hrsg. Blessing, L. Dissertation. Technische Universität Berlin, 2004.

Richter M. / Flückiger M. D. 2013

Richter, M.; Flückiger, M. D.: Usability Engineering kompakt. Benutzbare Produkte gezielt entwickeln. 3. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg: Springer (IT kompakt), 2013.

Ringshandl T. 2016

Ringshandl, T.: Prozessmodellierung zur Hybridfahrzeugentwicklung auf dem Akustikrollenprüfstand auf Basis des integrierten Produktentstehungsmodells (iPeM). Betreuer: Albers, A., Co-Betreuer: Schille, F. Bd. 3106, 2016.

Robert Bosch GmbH 2017

Robert Bosch GmbH: Bosch Fachpressekonferenz Gartenwerkzeuge, 2017., online verfügbar unter: <http://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/fachpressekonferenz-gartenwerkzeuge-2016-45890.html>, zuletzt aktualisiert am 02.03.2017, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Ropohl G. 2009

Ropohl, G.: Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik: Universitätsverlag Karlsruhe: Karlsruhe, 2009, ISBN: 9783866443747.

Ruckpaul A. 2017

Ruckpaul, A.: Synthese-getriebene Analyse technischer Systeme in der Produktentwicklung. Ein Beitrag zum Messen und Verstehen von Analyseprozessen während der Konstruktion unter

Einsatz von Eye Tracking. In: IPEK -Forschungsberichte. Hrsg. Matthiesen, S. Bd. 105.
Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie (KIT): IPEK – Institut für Produktentwicklung, 2017.

Rudolph R. 2016

Rudolph, R.: Positionspapier der schweizerischen Maschinen-, Elektro- und Metall-Industrie,
Zürich: swissmem, 2016.

Rupp, C.; Queins, S. 2015

Rupp, C.; Queins, S. Vom Use-Case zum Test-Case - strategische Partner für Ihren Projekterfolg.
2015, online verfügbar unter:
[https://www.sophist.de/fileadmin/SOPHIST/Publikationen/re6/Kapitel_09/
Vom_Use-Case_zum_Test-Case_-_10.09.2014.pdf](https://www.sophist.de/fileadmin/SOPHIST/Publikationen/re6/Kapitel_09/Vom_Use-Case_zum_Test-Case_-_10.09.2014.pdf), zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Rupp C. / Sophisten 2014

Rupp, C.; Sophisten: Requirements-Engineering und -Management. Aus der Praxis von klassisch
bis agil. 6., aktual. u. erw. Aufl. München: Hanser, 2014, ISBN: 9783446438934.

Scherbaum, S. / Rudolf, M. 2018

Scherbaum, S.; Rudolf, M.: Methoden der Psychologie und Versuchsplanung, 2018, online
verfügbar unter: <http://versuch.file2.wcms.tu-dresden.de/w/index.php/Validit%C3%A4t>, zuletzt
geprüft am 28.01.2018.

Schelle H. et al. 2005

Schelle, H.; Ottmann, R.; Pfeiffer, A.: ProjektManager. 2. Aufl. Nürnberg: GPM Dt. Ges. für
Projektmanagement, 2005, ISBN: 3924841268.

Scherer H. 2016

Scherer, H.: Modellbasierte Methoden zur Modellierung des Zielsystems und des Funktions-
Gestalt-Zusammenhangs zur Unterstützung der Serienentwicklung von Baukästen am Beispiel von
Hybrid-Triebstrangsystemen. In: IPEK -Forschungsberichte. Hrsg. Albers, A. Bd. 94. Dissertation.
Karlsruher Institut für Technologie (KIT): IPEK – Institut für Produktentwicklung, 2016.

Schlick C. M. et al. 2010

Schlick, C. M.; Luczak, H.; Bruder, R.: Arbeitswissenschaft. Heidelberg: Springer, 2010, ISBN: 978-
3-540-78333-6.

Schmidt S. et al. 2015

Schmidt, S.; Hölz, K.; Matthiesen, S.: Use case detailing levels – Anwendungsfallmodellierung zur
Unterstützung der Entwicklung handgehaltener Geräte. In: Proceedings 26. DfX-Symposium.
Herrsching, Hamburg: TuTech Verlag, S. 39-50, 2015, ISBN: 978-3-941492-93-6.

Schmidtke H. et al. 1989

Schmidtke, H.; Groner, P.: Handbuch der Ergonomie. HdE, mit ergonomischen
Konstruktionsrichtlinien. München: Hanser, 1989, ISBN: 978-3-927038-70-7.

Schmitt H. / Heß A. 2014

Schmitt, H.; Heß, A.: Ergebnisbericht-Use-Cases-in-der-Praxis.pdf, 2014, online verfügbar unter:

<http://www.hk-bs.de/Presse/wp-content/uploads/2014/03/Ergebnisbericht-Use-Cases-in-der-Praxis.pdf>, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Schneider J. H. 2010

Schneider, J. H.: Modellierung und Erkennung von Fahrsituationen und Fahrmanövern für sicherheitsrelevante Fahrerassistenzsysteme. Hrsg. Protzel, P. Dissertation. Technische Universität Chemnitz, Chemnitz: Univ.-Verl., 2010.

Sikora E. 2011

Sikora, E.: Ein modellbasierter Ansatz zur verzahnten Entwicklung von Anforderungen und Architektur über mehrere Abstraktionsstufen hinweg. Hrsg. Pohl, K. Dissertation. Universität Duisburg-Essen, Berlin: Logos-Verlag, 2011, ISBN: 978-3-8325-2762-4.

Sindre G. / Opdahl A. L. 2001

Sindre, G.; Opdahl, A. L.: Capturing security requirements through misuse cases, 2001, online verfügbar unter: <http://hjem.ifi.uio.no/nik/2001/21-sindre.pdf>, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

SparxSystems Software GmbH 2015

SparxSystems Software GmbH: Anwendungsfalldiagramm, 2015, online verfügbar unter: <http://www.sparxsystems.de/ressourcen/literatur/leseprobe-zu-projektentwicklung-mit-uml-und-enterprise-architect/anwendungsfalldiagramm-use-case-diagram/>, zuletzt aktualisiert am 13.11.2015, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Springer Fachmedien Wiesbaden 2014

Springer Fachmedien Wiesbaden: Gabler Wirtschaftslexikon. 18., aktualisierte und erw. Aufl. Wiesbaden: Springer, 2014.

Stapleton, T. 2005

Stapleton, T.: Understanding Stakeholders. In: The context of Management. Open University, Milton Keynes, 2005.

Staud J. L. 2010

Staud, J. L.: Unternehmensmodellierung. Objektorientierte Theorie und Praxis mit UML 2.0. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010, ISBN: 978-3-642-04412-0.

STIHL 2017

STIHL: Trennschleifer, 2017, online verfügbar unter: <http://www.stihl.de/STIHL-Produkte/Gesteinschneider-und-Trennschleifer/0510/Trennschleifer.aspx>, zuletzt aktualisiert am 18.08.2017, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Tavory S. S. 2010

Tavory, S. S.: Effective use of MBSE, 2010, online verfügbar unter: <http://www.gordon-se.technion.ac.il/files/2012/05/Research-Summary-v8.pdf>, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Türk D. et al. 2014

Türk, D.; Leutenecker, B.; Meboldt, M.: Experience the Relevance of Testing in Engineering Design

Education. In: Proceedings of the 10th International CDIO Conference, Barcelona, Spain, S.76-77, 2014.

Usability in Germany (UIG) e.V. 2013

Usability in Germany (UIG) e.V.: User-Centered Design, 2013, online verfügbar unter: <https://www.usability-in-germany.de/definition/user-centered-design-213>, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Urbas L. / Ziegler J. 2012

Urbas L.; Ziegler J.: Gebrauchstauglichkeit. VL MMS Wintersemester 2012/13, 2012, online verfügbar unter: http://www.et.tu-dresden.de/ifa/uploads/media/MMST_006-Gebrauchstauglichkeit.pdf, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

VDI 2221

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 1993. VDI 2221:1993-05: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Berlin: Beuth, 05/1993.

VDI 2206

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 2004. VDI 2206-2004-06: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Berlin: Beuth, 04/2004.

VICON 2017

VICON: Motion Capture Systems, 2017, online verfügbar unter: www.vicon.com, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Walter B. et al. 2016

Walter, B.; Albers, A.; Haupt, F.; Bursac, N.: Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor - Kontipierung und Implementierung eines Live-Lab. In: Kraus, D. und Dieter Krause, K. Paetzold (Hg.): 27. DfX-Symposium 2016, Hamburg: TuTech Verlag, S. 283–295, 2016.

Weilkiens T. 2014

Weilkiens, T.: Systems Engineering mit SysML/UML: Modellierung, Analyse, Design. 3., überarb. und aktualisierte Aufl. Heidelberg: dpunkt.verl., 2014, ISBN: 978-3-86490-091-4.

Xsens Technologies B.V. 2018

Xsens Technologies B.V.: Homepage Xsens 3D motion tracking, 2018, online verfügbar unter: <https://www.xsens.com/>, zuletzt geprüft am 28.01.2018.

Zingel C. 2017

Zingel, A.: 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 des ZHO-Prinzips. In: IPEK - Forschungsberichte. Hrsg. Albers, A. Bd. 70. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie (KIT): IPEK – Institut für Produktentwicklung, 2013.

Zehnter C. et al. 2012

Zehnter, C.; Burger, A.; Ovtcharova, J.: Key-Performance-Analyse von Methoden des Anforderungsmanagements. Bd. 7620. Karlsruhe:KIT Scientific Publishing, 2012.

Zomotor A. 1991

Zomotor, A.: Fahrwerktechnik. Fahrverhalten. 2. Aufl. Würzburg: Vogel, 1991, ISBN: 978-3802307744.

12 Betreute Abschlussarbeiten

Brunke, T. 2016

Brunke, T.: Inbetriebnahme eines Motion Capturing Systems und Entwicklung einer zugehörigen Schulungsunterlage. In: IPEK - Abschlussarbeiten: betreute Bachelorarbeit. Bd. 3187. Betreuer: Matthiesen, S., Co-Betreuer: Schmidt, S., Karlsruher Institut für Technologie (KIT): IPEK - Institut für Produktentwicklung, 2016.

Göring, M. 2014

Göring, M.: Entwicklung von Zusatzanwendungen für Blas-, Saug- & Sprühgeräte unter Verwendung allgemeiner Anwendungsfallbeschreibungen (Freigegebene Version). In: IPEK - Abschlussarbeiten: betreute Masterarbeit. Bd. 2799. Betreuer: Matthiesen, S., Co-Betreuer: Schmidt, S.; Stark, T., Karlsruher Institut für Technologie (KIT): IPEK - Institut für Produktentwicklung, 2014.

Hantl, A. 2014

Hantl, A.: Entwicklung eines Notwasserungssystems für bemannte Flugobjekte der UL-Klasse – Systemmodellierung mit SysML. In: IPEK - Abschlussarbeiten: betreute Wissenschaftliche Arbeit. Bd. 2741. Betreuer: Matthiesen, S., Co-Betreuer: Schmidt, S., Karlsruher Institut für Technologie (KIT): IPEK - Institut für Produktentwicklung, 2014.

Hölz, K. 2016

Hölz, K.: Weiterentwicklung von Methoden zur Bewertung und Gewichtung des Nutzungsverhaltens und Durchführung einer Feldstudie mit Winkelschleifern. In: IPEK - Abschlussarbeiten: betreute Masterarbeit. Bd. 3125. Betreuer: Matthiesen, S., Co-Betreuer: Schmidt, S., Karlsruher Institut für Technologie (KIT): IPEK - Institut für Produktentwicklung, 2016.

Janik, M. 2017

Janik, M.: Weiterentwicklung von Methoden zur Bewertung und Gewichtung des Nutzungsverhaltens und Durchführung einer Feldstudie mit Winkelschleifer. In: IPEK - Abschlussarbeiten: betreute Bachelorarbeit. Bd. 3328. Betreuer: Matthiesen, S., Co-Betreuer: Schmidt, S.; Mößinger, F., Karlsruher Institut für Technologie (KIT): IPEK - Institut für Produktentwicklung, 2017.

Kempf, D. 2016

Kempf, D.: Entwicklung eines Workshopkonzepts zur Durchführung der Anwendungsfallmodellierung handgehaltener Geräte. In: IPEK - Abschlussarbeiten: betreute Bachelorarbeit. Bd. 3188. Betreuer: Matthiesen, S., Co-Betreuer: Schmidt, S., Karlsruher Institut für Technologie (KIT): IPEK - Institut für Produktentwicklung, 2016.

Langhammer, P. 2016

Langhammer, P.: Anwendungsfallmodellierung von handgehaltenen Geräten am Beispiel der Optimierung eines Griffsystems (Freigegebene Version). In: IPEK - Abschlussarbeiten: betreute Bachelorarbeit. Bd. 3186. Betreuer: Matthiesen, S., Co-Betreuer: Schmidt, S., Karlsruher Institut für Technologie (KIT): IPEK - Institut für Produktentwicklung, 2016.

13 Abbildungsverzeichnis

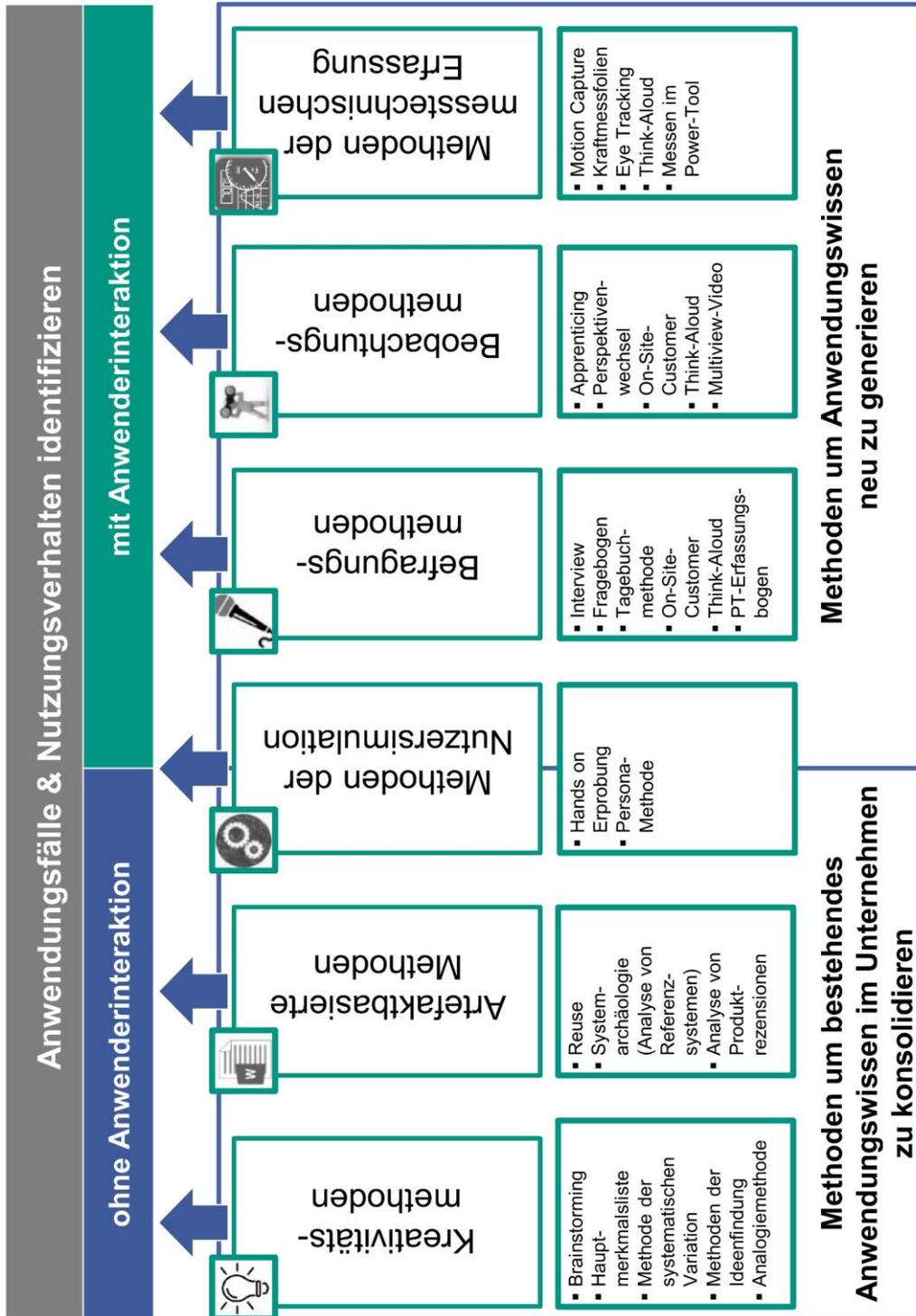
Abbildung 1-1: Schemadarstellung - vom realen Nutzungsverhalten zur Validierung	2
Abbildung 1-2: Aufbau und Struktur der Arbeit	5
Abbildung 2-1: Produktentstehung als Teil des Produktlebenszyklus	9
Abbildung 2-2: Anwendungsfallmodell	15
Abbildung 2-3: Grundelemente eines Anwendungsfall-Diagramms	16
Abbildung 2-4: Modellierungsansätze Top-Down und Bottom-up	17
Abbildung 2-5: Anwendungsfall-Template	18
Abbildung 2-6: Unterschiedlich detailliert ausgearbeitete Anwendungsfallschablone	19
Abbildung 2-7: Anwendungsfall-Dimensionen Design-Umfang und Zielebene	23
Abbildung 2-8: Anwendungsfall-Ebenen am Beispiel Schlosserei	25
Abbildung 2-9: schematische Darstellung eines Anwendungsfalls	26
Abbildung 2-10: Prozess des Human-Centered Design (HCD)	32
Abbildung 2-11: 6 Phasen des Design Thinking	34
Abbildung 2-12: Anwendertypen von Power-Tools	36
Abbildung 2-13: das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept	37
Abbildung 2-14: Unterscheidung zwischen Usability und User Experience	38
Abbildung 2-15: Gelenkkomfortbereiche verschiedener Gelenke	39
Abbildung 2-16: IPEK-X-in-the-Loop (XiL)-Ansatz	41
Abbildung 2-17: IPEK-X-in-the-Loop-Framework am Beispiel der Power-Tool Entwicklung	43
Abbildung 2-18: beispielhafter Auszug aus einem Manöverkatalog	45
Abbildung 2-19: Methoden der Anforderungsermittlung	49
Abbildung 2-20: Methoden für einen Perspektivenwechsel	55
Abbildung 2-21: Motion Capturing System MVN BIOMECH Awinda von xsens	58
Abbildung 2-22: novel Kraftmesshandschuh und xsens Motion Capturing	60
Abbildung 2-23: Eye-Tracking in der Anwendung:	62
Abbildung 2-24: Sensorgeräte - Messtechnik für das Messen in der Anwendung	64
Abbildung 4-1: Vorgehensweise im Kontext der vorliegenden Arbeit	74
Abbildung 5-1: Themenblöcke des Interviewleitfadens	77
Abbildung 5-2: Kunden-/Anwendereinbindung in der Produktentwicklung	78
Abbildung 5-3: Aktivitäten zur Erfassung der Kundenanforderungen	79
Abbildung 5-4: Verteilung der Herausforderungen bei Erhebung der Kundenanforderungen	80
Abbildung 5-5: Portfolio-Darstellung über die Verteilung des Wissensdefizite	81
Abbildung 5-6: Verteilung der Aktivitäten zur Dokumentation von Anwendungsstudien	82
Abbildung 6-1: Beschreibung von Anwendungsfällen und Nutzungsverhalten	88
Abbildung 6-2: Zusammenhang von Nutzungsverhalten, Anwendungsfällen und Testfällen	88
Abbildung 6-3: Unterschiede der Modellierungsansätze	90
Abbildung 6-4: Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (initiale Version)	91
Abbildung 7-1: Bestandteile eines Freischneiders und Tragesystem	95
Abbildung 7-2: eingesetzte Messtechnik in der Studie Freischneider	97

Abbildung 7-3: ausgewählte Stationen der Anwendungsstudie	98
Abbildung 7-4: Dokumentation des Nutzungsverhaltens am Beispiel Mähen an der Autobahn.....	99
Abbildung 7-5: häufige Anwendungsfälle mit typischen Bewegungsformen.....	100
Abbildung 7-6: Analyse der Messdaten durch Abgleich mit dem zeitsynchronen Video	101
Abbildung 7-7: Kräfte am rechten Handgriff bei zwei unterschiedlichen Anwendungen	102
Abbildung 7-8: Gegenüberstellung ausgewählter Gelenkwinkel	103
Abbildung 8-1: Methodik der erweiterten Anwendungsfallmodellierung (e-AFM)	108
Abbildung 8-2: Phase Anwendungsfall-Analyse mit Aktivitäten und Methoden.....	109
Abbildung 8-3: Systemgrenze und Kontextgrenze eines Power-Tools.....	111
Abbildung 8-4: Systemkontext-Diagramm eines Bolzensetzgerätes GX120	113
Abbildung 8-5: Stakeholder-Diagramm eines Bolzensetzgerätes.....	114
Abbildung 8-6: PT-Persona Freischneider-Anwender – „Dieter Dauermäher“	117
Abbildung 8-7: PT-Persona Freischneider-Anwender – „Fernando Feuerwald“	118
Abbildung 8-8: PT-Methodenübersicht zur Identifikation von Anwendungsfällen	119
Abbildung 8-9: Anwendungsfälle eines Bolzensetzgerätes	121
Abbildung 8-10: Phase Nutzungs-Analyse mit Aktivitäten und Methoden	123
Abbildung 8-11: PT-Methodenübersicht zur Identifikation des Nutzungsverhaltens	124
Abbildung 8-12: Multiview-Video aus vier Perspektiven	126
Abbildung 8-13: Aufbau des PT-Erfassungsbogen	127
Abbildung 8-14: Messtechnik für das Messen in der Anwendung	128
Abbildung 8-15: Synchronisation durch Klatschen des Anwenders.....	130
Abbildung 8-16: Schema zur Synchronisation der Messsignale	130
Abbildung 8-17: PT-Dokumentations-Template Teil 1/2	132
Abbildung 8-18: PT-Dokumentations-Template Teil 2/2	133
Abbildung 8-19: Gelenkkomfortbereich (links), farblich kodierte Messdaten (rechts).....	134
Abbildung 8-20: Exposure Variation Analysis	135
Abbildung 8-21: Komfort-Häufigkeits-Darstellung	136
Abbildung 8-22: Startmenü der Analyse-GUI	137
Abbildung 8-23: Gelenkwinkel Schulter.....	138
Abbildung 8-24: Gelenkwinkel Ellenbogen.....	139
Abbildung 8-25: Gelenkwinkel Handgelenk.....	139
Abbildung 8-26: Gelenkwinkel Wirbelsäule	140
Abbildung 8-27: GUI „Video und Gelenkwinkel“	141
Abbildung 8-28: dreidimensionale Positionsanalyse.....	142
Abbildung 8-29: Phase Anwendungsfallmodellierung mit Aktivitäten und Methoden	144
Abbildung 8-30: Anwendungsfalltemplate für Blasgeräte	145
Abbildung 8-31: PT-Anwendungsfall-Template 1/3.....	146
Abbildung 8-32: PT-Anwendungsfall-Template 2/3.....	146
Abbildung 8-33: PT-Anwendungsfall-Template 3/3.....	147
Abbildung 8-34: Detaillierungsebenen von Anwendungsfällen	148
Abbildung 8-35: Vernetzung des Nutzungsverhalten mit Anwendungsfällen	149

Abbildung 8-36: Vernetzungsmöglichkeiten des Nutzungsverhalten mit Anwendungsfällen	151
Abbildung 8-37: Methodik inklusive den Aktivitäten und den entwickelten Methoden	157
Abbildung 9-1: System Winkelschleifer und Werkzeuge	160
Abbildung 9-2: Systemgrenze und Kontextgrenze eines Winkelschleifers	161
Abbildung 9-3: Systemkontext eines Winkelschleifers	162
Abbildung 9-4: Anwenderbranchen von Winkelschleifern	163
Abbildung 9-5: Anwendungsfälle eines Winkelschleifers	164
Abbildung 9-6: textuelle Beschreibung des Anwendungsfalls.....	164
Abbildung 9-7: Multiview-Video aus 4 Perspektiven:	165
Abbildung 9-8: variierende Führungspositionen der linken Hand	166
Abbildung 9-9: Analyse der Gelenkwinkel beim Arbeiten mit einem Winkelschleifer	167
Abbildung 9-10: Beispielsysteme des Workshops	170
Abbildung Anhang-1: PT-Systemkontext-Template	206
Abbildung Anhang-2: PT-Stakeholder-Vorlage	207
Abbildung Anhang-3: Power-Tool-Persona-Vorlage leer	208
Abbildung Anhang-4: Power-Tool-Persona-Vorlage ausgefüllt für Brandprävention.....	209
Abbildung Anhang-5: Power-Tool-Persona-Vorlage ausgefüllt für kommunalen Anwender	210
Abbildung Anhang-6: PT-Anwendungsfall-Vorlage.....	211
Abbildung Anhang-7: Ergebnisse aus den Fallbeispielen.....	224
Abbildung Anhang-8: Ergebnisse der Umfrage nach dem Methodenworkshop	225
Abbildung Anhang-9: Ordnerstruktur Hauptordner	226
Abbildung Anhang-10: Ordnerstruktur Unterordner	226
Abbildung Anhang-11: Datenstruktur und Benennung für die Datenaufbereitung.....	227
Abbildung Anhang-12: Datenstruktur final.....	227
Abbildung Anhang-13: AAA_main_AnalyseGUI_import_xsens.m.....	228
Abbildung Anhang-14: AAA_main_AnalyseGUI_import_sync_puls_drehzahl.m	228

14Anhang

14.1 Methodenübersicht zur Identifikation von Anwendungsfällen und des Nutzungsverhaltens³⁵⁵



³⁵⁵ Bildquelle: in Anlehnung an Zehnter, C. et al. 2012 vgl. Matthiesen, S. et al. 2016c

14.2 Leitfaden für Experten-Interviews



Experteninterview:

Datum: _____ Experten-Nr.: _____

Ziel: Umfrage zur Kunden-/Anwendereinbindung in der Entwicklung von Power-Tools und Analyse zur Identifikation und Dokumentation des Nutzungsverhalten.

Als Nutzungsverhalten werden alle Handlungen oder Tätigkeiten verstanden, wie ein System (z.B. Power-Tool) genutzt werden kann.

Alle Antworten aus dem Interview werden **anonymisiert** (sowohl Person als auch Unternehmen) und **vertraulich behandelt**. Die Ergebnisse werden im Rahmen einer Dissertation veröffentlicht und sollen als Motivation für ein öffentlich gefördertes Projekt (BMBF, FGW) dienen.

Falls Sie Interesse an der Mitarbeit an einem solchen Projekt haben, sprechen Sie das IPEK gerne an.

1. Was ist Ihr Aufgabenbereich im Unternehmen?

Ingenieur / Entwickler	<input type="checkbox"/>
Erprober / Test-Ingenieur	<input type="checkbox"/>
Führungskraft	<input type="checkbox"/>
Weitere:	<input type="checkbox"/>

2. Binden Sie Ihren Kunden/Anwender in den folgenden Aktivitäten ein?

Anforderungsermittlung	<input type="checkbox"/>
Generierung von Ideen & Konzepten	<input type="checkbox"/>
Entwicklung und Konstruktion	<input type="checkbox"/>
Lebensdauertest, Dauererprobung	<input type="checkbox"/>
Kundenakzeptanztests	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>

3. Wie berücksichtigen Sie bei der Entwicklung Ihrer Produkte, wie der Anwender Ihr Produkt nutzt?

4. Wünschen Sie sich mehr Informationen über ...

	Quantität		
	weniger	neutral	mehr
... Ihren Kunden (Käufer)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... Ihren Anwender (Benutzer)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... die Anwendung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... die Arbeitsweise	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... Umgebungs- /Randbedingungen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

5. Wünschen Sie sich detailliertere/qualitativ hochwertigere Informationen über ...

	Qualität		
	weniger detailliert	neutral	mehr detailliert
... Ihren Kunden (Käufer)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... Ihren Anwender (Benutzer)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... die Anwendung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... die Arbeitsweise	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... Umgebungs- /Randbedingungen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6. Wie wichtig sind für Sie die folgenden Aktivitäten zur Erfassung von Kundenanforderungen?

	nicht wichtig	wenig	stark	sehr wichtig	k.A:
Nutzersimulation z.B. in den Anwender versetzen, hands on Erprobung	<input type="radio"/>				
Recherchierende Methoden z.B: Analyse von Referenz- / Vorgängersystemen	<input type="radio"/>				
Beobachtung	<input type="radio"/>				
Befragung	<input type="radio"/>				
Messtechnische Erfassung	<input type="radio"/>				
Analyse von Reparaturrückläufern	<input type="radio"/>				
Studien im Feld (reale Umgebung)	<input type="radio"/>				
Studien im Labor (geschützte Umgebung)	<input type="radio"/>				
	<input type="radio"/>				

7. Was sehen Sie als Herausforderung bei der Erfassung von Kundenanforderungen?

	Keine	geringe	mittel-mäßig	große	k.A.
hohe Kosten	<input type="radio"/>				
hoher Aufwand	<input type="radio"/>				
Zugänglichkeit der Probanden	<input type="radio"/>				
Verfügbarkeit der Probanden	<input type="radio"/>				
Bereitschaft der Probanden	<input type="radio"/>				
Messen in der Anwendung	<input type="radio"/>				
Unvorhersehbare Anwendungen	<input type="radio"/>				
	<input type="radio"/>				
	<input type="radio"/>				

8. A) Wenn Sie das Nutzungsverhalten ermitteln (z.B. Beobachtung eines Anwenders bei einer gewissen Tätigkeit), wie dokumentieren Sie die Informationen?

	nicht	gelegentlich	immer
Foto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Video-Kamera	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Motion Capturing	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eye Tracking	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Skizzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
textuelle Beschreibung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
prozessuale Beschreibung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Messdaten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9. Mit welcher Software wird das Nutzungsverhalten aktuell dokumentiert?

MS Word	<input type="checkbox"/>
MS Excel	<input type="checkbox"/>
MS PowerPoint	<input type="checkbox"/>
Matlab	<input type="checkbox"/>
Wiki	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>

10. Welche Anforderungen an eine Dokumentation haben Sie?

	gar nicht	wenig	mittel- mäßig	stark	Sehr intensiv	k.A.
einfach & schnell editierbar	<input type="radio"/>					
einfache & schnelle Zugänglichkeit	<input type="radio"/>					
automatisiert/teilautomatisiert	<input type="radio"/>					
Synchronisierte Messdaten	<input type="radio"/>					
	<input type="radio"/>					
	<input type="radio"/>					
	<input type="radio"/>					

11. Welche Herausforderungen treten bei der Aufbereitung der Informationen auf?

12. Wie werden die identifizierten/dokumentierten Informationen im Unternehmen weiter genutzt?

13. Glauben Sie, dass durch die folgenden Methoden der Prozess und das Verständnis über die reale Verwendung des Produkt effizienter gestaltet werden kann?

...synchronisierte Messwerte	<input type="checkbox"/>
... Kopplung von Video und Messdaten	<input type="checkbox"/>
... Bewegungen und Gelenkwinkel des Anwenders	<input type="checkbox"/>
... mehrere Perspektiven (2x2 Video)	<input type="checkbox"/>
... Dokumentations-Vorlage	<input type="checkbox"/>
... Gelenkwinkel-Häufigkeits-Darstellung	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>

Vielen Dank für Ihre Teilnahme an dieser Studie.

Haben Sie Interesse über neue Entwicklungen im Feld der Anwendungsfallmodellierung informiert zu werden? Wir halten Sie gerne auf dem Laufenden.



Abbildung 1: Anwendungsstudie und eingesetzte Messtechnik

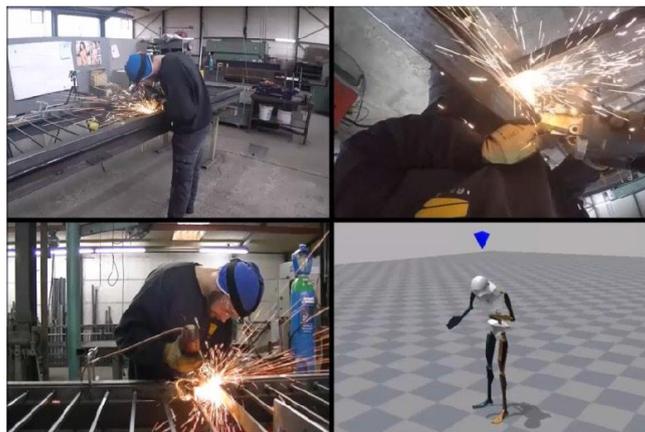


Abbildung 2: Videoerfassung aus mehrere Perspektiven (2x2 Video)

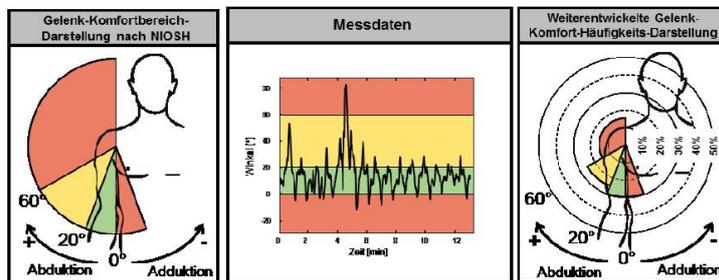


Abbildung 3: Gelenkwinkel-Häufigkeits-Darstellung

14.3 PT-Systemkontext-Template

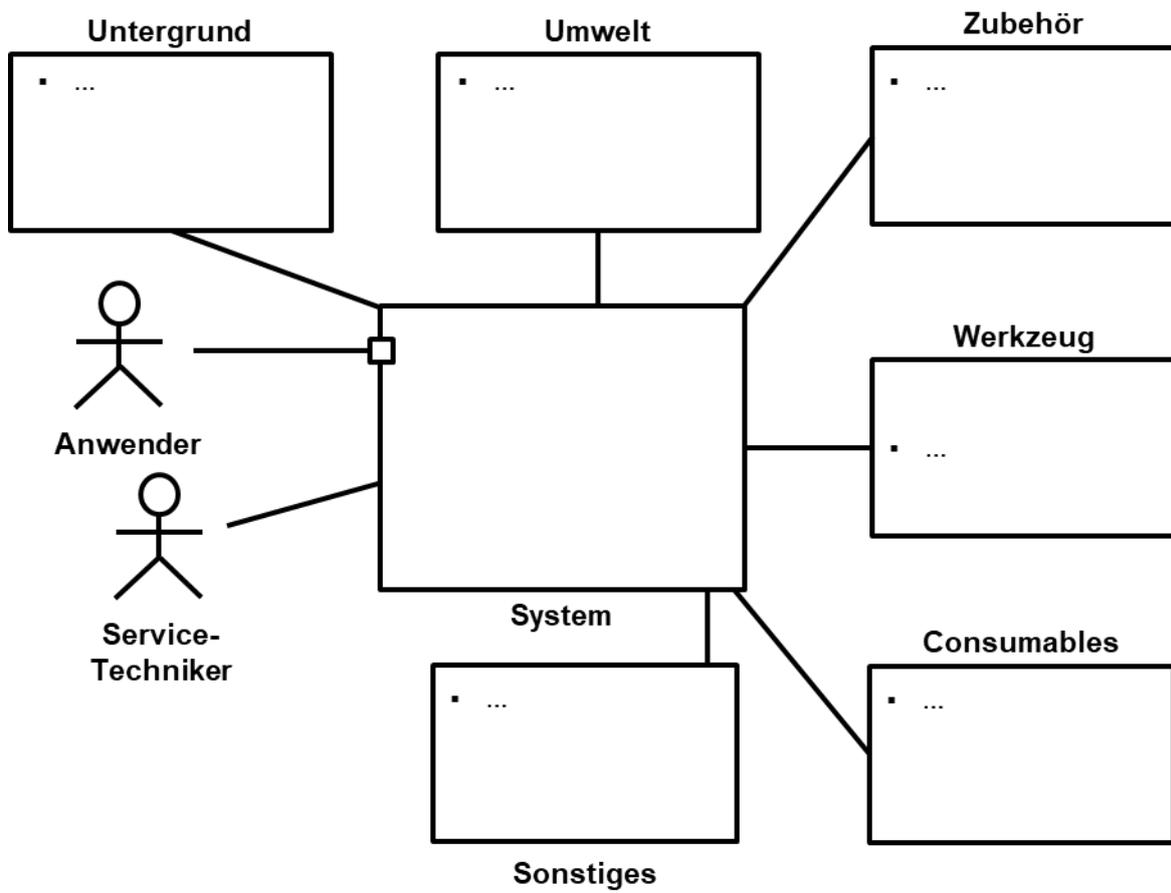


Abbildung Anhang-1: PT-Systemkontext-Template

14.4 PT-Stakeholder-Vorlage

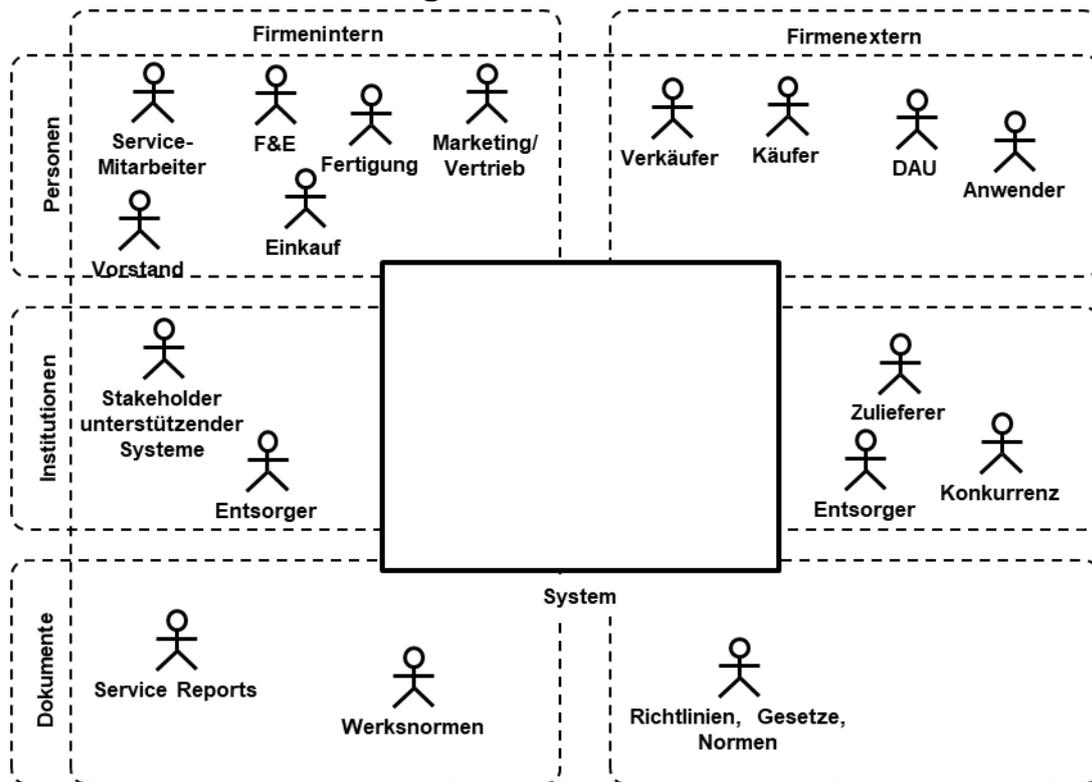


Abbildung Anhang-2: PT-Stakeholder-Vorlage

14.5 PT -Persona-Vorlage

Persona

Segment:

3 prägende Eigenschaften
oder Begriffe
(auch produktbezogen)

Sozio-ökonomische Eigenschaften

Familiensituation | Wohnsituation | Geographische Situation | Beruf

Alter

Psychische Eigenschaften

Physische Eigenschaften

Sicherheitsfanatiker **Draufgänger**

Analytiker **Praktiker**

Alleingänger **Teampayer**

Bequem **körperl. Anstrengung**

Gewicht: leicht mittel schwer **Ausdauer:** - +

Größe: klein mittel groß **Kraft:** - +

Statur: dünn normal dick

Beschreibung
auch Besonderheiten wie Handicaps

Psychographische Eigenschaften

Einstellung

Motiv/ Ziel
(emotional/
rational)

Beschreibung der Einstellung und Wichtigkeit:
(auch problembezogene Besonderheiten/ Emotionen)

Arbeit: - +

Produkt: - +

Innovationen: - +

Marke(n)treue: - +

Wichtigkeit

Service: - +

_____ : - +

_____ : - +

_____ : - +

_____ : - +

_____ : - +

Ablaufbeschreibung der Nutzung

Fachkenntnisse

Dauer: _____ **Häufigkeit:** _____

Tätigkeiten | typisches Verhalten | Dauer | Häufigkeit | Zeitdruck

Laie **Profi**

Erfahrungen | Bekannte Techniken

Wichtigsten Anforderungen/ Erwartungen an das Produkt

Karlsruher Institut für Technologie

Institut für Produktentwicklung
am Karlsruher Institut für Technologie

Lehrstuhl für
Maschinenelemente
und Gerätekonstruktion

Abbildung Anhang-3: Power-Tool-Persona-Vorlage leer³⁵⁶

³⁵⁶ Entstanden in Zusammenarbeit mit Kempf 2016 (betreute Abschlussarbeit)

14.6 PT-Anwendungsfall-Vorlage

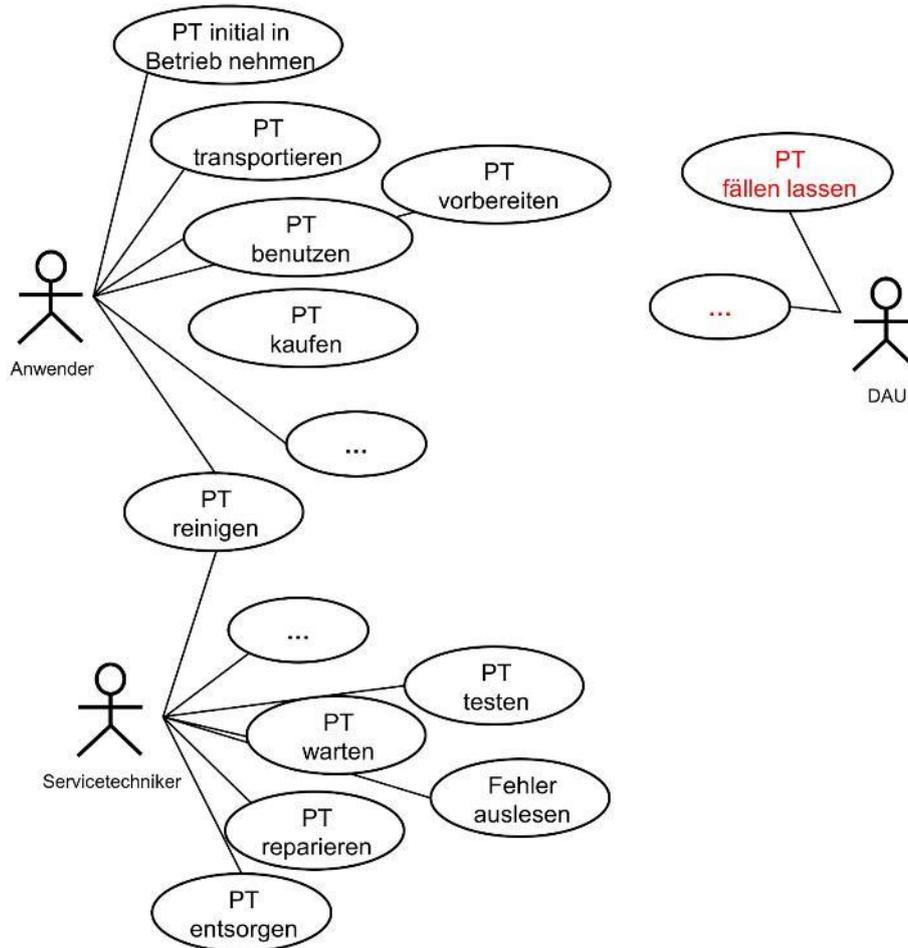


Abbildung Anhang-6: PT-Anwendungsfall-Vorlage

14.7 PT-Erfassungsbogen inkl. Selbsteinschätzung³⁵⁹

Probandennummer:

Tätigkeit:

Versuchsdaten-Erfassung

In diesem Dokument sollen alle Informationen zum Versuchsaufbau, Gerät, Probanden und dem Systemkontext erfasst werden. Die Daten sollen ein übersichtliches, objektives Bild schaffen und als Basis für die spätere Auswertung der subjektiven Empfindungen der Probanden genutzt werden. Dieser Bogen soll vom Versuchsleiter in Kontakt mit dem Probanden ausgefüllt werden.

Persönliche Merkmale

Alter			
Geschlecht	männlich <input type="radio"/>	weiblich <input type="radio"/>	
Nationalität			
Händigkeit	rechts <input type="radio"/>	links <input type="radio"/>	
Berufserfahrung (in Jahren)			
Wie lang haben Sie heute schon gearbeitet (in Std):			
Wann war der letzte Umgang mit einem Winkelschleifer:			
Durchschnittliche Arbeitszeit mit einem Winkelschleifer (pro Tag/pro Woche):			

Persönliche Einflussfaktoren

	überhaupt nicht	wenig	mittel-mäßig	ziemlich	sehr
Wie erholt fühlen Sie sich?	<input type="radio"/>				
Wie leistungsfähig fühlen Sie sich?	<input type="radio"/>				

³⁵⁹ Der Fragebogen ist in enger Zusammenarbeit mit betreuten Abschlussarbeiten (Hölz, K. 2016, Kempf, D. 2016 und Janik, M. 2017) entstanden. Er wurde kontinuierlich weiterentwickelt und auf unterschiedliche Power-Tools angepasst.

Schutz

Welches Schutzequipment wird eingesetzt?

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> Schutzbrille | <input type="checkbox"/> Schutzhandschuhe | <input type="checkbox"/> Sicherheitsschuhe |
| <input type="checkbox"/> Schutzhaube | <input type="checkbox"/> Mundschutz | <input type="checkbox"/> Gehörschutz |
| <input type="checkbox"/> Schwer entflammbare Kleidung | <input type="checkbox"/> Haltegriff | <input type="checkbox"/> _____ |

Umgebungsfaktoren

Tageszeit:

Temperatur (°C):

Bewölkung: 1/8 2/8 3/8 4/8 5/8 6/8 7/8 8/8

Beleuchtung: Schlecht Ausreichend Gut Sehr gut

Raum : Im Freien Überdacht Geschlossener Raum

Temperatur des Untergrunds:

Material und Stärke des Untergrunds:

Position des Untergrunds:

Hindernisse in der Umgebung:

Personen in der Umgebung:

Fotos der Versuchsumgebung bitte anfügen!

Skizze des Arbeitsplatzes am Ende des Erfassungsbogens anfügen!

Anwendung

Tätigkeit:

Ziel der Anwendung:

Körpermaße (Motion Capture)

Angabe bitte in cm

Body Height / Körpergröße

Foot size / Fußlänge

Arm span / Armspannweite

Ankle Height / Knöchelhöhe

Hip Height / Hüfthöhe

Hip Width / Hüftbreite

Knee Height / Kniehöhe

Shoulder Width / Schulterbreite

Shoe sole Height / Sohlenhöhe

Handlänge und - breite

Probandennummer:

Nutzererfahrungs-Erfassung

Dieser Fragebogen soll dazu dienen, Informationen aus ihrer Erfahrung mit Winkelschleifern zu erfassen. Es soll sichtbar werden, wie die reale Nutzung mit solchen Geräten aussieht. Dabei werden Sie zu verschiedenen Aspekten der Nutzung befragt. Sie helfen daher mit Ihren Antworten die ergonomischen und die konstruktiven Aspekte von Winkelschleifern noch weiter zu verbessern.

Bitte füllen Sie den Fragebogen ernsthaft und vollständig aus, nur so können wir aus Ihren Angaben lernen. Ein falsches Ausfüllen des Fragebogens ist nicht möglich, ergänzen Sie die Antworten wie Sie denken. Sie bleiben bei Ihrer Teilnahme vollkommen anonym, denn es werden keine personenbezogenen Daten erhoben

Beispiel

Wie zufrieden sind Sie mit....	gar nicht	wenig	mittel-mäßig	über-wiegend	völlig
... dem Gerät	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
... dem Zubehör	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Zutreffendes bitte ankreuzen

Falsches Kreuz bitte schwärzen

Tätigkeitsprofil

Wenn sie mit einem Winkelschleifer arbeiten, wie oft führen Sie die folgenden Tätigkeiten aus?

	nie	selten	manchmal	oft	immer
Trennen	<input type="radio"/>				
Anphasen	<input type="radio"/>				
Oberfläche schleifen	<input type="radio"/>				
Schweißnaht schleifen	<input type="radio"/>				
Rost entfernen	<input type="radio"/>				
Lack entfernen	<input type="radio"/>				
Polieren	<input type="radio"/>				
_____	<input type="radio"/>				

Wie oft nutzen Sie folgende Werkzeuge?

	nie	kaum	manchmal	oft	immer
Trennscheibe	<input type="radio"/>				
Schruppscheibe	<input type="radio"/>				
Fächerscheibe	<input type="radio"/>				
Schleifteller	<input type="radio"/>				
Drahtbürste	<input type="radio"/>				
Polieraufsatz	<input type="radio"/>				
_____	<input type="radio"/>				

Wie häufig Arbeiten Sie in den folgenden Bedingungen? Bitte geben Sie die Häufigkeit prozentual an.

Körperhaltung

Stehen	_____	Prozent
Sitzen	_____	Prozent
Liegen	_____	Prozent
Knien	_____	Prozent

Lichtverhältnisse

Schlecht	_____	Prozent
Ausreichend	_____	Prozent
Gut	_____	Prozent
Sehr gut	_____	Prozent

Raum

Im Freien	_____	Prozent
Überdacht	_____	Prozent
Geschlossener Raum	_____	Prozent

Gerätehaltung

Über Kopf	_____	Prozent
Unter Kopf	_____	Prozent

Geräteinformationen

Welchen Winkelschleifer
nutzen Sie am Häufigs-
ten?

Benutzt außer Ihnen noch
jemand Ihr Gerät? ja nein

Wie viele verschiedene
Winkelschleifer nutzten /
haben Sie?

Auf welcher Seite befindet
sich der Griff?

Nutzen Sie verschiedene
Winkelschleifer für ver-
schiedene Anwendun-
gen? ja nein

Falls ja, welche wofür?

Änderungsoptionen

Wie hilfreich finden Sie ...	gar nicht	wenig	mittel- mäßig	überwie- gend	völlig
... einen optionalen Griff mit anderer Form?	<input type="radio"/>				
... weitere Verstell-Möglichkeiten am Griff?	<input type="radio"/>				
... eine Einspannvorrichtung?	<input type="radio"/>				

Wie oft ...	nie	selten	gele- gentlich	oft	immer
... verstellen Sie den Griff?	<input type="radio"/>				
... halten Sie das Gerät am Zusatzgriff?	<input type="radio"/>				
... wechseln Sie die Scheibenart?	<input type="radio"/>				
... muss das Gerät repariert oder gewartet werden?	<input type="radio"/>				
... muss die Scheibe gewechselt werden?	<input type="radio"/>				

Welches Schutzequipment haben und benutzen sie wirklich regelmäßig?

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> Schutzbrille | <input type="checkbox"/> Schutzhandschuhe | <input type="checkbox"/> Sicherheitsschuhe |
| <input type="checkbox"/> Schutzhaube | <input type="checkbox"/> Mundschutz | <input type="checkbox"/> Gehörschutz |
| <input type="checkbox"/> Schwer entflammbare Kleidung | <input type="checkbox"/> Haltegriff | <input type="checkbox"/> _____ |

Wenn Sie zwischen Ihren Anwendungen Ihr Werkzeug wechseln, passen Sie die Schutzhaube an?

Lebensdauer

Wie lange dauert es bis ihr
Gerät kaputt geht?

Wie lange hält eine Werk-
zeugscheibe?

Erfahrungen mit Winkelschleifern von anderen Herstellern

Haben Sie Erfahrung mit Winkelschleifern von anderen Herstellern? Wenn ja, mit welchen?

Gibt es etwas an den Winkelschleifern von anderen Herstellern, was Ihnen besonders gut gefällt?

Gibt es etwas an den Winkelschleifern von anderen Herstellern, was Ihnen nicht gefällt?

Probandennummer:

Tätigkeit:

Versuchsbewertung

Dieser Bogen soll ihr Empfinden nach der Anwendung erfassen. Wir bitten Sie hierbei um ein ehrliches Feedback. Stehen Sie dem System gerne kritisch gegenüber und geben Sie an, wo Verbesserungspotential herrscht. So helfen sie aktiv an der Optimierung von Winkelschleifern mit!

Sie bleiben bei Ihrer Teilnahme vollkommen anonym, da keine personenbezogenen Daten erhoben werden.

Beispiel

Wie zufrieden sind Sie mit....	gar nicht	wenig	mittel-mäßig	überwiegend	völlig
... dem Gerät	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
... dem Zubehör	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Zutreffendes bitte ankreuzen

Falsches Kreuz bitte schwärzen

Bitte geben Sie an, wie zufrieden Sie mit den folgenden Punkten sind und kreuzen Sie in jeder Zeile eine Position an!

Wie zufrieden sind Sie mit...	gar nicht	wenig	mittel-mäßig	überwiegend	völlig
... der Größe des Geräts?	<input type="radio"/>				
... dem Griff?	<input type="radio"/>				
... dem Gewicht	<input type="radio"/>				
... der Kabellänge	<input type="radio"/>				
... der Sicht in den Schnittbereich?	<input type="radio"/>				
... der allgemeinen Handhabung in den Anwendungen?	<input type="radio"/>				
... dem Scheibenwechsel-System?	<input type="radio"/>				
... dem Schalter zur Regulierung der Geschwindigkeit (falls vorhanden)	<input type="radio"/>				
... der Erledigung der Arbeitsaufgabe	<input type="radio"/>				
... der Armposition während der Anwendung	<input type="radio"/>				
... der Einstellmöglichkeiten am Gerät?	<input type="radio"/>				
... den Symbolen am Gerät?	<input type="radio"/>				
... der Arbeitsleistung?	<input type="radio"/>				
... der Genauigkeit der Geräteführung?	<input type="radio"/>				

Gesamtsystem

Was stört Sie an dem Gerät? Was hätten Sie gerne verbessert?

Abschlussfragen

Wie hat die Messtechnik Sie bei der Arbeit beeinflusst?

Was war im Vergleich zu ihrer alltäglichen Arbeit mit dem Winkelschleifer anders?

Vielen Dank für Ihre Teilnahme an dieser Studie.

Wenn Sie weitere Informationen zu dieser Untersuchung wünschen, wenden Sie sich bitte an den Versuchsleiter.

Bitte übergeben sie den Fragebogen nun an den Versuchsleiter. Er wird die weitere Bearbeitung fortführen

Kritik

Vertiefung der Beurteilung des Systems für die Punkte, bei denen keine vollständige Zufriedenheit besteht

Größe

Griff

Gewicht

Kabellänge

Sicht in den Schnittbereich

Allgemeine Handhabung

Scheibenwechselsystem

Regulierung der Geschwindigkeit

Erledigung der Arbeitsaufgabe

Armposition

Einstellungsmöglichkeit

Symbolen am Gerät

Arbeitsleistung

Genauigkeit der Geräteführung

14.8 Ergebnisse aus den Fallbeispielen³⁶⁰



KIT
Karlsruher Institut für Technologie
IPEK
Institut für Produktentwicklung

Persona
Dieter Dübelfix

Segment:



behäbig/träge

Konservativ

geschwätzig

3 prägende Eigenschaften (auch produktbezogen)

Sozio-ökonomische Eigenschaften

Familien-situation | Wohn-situation | Geographische Situation | Beruf

- verheiratet, zwei Kinder
- Sanitätsinstallateur
- Mehr-familienhaus, städtisch
- Deutschland

Alter **55**

Wlos sind mein Geschäft

Psychische Eigenschaften

Sicherheitsfanatiker Draufgänger
 Analytiker Praktiker
 Alleingänger Teamplayer
 Bequem körperl. Anstrengung
 gesund gehandicappet
 -o Rücken

Physische Eigenschaften

Gewicht: leicht mittel schwer
 Größe: klein mittel groß
 Statur: dünn normal dick
 Ausdauer:
 Kraft:



Handgehaltenes Gerät:
Dübel Hammer
in Akkuschrubdr
Spezifisches
Teilsystem.

Psychographische Eigenschaften

Motiv/ Ziel (emotional/rational):
*"4 wird's von alleine!"
 "haben wir schon immer so gemacht!"
 "passt schon"*

Beschreibung der Einstellung und Wichtigkeit:
*macht was gemacht werden muss!
 Jedoch nicht mehr*

Einstellf:
 Arbeit:
 Produkt:
 Innovationen:
 Marke(n)treue:
 Service:

Wichtigkeit:

Ablaufbeschreibung der Nutzung

Dauer: 30 min - 40 min | Häufigkeit: 3-4/w

Tätigkeiten | typisches Verhalten | Dauer | Häufigkeit | Zeitdruck

Montage v. Wlos & wasdab, Düseln etc. | lässt sich Zeit | kein Stress! | dauer-hält | Kern Zeitdruck

Macht alles selber, Klemme soll rausgehen Arbeitet alleine!

Fachkenntnisse

Leihe Profi

Erfahrungen | Bekannte Techniken

37 Jahre in Seminar | Macht 50, wie gelernt

Wichtigsten Anforderungen/ Erwartungen an das Produkt

*Muss halten -> hohe Qualität
 keine Klemme -> gute Handhabung
 Widerstand sparen, darf nicht von alleine gehen, Hammer muss benutzt werden*

KIT - Universität des Landes Baden-Württemberg und nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft

www.kit.edu

Abbildung Anhang-7: Ergebnisse aus den Fallbeispielen

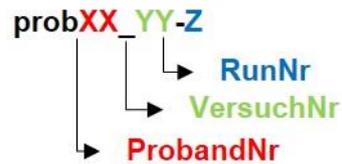
³⁶⁰ Entstanden in Workshop mit Studierenden der Gerätekonstruktionsvorlesung SS2017

Teilnehmer:	Nr.1	Nr.2	Nr.3	Nr.4	Nr.5	Nr.6	Nr.7	Nr.8	Nr.9
System	Kunststoff-Dübel	Winkel-schleifer	Winkel-schleifer	Kunststoff-Dübel	Akku-schrauber	Akku-schrauber	Akku-schrauber	Kunststoff-Dübel	Akku-schrauber
War die Methode für dein System geeignet?	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
An welcher Stelle gab es Schwierigkeiten?	Aufgabenstellung unklar	Einordnung der Systeme schwierig	Aufgabenstellung unklar	Bezeichnung der Komponenten	Identifikation der Anwendungsfälle	-	-	Identifikation der Anwendungsfälle	-
An welcher Stelle war Unterstützung notwendig?	mehr Beispielsysteme	-	Daten zum Nutzungsverhalten	-	mehr Beispielsysteme	-	Vorlagen zum System-umfeld	-	-
Kannst du die Methode nach dem Workshop selbständig anwenden?	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Was hat dir gut gefallen?	Gruppenarbeit	kurzweilig, selbst anwenden	Gruppenarbeit	Übungen	Gruppenarbeit	Gruppenarbeit	Praxisbezug	Praxisbezug	-
Verbesserungsvorschläge:	-	-	Aufgabenstellung karstellten	mehr Übungen	-	-	-	Zeitplan optimieren	-
Bewertung	2	2	2	1,5	2	2	1,5	2	2

Abbildung Anhang-8: Ergebnisse der Umfrage nach dem Methodenworkshop (vgl. Fallbeispiel Lehrveranstaltung Gerätekonstruktion)

14.9 Datenaufbereitung Analyse-GUI

Das folgende Benennungsschema wird für die Datenaufbereitung benötigt.



Um die Funktion der Datenaufbereitung nutzen zu können, muss die in Abbildung Anhang-9 und Abbildung Anhang-10 dargestellte Ordnerstruktur zugrunde liegen. Hierfür kann die bereitgestellte Ordnervorlage genutzt werden.

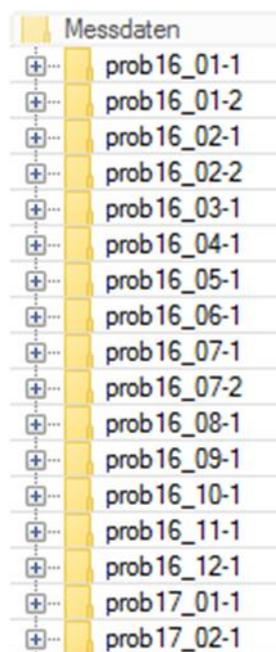


Abbildung Anhang-9: Ordnerstruktur Hauptordner

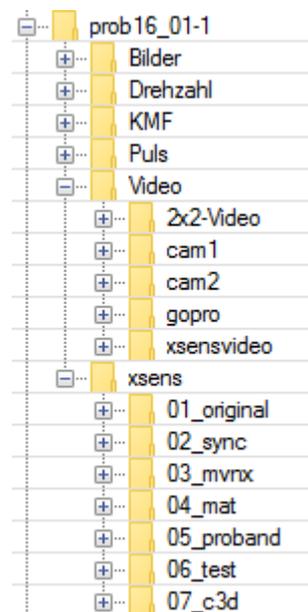


Abbildung Anhang-10: Ordnerstruktur Unterordner

Die in Abbildung Anhang-11 dargestellten Daten mit entsprechender Benennung werden für die Datenaufbereitung in Matlab benötigt.

Nachdem die Datenaufbereitung abgeschlossen ist, müssen die synchronisierten Dateien in einen Auswertungsordner z.B. 04_Daten_final gelegt werden. Auf diesen Ordner greift die Analyse-GUI zu. Hierfür sind folgenden Datensätze mit der jeweiligen Benennung notwendig (vgl. Abbildung Anhang-12): Bild des Probanden, Video in hoher und niedriger Auflösung sowie der synchronisierte Messdatensatz.

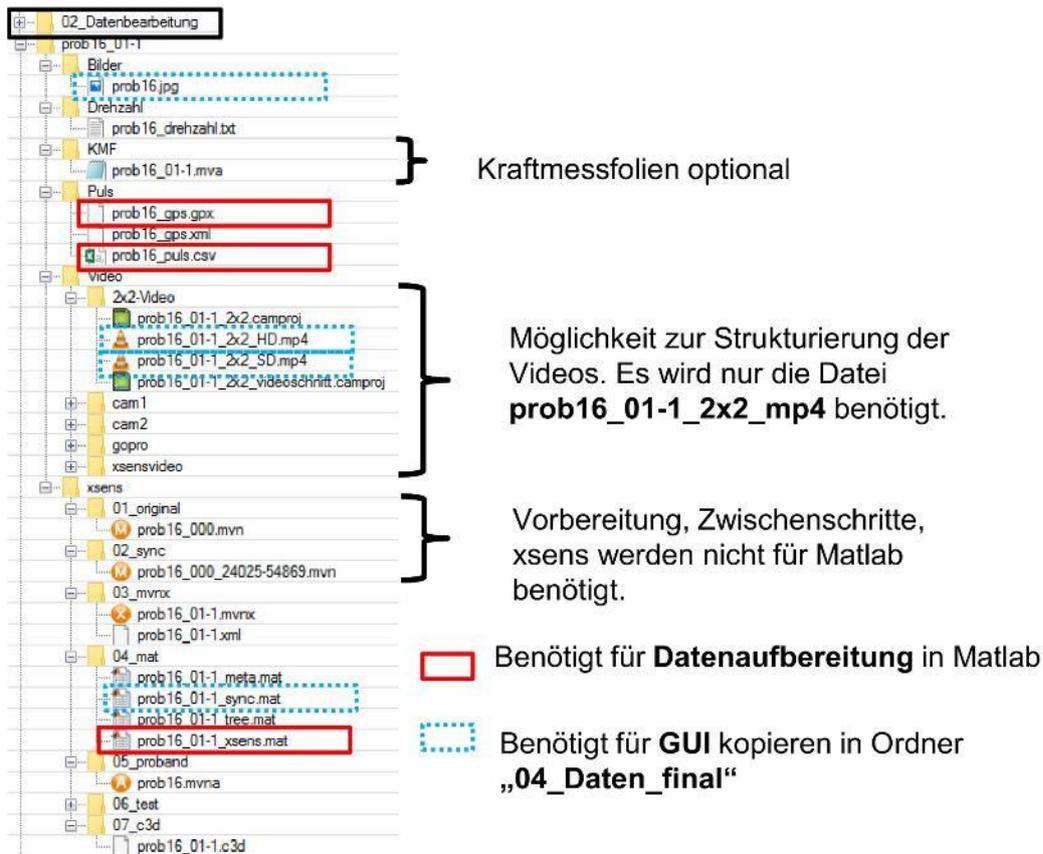


Abbildung Anhang-11: Datenstruktur und Benennung für die Datenaufbereitung

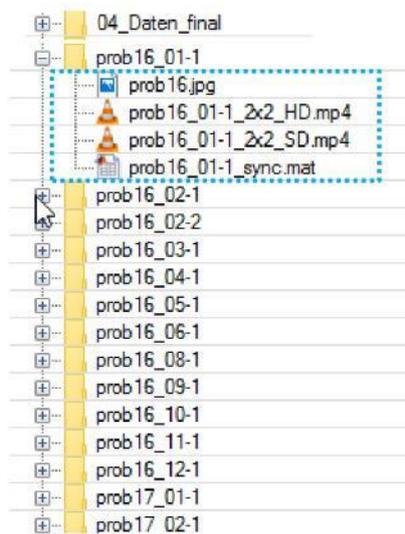


Abbildung Anhang-12: Datenstruktur final

Im Folgenden sind die beiden Hauptroutinen als Aktivitätsdiagramm beschreiben:

- AAA_main_AnalyseGUI_import_xsens.m
- AAA_main_AnalyseGUI_import_sync_puls_drehzahl.m

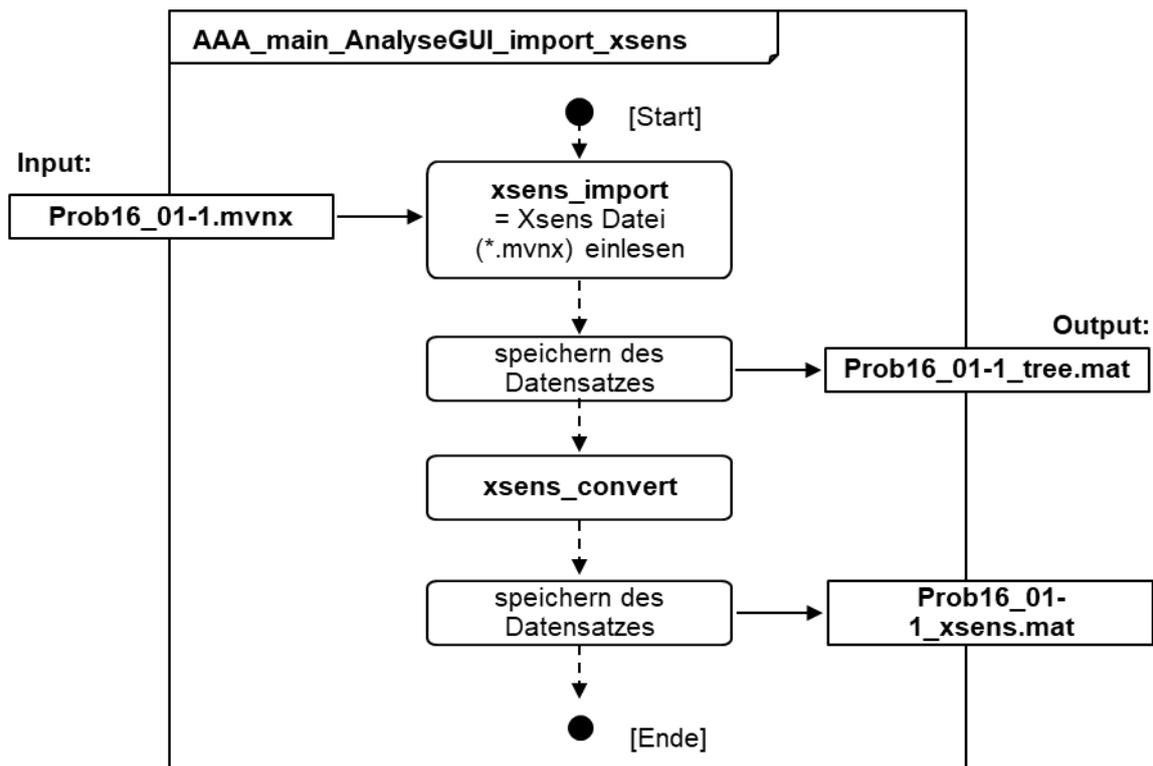


Abbildung Anhang-13: AAA_main_AnalyseGUI_import_xsens.m als Aktivitätsdiagramm

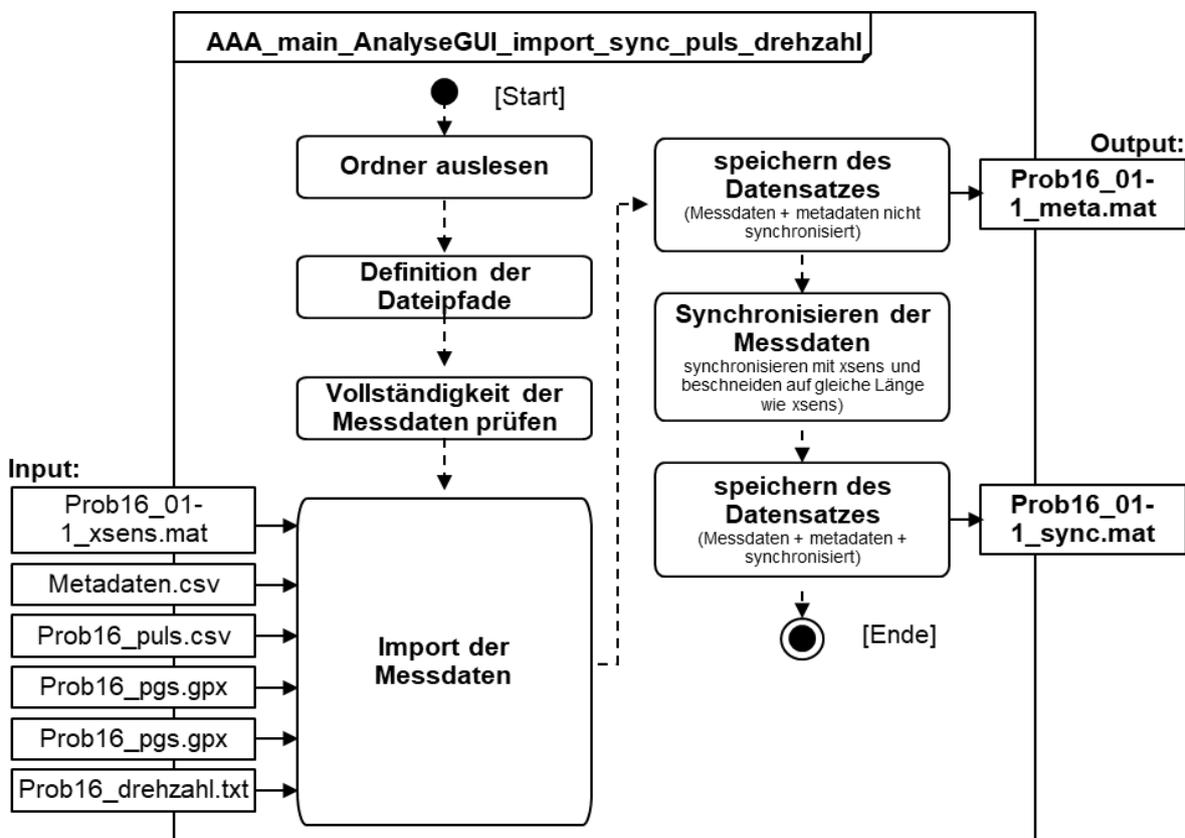


Abbildung Anhang-14: AAA_main_AnalyseGUI_import_sync_puls_drehzahl.m als Aktivitätsdiagramm