

René Germann

Ein Beitrag zur störgrößenreduzierten Erfassung und Beurteilung der Anwendungseignung im Kontext der nutzerzentrierten Produktentwicklung von Power-Tools

A contribution to the disturbance-reduced recording and evaluation of usability in the context of user-centered product development of power tools

Band 122

Herausgeber:

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

Copyright: IPEK • Institut für Produktentwicklung, 2019
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

Ein Beitrag zur störgrößenreduzierten Erfassung und Beurteilung der Anwendungseignung im Kontext der nutzerzentrierten Produktentwicklung von Power-Tools

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)

von der KIT-Fakultät für Maschinenbau des
Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

genehmigte
DISSERTATION

von

M.Sc. René Germann

Tag der mündlichen Prüfung:	18. Juli 2019
Hauptreferent:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen
Korreferent:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mirko 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 Matthesen

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

Vorwort zu Band 122

Um im Wettbewerb erfolgreich zu sein, muss ein Produkt, das mit seinem Nutzer wechselwirkt, eine zufriedenstellende Interaktion mit ihm ermöglichen. Es muss sowohl zu expliziten als auch impliziten Anforderungen des Nutzers passen. Die potentielle Eignung des Produktes wird vom Nutzer früh eingeschätzt und beeinflusst seinen Kaufentscheid. Während der Nutzung des Produktes wird die Einschätzung verfeinert oder korrigiert. Diese Einschätzung entscheidet über Wiederholungskäufe und Markentreue. Während der Entwicklung dieser mit dem Nutzer wechselwirkenden Produkte ist es daher wichtig, früh und kontinuierlich die Einschätzung der Eignung durch den späteren Käufer oder Nutzer zu erheben.

Power-Tools stehen in direkter Interaktion mit dem Nutzer. Mensch und Maschine stehen im Informations- und vor allem im Leistungsfluss. Der Power-Tool Markt ist ein Käufermarkt, geprägt durch ein Überangebot einer Vielzahl von Herstellern. Der Kunde eines Power-Tools kann zwischen unterschiedlichen Marken wählen. Für die Hersteller sind ein positiver Kaufentscheid und die Kundenbindung sowohl bei dem einzelnen Power-Tool in Form von Wiederholungskäufen bei Ersatz des Gerätes als auch Markentreue umsatzentscheidend. In der Entwicklung von Power-Tools ist daher sowohl die Einschätzung des Kunden auf Passgenauigkeit des Produktes vor dem Kaufentscheid als auch während der Nutzung bereits früh im Entwicklungsprozess von zentraler Bedeutung. Meist wird daher in entwicklungsbegleitenden Studien die subjektive, wahrgenommene Anwendungseignung erhoben. Konzeption und Durchführung der Studien sind herausfordernd, da unter anderem verschiedene Störgrößen den Erkenntnisgewinn verfälschen und damit die Ergebnisgüte beeinträchtigen. Zum Teil sind diese Störgrößen unbekannt und nicht erforscht. Unkenntnis der Störgrößen kann zu teuren Entwicklungsiterationen oder gar zu Fehlentwicklungen führen, die kurz- und langfristig zu Umsatzeinbußen oder Verlust der Kundenbindung führen können. Eine weitere Herausforderung ist der geeignete Aufbau der entwicklungsbegleitenden Studien, der nicht nur geeignet sein muss, einen potentiellen Mangel aufzudecken, sondern zusätzlich den Konstrukteur dazu zu befähigen, die nächste Entwicklungsgeneration passgenauer zu gestalten.

Hier setzt die Forschung von René Germann an. Er widmet sich dem Problem der Störgrößeneinwirkung bei der Erfassung der wahrgenommenen Anwendungseignung und setzt sich das Ziel, Methoden und Vorgehensweisen zu erforschen, die die Störgrößen berücksichtigen oder überwinden. Innerhalb der Arbeit entstehen nicht nur wichtige Ergebnisse bezüglich der untersuchten technischen Systeme und des Zusammenhangs zur Beurteilung der Anwendungseignung, sondern auch wichtige Erkenntnisse und Methoden, um Störgrößen bei der subjektiven Beurteilung zu überwinden.

Dabei steht die Beantwortung der folgenden Forschungsfrage im Fokus:

„Wie kann der Einfluss von Störgrößen bei der Erfassung der empfundenen Anwendungseignung eines Power-Tools reduziert werden und wie kann dieses Wissen in der nutzerzentrierten Produktentwicklung angewendet werden?“

Die von Herrn René Germann vorgelegte Arbeit liefert einen Beitrag zur störgrößenreduzierten und damit objektiveren Erfassung der Anwendungseignung von Power-Tools, wodurch deren Entwicklung auf die individuellen Anforderungen der Anwender optimiert werden kann.

Aus dem Stand der Forschung leitet Herr Germann ab, dass vor allem die Störgrößen „unterschiedliche Expertise bei der Anwendung in der Produktbenutzung“ und der „Markeneinfluss“ bei der Bewertung der Anwendungseignung einen großen Einfluss haben.

Basierend auf den Studienergebnissen kommt Herr René Germann zu dem Schluss, dass professionelle Benutzung Grundlage einer Qualitätseinschätzung ist und dass die Fähigkeit der professionellen Benutzung gemessen werden kann. Ein Ergebnis der Arbeit sind mehrere Trainingsprogramme, die nicht professionellen Anwendern eine Beurteilung der Usability für professionelle Anwender ermöglichen. Langfristig liefern diese Erkenntnisse einen wirtschaftlichen Nutzen, da Konstrukteure über die Trainingsprogramme dazu befähigt werden können, Usability-Einschätzungen von Profianwendern vorherzusagen. Zusätzlich können durch die Trainingsmethoden in im Unternehmen durchgeführten Tests, die eine deutlich bessere Geheimhaltung ermöglichen, qualitativ hochwertige Usability-Aussagen erzielt werden.

Neben den Erkenntnissen zur Störgröße der Expertise in der Anwendung hat René Germann wichtige Ergebnisse zum Markeneinfluss herausgearbeitet. So führt Nichtbekanntheit der Marke zu weniger positiven Bewertungen und zu einer im Vergleich schlechter wahrgenommenen Anwendungsqualität. Die Bewertung der wahrgenommenen Anwendungsqualität wird signifikant durch den praktischen Einsatz der Power-Tools beeinflusst. Hierbei wird der Bewertungsunterschied zwischen den bekannten und unbekanntem Markengeräten durch den praktischen Einsatz deutlich geringer. Das ist eine wichtige Erkenntnis vor allem für Hersteller unbekannter Marken, die Marktanteile gewinnen wollen.

Aus den Ergebnissen der in der Arbeit durchgeführten Experimente lassen sich Anforderungen und Hinweise ableiten, mit deren Hilfe Entwicklungsziele für Power-Tools ohne den Einfluss der Störgröße „Marke“ oder „Expertise in der Anwendung“ identifiziert werden können.

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird das Problem der Störgrößeneinwirkung bei der Erfassung und Beurteilung der wahrgenommenen Anwendungseignung von Power-Tools untersucht. Durch den Einfluss von Störgrößen kommt es zu einer Verzerrung der objektiven Anwendungseignung eines Power-Tools, weshalb im Sinne einer nutzerzentrierten Produktentwicklung auf Basis der wahrgenommenen Anwendungseignung keine optimalen Produkte entwickelt werden können. Die Beantwortung der folgenden Forschungsfrage steht im Fokus dieser Arbeit:

Wie kann der Einfluss von Störgrößen bei der Erfassung und Bewertung der empfundenen Anwendungseignung eines Power-Tools reduziert werden und wie kann dieses Wissen in der nutzerzentrierten Produktentwicklung angewandt werden?

Motiviert aus dem Stand der Forschung werden drei Haupthypothesen (*H1-H3*) aufgestellt, welche durch experimentelle Probandenstudien überprüft werden. Hierbei wird innerhalb einer Vorstudie (*H1*) zunächst der Bedarf zur Reduzierung des Einflusses von Störgrößen auf die empfundene Anwendungseignung konkretisiert, wobei sich zeigt, dass mit aktuellen Methoden relevante Usability-Aspekte, welche einen signifikanten Einfluss auf die Anwendungseignung haben, nur bedingt identifiziert werden können. Weiterhin kann anhand der Ergebnisse der Probandenbewertungen die signifikante Beeinflussung der Anwendungseignung durch den *Markeneinfluss* der Power-Tools und dem unterschiedlichen Grad der *Expertise in der Anwendung* der Anwender gezeigt werden. Zur Verringerung dieses Einflusses werden Ansätze zur Störgrößenreduzierung entwickelt. Hierbei werden am Beispiel von Trockenbauschrauben Schulungskonzepte entwickelt, mit Hilfe derer der Einfluss der unterschiedlichen Expertise reduziert werden kann (*H2.1*). Zur Analyse des Einflusses der Marke wird innerhalb einer Blindtest Studie, am Beispiel von Akkuschaubern, Möglichkeiten zur Vermeidung des Einflusses der Marke analysiert und Reduktionsansätze abgeleitet (*H2.2*). Zur Überprüfung der Anwendbarkeit und Übertragbarkeit der entwickelten Reduktionsansätze wird eine Verifizierungsstudie aufgebaut, innerhalb welcher die Anwendungseignung der Griffergonomie von Akkuschaubern bewertet wird (*H3.1*). Anhand der Ergebnisse der Studie kann die Leistungsfähigkeit der Reduktionsansätze gezeigt werden, wobei sowohl der Einfluss der Marke als auch der der Expertise deutlich reduziert werden konnte. Weiterhin konnte ein Ansatz zur Identifizierung unbekannter Störgrößen aufgebaut werden, welcher bei der Erfassung und Aufbereitung von Versuchsdaten unterstützt.

Die entwickelten Forschungsansätze liefern einen Beitrag zur störgrößenreduzierten und damit objektiveren Erfassung der Anwendungseignung von Power-Tools, wodurch deren Entwicklung auf die individuellen Anforderungen der Anwender optimiert werden kann

Abstract

In this thesis, the problem of the influence of disruptive factors on the acquisition and assessment of the perceived suitability for usage of power tools is investigated. The influence of disruptive factors leads to a distortion of the objective suitability for usage of a power tool, which is why no optimal products can be developed on the basis of the perceived suitability for usage in the sense of a user-centered product development. The main focus of this thesis is on answering the following research question:

How can the influence of disturbance factors be reduced during the acquisition and evaluation of the perceived suitability for usage of a power tool and how can this knowledge be applied in user-centered product development?

Motivated by the state of research, three main hypotheses (*H1-H3*) are formulated, which are tested in experimental studies. In a preliminary study (*H1*) the need to reduce the influence of disruptive factors on the perceived suitability for usage is substantiated, whereby it is shown that relevant usability aspects, which have a significant influence on the suitability for usage, can only be identified to a limited extent by the use of current methods. Furthermore, the results of the subject evaluations point to the significant influence of the *brand influence* of the power tools on the suitability for usage and the different degree of *expertise in the application* of the users. In order to reduce this influence, approaches for the reduction of disruptive factors are developed. Training concepts are devised using the example of drywall screwdrivers to reduce the influence of different expertise (*H2.1*). In order to investigate the influence of the brand, a blind test study using cordless screwdrivers as an example is used to analyze possibilities for avoiding the influence of the brand and to derive reduction approaches (*H2.2*). To check the applicability and transferability of the developed reduction approaches, a verification study was set up, in which the applicability of the handle ergonomics of cordless screwdrivers is evaluated (*H3.1*). On the basis of the results of this study, the efficiency of the reduction approaches can be shown, whereby both the influence of the brand and that of the expertise could be significantly reduced. Furthermore, an approach for the identification of unknown disruptive factors was developed, which supports the acquisition of test data with minor influence of disruptive factors.

The developed research approaches support the possibility for a more objective and disturbance-reduced assessment of the suitability for usage of power tools, whereby their development can be optimized regarding the individual requirements of the users.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all den Menschen danken, welche mir auf dem Weg zur Erstellung dieser Arbeit geholfen und mich unterstützt haben.

Zunächst gilt mein ganz besonderer Dank meinem Doktorvater Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen. Das entgegengebrachte Vertrauen, aber vor allem auch die gelebte Begeisterung für die Forschung, haben mich stets in meiner Arbeit motiviert und sehr zu meiner persönlichen Entwicklung beigetragen.

Herzlichst möchte ich mich bei Herrn Univ. Prof. Dr.-Ing. Mirko Meboldt für die Übernahme des Korreferates und die tollen Impulse beim gegenseitigen Forschungsaustausch bedanken.

Ganz besonders möchte ich mich bei meinen Kollegen bedanken, die maßgeblich für die einzigartige Arbeitsatmosphäre am Insitut verantwortlich sind, in der ich mich stets wohl und motiviert gefühlt habe. Hierbei gilt mein besonderer Dank Herrn Michael Uhl, mit dem ich in zahllosen Diskussionen meine Forschung vorangetrieben habe und welcher nicht müde wurde, meine neuen Kapitel zu korrigieren und konstruktives Feedback zu geben.

Ein großes Dankeschön möchte ich an meine studentischen Abschlussarbeiter und wissenschaftlichen Hilfskräfte richten, mit denen ich während meiner Zeit am Insitut zusammenarbeiten durfte. Ihr alle habt zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen!

Bei meiner Freundin Jara möchte ich mich an dieser Stelle von ganzen Herzen für Ihren unermütlchen Korrekturereifer und Ihre wunderbare, aufbauende Art bedanken, die mich nie verzagen hat lassen, auch wenn ich noch so viele Kommafehler korrigieren musste.

Zuletzt gilt mein großer Dank meinen Eltern, welche mir diesen Ausbildungsweg ermöglicht haben und mir immer einen sicheren Rückhalt gegeben haben, auf den ich mich stets verlassen konnte und der mir den Freiraum geschaffen hat, am Ende meiner Ausbildung mit dieser Arbeit abzuschließen.

Danke Euch allen!

Karlsruhe, den 20.08.2019

René Germann

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Abstract	iii
Abbildungsverzeichnis	xi
Tabellenverzeichnis	xv
Abkürzungsverzeichnis	xix
Formelzeichen	xxi
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Fokus der Arbeit.....	1
1.2 Aufbau der Arbeit	2
2 Grundlagen und Stand der Forschung	5
2.1 Usability-Aspekte in der nutzerzentrierten Produktentwicklung.....	5
2.1.1 Grundlagen zu Usability-Aspekten.....	6
2.1.2 Anforderungen zur Berücksichtigung von Usability-Aspekten in der Produktentwicklung.....	10
2.1.3 Zwischenfazit zu Usability-Aspekten in der nutzerzentrierten Produktentwicklung.....	15
2.2 Aufbau von Studien zur Erfassung der Usability-Aspekte	16
2.2.1 Aufbau valider Probandenversuche mit Power-Tools	16
2.2.2 Formen von Probandenbefragungen	25
2.2.3 Zwischenfazit zum Aufbau von Studien zur Erfassung der Usability-Aspekte	36
2.3 Durchführung von Anwendungsfallstudien.....	37
2.3.1 Erhebung des Nutzungskontextes	37
2.3.2 Identifizierung von Entwicklungspotentialen mittels Anwendungsfallstudien von Power-Tools	41
Zwischenfazit zur Durchführung von Anwendungsfallstudien	46

2.4	Störgrößen bei der Erfassung von Usability-Aspekten.....	46
2.4.1	Einfluss der Expertise auf die Produktbewertung.....	48
2.4.2	Einfluss der Marke auf die Produktbewertung.....	53
2.4.3	Zwischenfazit zu Störgrößen bei der Erfassung von Usability-Aspekten.....	57
2.5	Usability-Aspekte zur Entwicklung optimierter Griffgeometrien von Power-Tools.....	58
2.5.1	Rahmenbedingungen zur Entwicklung von Griffgeometrien von Power-Tools.....	59
2.5.2	Einfluss der Griffgeometrie auf die Kraftverteilung des Anwenders.....	61
2.5.3	Einfluss der Griffgeometrie auf die empfundene Anwendungseignung eines Power-Tools.....	64
2.5.4	Einfluss der anthropometrischen Eigenschaften des Anwenders auf eine optimale Griffgeometrie.....	66
2.5.5	Ansätze zur Entwicklung einer optimalen Griffgeometrie.....	69
2.5.6	Zwischenfazit zu Usability-Aspekten bei der Entwicklung optimierter Griffgeometrien von Power-Tools.....	71
3	Motivation und Zielsetzung.....	73
4	Vorgehensweise und Forschungsdesign.....	77
5	Experimentelle Identifikation von Usability-Aspekten.....	83
5.1	Motivation und Zielsetzung.....	83
5.2	Versuchsumgebung und Methodenaufbau.....	85
5.2.1	Aufbau des Experiments.....	85
5.3	Ergebnisse.....	92
5.3.1	Unterschiede im Bewertungsverhalten im Vergleich zwischen professionellen und nicht professionellen Anwendern.....	92
5.3.2	Relevante Usability-Aspekte für die Bewertung der Anwendungseignung einer Power-Tool Griffgeometrie.....	94
5.4	Diskussion.....	95
5.5	Zwischenfazit zur experimentellen Identifikation von Usability-Aspekten.....	98

6 Experimentelle Berücksichtigung von Störgrößen.....	101
6.1 Ansatz zur Berücksichtigung der Störgröße: Expertise	101
6.1.1 Motivation und Zielsetzung	102
6.1.2 Versuchsumgebung und Methodenaufbau	103
6.1.3 Ergebnisse	116
6.1.4 Diskussion	122
6.1.5 Zwischenfazit zum Aufbau des Reduktionsansatzes zur Berücksichtigung der Störgröße Expertise.....	126
6.2 Ansatz zur Berücksichtigung der Störgröße: Markeneinfluss.....	128
6.2.1 Motivation und Zielsetzung	128
6.2.2 Versuchsumgebung und Methodenaufbau	130
6.2.3 Ergebnisse	140
6.2.4 Diskussion	145
6.2.5 Zwischenfazit zum Aufbau des Reduktionsansatzes zur Berücksichtigung der Störgröße Markeneinfluss.....	150
7 Anwendung der Forschungsansätze und Identifikation neuer Störgrößen	153
7.1 Anwendung der Ansätze zur Reduzierung des Störgrößeneinflusses	153
7.1.1 Motivation und Zielsetzung	154
7.1.2 Versuchsumgebung und Methodenaufbau	157
7.1.3 Ergebnisse	168
7.1.4 Diskussion	177
7.1.5 Zwischenfazit zur Anwendbarkeit der Reduktionsansätze in Entwicklungsprojekten	181
8 Zusammenfassung und Ausblick.....	187
8.1 Zusammenfassung.....	187
8.2 Ausblick.....	192
Literaturverzeichnis.....	XXIII
Glossar	XLI
Anhang A.....	XLIII

Anhang B	XLV
Anhang C	XLVII
Anhang D	XLIX
Anhang E	LI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Komponenten der menschenzentrierten Qualität	7
Abbildung 2:	Zusammenhang zwischen Nutzungskontext und wahrgenommener Gebrauchstauglichkeit von Produkten .	11
Abbildung 3:	Aufbau von Produkttests: Funktions- und Verbraucherakzeptanztests	12
Abbildung 4:	Einfluss der Erfahrungszeit auf die Bewertung von Produkten	27
Abbildung 5:	Endpunktbenannte Ordinal-Skala, mit konstantem Item Abstand	33
Abbildung 6:	Störgrößen bei der Bearbeitung von Fragebögen	35
Abbildung 7:	Bestandteile des Nutzungskontext	38
Abbildung 8:	Multiview Kamera- und Bewegungsanalyse:	41
Abbildung 9:	EMG-Signale und Reaktionskräfte in Abhängigkeit der Wandhöhe	44
Abbildung 10:	Einsatz von Bohrmaschinen durch Dachdecker	45
Abbildung 11:	Produkt – Design – Qualitäts – Modell.....	47
Abbildung 12:	Maximale Greifkräfte in Abhängigkeit der Griffweite und Expertise.....	60
Abbildung 13:	Kraftangriffspunkte und Richtungen bei der Benutzung unterschiedlicher Power-Tools mit Umfassungsgriff.....	61
Abbildung 15:	Kraftverteilung über die einzelnen Finger des Anwenders.	63
Abbildung 16:	Einfluss des Griffdurchmessers auf die empfundene Anwendungseignung	65
Abbildung 17:	Anthropometrische Abmessungen der Hand	67
Abbildung 18:	Einfluss anthropometrischer Unterschiede auf die maximale Greifkraft.....	68
Abbildung 19:	Aufbau des Forschungsdesign mit Vorstellung der Hypothesen	78
Abbildung 20:	Forschungsvorgehen und Ergebnisse	81

Abbildung 21:	Erfasste Abmessungen der Griffgeometrie der verwendeten Akkuschrauber.....	85
Abbildung 22:	Versuchsaufbau der Vorbenutzungsphase.....	89
Abbildung 23:	Durchführung von Testanwendungen mit Akkuschraubern	90
Abbildung 24:	Lasso-Wege des finalen Schrumpfungmodells der kategorialen Regressionsanalyse.....	95
Abbildung 25:	geschwärzte, magazinierte Trockenbauschrauber	104
Abbildung 26:	Teilaktivitäten der Anwendung „Befestigen von Gipskartonplatten“	106
Abbildung 27:	Teilszenen aus dem Basis-Trainingsvideo	109
Abbildung 28:	Benutzungsreihenfolge und Ablauf der Bewertungen der magazinierten Trockenbauschrauber	110
Abbildung 29	Montage von Gipskartonplatten auf CW-Profilen im Power-Tool Testcenter des KIT	112
Abbildung 30:	Prozentuale relative Häufigkeit der bewerteten Schlüsselkriterien	121
Abbildung 31:	Eingesetzte Akkuschrauber in original gelabelter und anonymisierter Form.....	132
Abbildung 32:	Aufbau des Prüfstandes innerhalb des Baumarkts.....	134
Abbildung 33:	Experimentaler Versuchsaufbau zur Beurteilung der Anwendungsqualität	138
Abbildung 34:	Ergebnisse für die Bewertung der Anwendungsqualität der Akkuschrauber.....	142
Abbildung 35:	Einflüsse von Usability-Aspekten, Störgrößen und Reduktionsansätzen	155
Abbildung 36:	Entwicklung des Akkuschraubers mit modularer Griffgeometrie.....	158
Abbildung 37:	Aufbau des modularen Akkuschrauber.....	159
Abbildung 38:	Inhalte des Schulungsvideos zur professionellen Benutzung und Bewertung von Akkuschraubern	164
Abbildung 39:	Q1: 7-stufige Skala zur Bewertung des Dis-Komforts der Griffgeometrie.....	164
Abbildung 40:	Arbeitshaltung von geschulten, nicht professionellen Probanden	169

Abbildung 41:	Ungefilterte Dis-Komfortbewertung der Griffschale von Makita	170
Abbildung 42:	Einfluss des Bewertungszeitpunktes bei Bewertungen ohne Angabe von Druckstellen	174
Abbildung 43:	Einfluss des Bewertungszeitpunktes bei Bewertungen mit Angabe von Druckstellen	175
Abbildung 44:	Berechnete Bewertungsdifferenzen zwischen den Griffschalen	177
Abbildung 45:	Erweiterte Darstellung zu Einflussgrößen auf die Bewertung der wahrgenommenen Anwendungseignung	184

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Durchschnittliche anthropometrische Maße der Hand.....	67
Tabelle 2:	Empfehlungen zur optimalen Griffgeometrie	70
Tabelle 3:	Griffgeometrieparameter für Akkuschauber und Schlagschauber.....	86
Tabelle 4:	Perzentile Häufigkeitsverteilung der anthropometrischen Handdaten der Probanden	88
Tabelle 5:	Bewertungsbogen zur Griffgeometrie	88
Tabelle 6:	Bewertungsbogen zur Griffgeometrie nach aktiver Benutzung der Power-Tools	91
Tabelle 7:	Übersicht zu abhängigen und Unabhängigen Variablen der statistischen Untersuchung.....	92
Tabelle 8:	Varianzanalyse der Bewertungen von professionellen und nicht professionellen Anwendern.....	93
Tabelle 9:	Systemdaten und geometrische Unterschiede von Trockenbauschraubern.....	103
Tabelle 10:	Fragebogen zur Evaluierung der Anwendungseignung von Trockenbauschraubern.....	113
Tabelle 11:	Versuchsvariablen zur Analyse der Professionalität im Einsatz.....	114
Tabelle 12:	Versuchsvariablen zur Analyse der Berücksichtigung relevanter Bewertungskriterien	115
Tabelle 13:	Versuchsvariablen zur Analyse der Präferenzstärke in Abhängigkeit der Professionalität	116
Tabelle 14:	Merkmale der professionellen Arbeitsweise in Abhängigkeit von der Trainingsmethode	117
Tabelle 15:	Regressionsanalyse der charakteristischen Arbeitsweise	117
Tabelle 16:	Bewertete Schlüsselkriterien in Abhängigkeit der Schulungsmethode.....	119
Tabelle 17:	Pearson Chi ² -Test – Bewertete Schlüsselkriterien	120
Tabelle 18:	Auswertung der Varianzanalyse (ANOVA)	122

Tabelle 19:	Von Anwendern wahrgenommene Bekanntheit, Sympathie und Einsatzqualität	131
Tabelle 20:	Vorgelegter Fragebogen während der Testphase	136
Tabelle 21:	Versuchsvariablen zur Analyse des Markeneinflusses in der initialen und der praktischer Testphase	139
Tabelle 22:	Versuchsvariablen zur Analyse des Einflusses der praktischen Benutzung auf den Markeneinfluss	140
Tabelle 23:	Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests	141
Tabelle 24:	Shapiro-Wilk Test zur Analyse der Standardabweichung auf Normalverteilung	143
Tabelle 25:	Ergebnisse des Wilcoxon signed rank Test	144
Tabelle 26:	Veränderung der Standard-Abweichung durch den praktischen Einsatz.....	144
Tabelle 27:	Untersuchung des reduzierenden Einflusses der praktischen Benutzung auf die Präzision der Bewertung.....	145
Tabelle 28:	Abmessungen der Griffschalen für den modularen Akkuschauber.....	160
Tabelle 29:	Standardabweichung und Bewertungsergebnisse der durchgeführten Studie von Kapitel 5 mit original gelabelten Geräten.....	162
Tabelle 30:	Perzentile Häufigkeitsverteilung der anthropometrischen Handdaten der Probanden	163
Tabelle 31:	Definierte Schlüsselkriterien zur Bewertung der Anwendungseignung der Griffgeometrie	166
Tabelle 32:	Versuchsvariablen zur Analyse von störgrößenbehafteten Ergebnissen der wahrgenommenen Anwendungseignung	167
Tabelle 33:	Shapiro-Wilk Test zur Analyse der Dis-Komfortbewertung auf Normalverteilung.....	171
Tabelle 34:	Analyse der Griffgeometriebewertungen hinsichtlich wahrgenommener Druckstellen und Formkanten	172
Tabelle 35:	Analyse der Bewertungsunterschiede bei Bewertungen mit und ohne deklarierte Druckstellen	173

Tabelle 36:	Shapiro-Wilk Test zur Analyse der Bewertungsdifferenzen auf Normalverteilung.....	176
Tabelle 37:	T-Verteilungstabelle.....	LII

Abkürzungsverzeichnis

min.	minimal
max.	maximal
Q1...n	Fragestellung 1...n
Pkt.	Item-Punkte auf Skala
p-Anwender	Professionelle Anwender
np-Anwender	Nicht professionelle Anwender
Arbeitsausführung np	Nicht professionelle Arbeitsausführung
Arbeitsausführung tp	Teilweise professionelle Arbeitsausführung
Arbeitsausführung p	Professionelle Arbeitsausführung
kS	Keine Schulung
bS	Basisschulung
eS	Erweiterte Schulung
Bw.	Bewertung
SD	Semantische Differentialskala
LS	Likert Skala
N	Nominal Skala

Formelzeichen

d	Kritische Differenz
sem	Standardfehler
n	Größe der Stichprobe
s	Standardabweichung
df	Freiheitsgrad
p	Asymptotische Signifikanz
χ^2	Chi-Quadrat Wert
α	Irrtumsniveau des Konfidenzintervalls
β	Beta-Faktor
R^2	Bestimmtheitsmaß
r	Maß für die Effektstärke
<i>Kramers V</i>	Maß für die Effektstärke
φ	Maß für die Effektstärke
F	F-Wert der F-Verteilung
t	t-Wert der t-Verteilung
Z	Z-Wert der Z-Verteilung

1 Einleitung

1.1 Motivation und Fokus der Arbeit

Schon lange hat sich der Aspekt der positiven Produktwahrnehmung als Basisanforderung in der Produktentwicklung etabliert. Intuitiv wird dabei der Zusammenhang zu einer vollständig umgesetzten Produktfunktion vermutet, wobei sich oftmals zeigt, dass erst die Berücksichtigung der anwendungsspezifischen Produkthanforderungen zur gewünschten Kausalität führt.¹ Ein Trend, der sich mit dieser Problemstellung beschäftigt, ist die nutzerzentrierte Produktentwicklung, mit welcher versucht wird, versteckte bzw. nicht klar formulierbare Kundenbedürfnisse zu identifizieren und diese innerhalb der Produktentwicklung zu berücksichtigen. *Lead Customer*, *Kundenworkshops*, *Feldstudien*, *Akzeptanztests* und weitere, die Liste der Ansätze, um das Kundenbedürfnis und die Akzeptanz der Produkte zu erfassen, ist umfangreich². Je stärker der Anwender des Produkts direkt mit diesem interagiert und das Arbeitsergebnis unmittelbar beeinflusst, desto wichtiger werden diese Ansätze. In Folge dessen steigen die Anforderungen an Produkte hinsichtlich des gesundheitstechnischen Schutzes des Anwenders an, wobei gleichzeitig die Ansprüche an die Performance der Systeme in Kombination mit dem Anwender immer weiter zunehmen³. Für den professionellen Anwender konzipierte Power-Tools spielen in diesem Zusammenhang eine wesentliche Rolle. Power-Tools stehen im direkten Informations- und Leitungsfluss mit dem Anwender, können vielseitig eingesetzt werden und sind oft über mehrere Stunden am Stück im Betrieb, wobei der Bediener auf unterschiedlichste Art (Vibrationen, Geräusch, Staub, Körperhaltung, etc.) belastet wird. Die Vielfältigkeit der Einsatzmöglichkeiten, aber auch die große Anzahl an möglichen Einflüssen auf die Wahrnehmung des Anwenders, stellt die Produktentwicklung vor eine Herausforderung⁴. Ein Ziel der Produktentwicklung ist es daher, relevante Einflussgrößen zu identifizieren.

¹ Hassenzahl (2010); Piller (2007); Vesna Popovic (1997).

² Goehermann (2004); Jong und Vink (2000).

³ Vedder und Carey (2005).

⁴ Dumas und Redish (1999).

zieren und innerhalb von Testfällen abzubilden, damit eine Validierung der Produkte unter objektiven Versuchsbedingungen durchgeführt werden kann⁵. Zur Identifizierung dieser relevanten Einflussgrößen werden unter anderem mit den oben beschriebenen Ansätzen Anwender des zu entwickelnden Power-Tools befragt und bei der Anwendungsdurchführung analysiert. Herausfordernd bei dieser Form der Erfassung des Anwenderbedürfnisses ist der überwiegend auf der subjektiven Wahrnehmung des Anwenders basierte Erkenntnisgewinn zu den bewerteten Power-Tools. Zusätzlich verfälscht der Einfluss unterschiedlichster Störgrößen die subjektiven Bewertungsergebnisse, wobei der Entwickler keine konkreten Informationen zum Ursprung und Ausmaß hat, da mit aktuellen Ansätzen der nutzerzentrierten Produktentwicklung diese kaum berücksichtigt werden⁶. Sind die Anwenderbedürfnisse erfasst, muss der Entwickler zudem entscheiden, welche der identifizierten Anforderungen die höchste Relevanz hat und welcher konkrete Aspekt oder Gestaltparameter entsprechend am jeweiligen Power-Tool optimiert werden muss. Im Sinne einer effizienten und effektiven Produktentwicklung von Power-Tools, welche in der Lage ist, Produkte auf den Anwender optimiert zu entwickeln, gilt es daher Ansätze aufzubauen, welche den Entwickler bei diesen Tätigkeiten unterstützen. Die Entwicklung von Handlungsansätzen zur Berücksichtigung von Störgrößen bei der Erfassung der subjektiv wahrgenommenen Anwendungseignung, sowie die Übertragung der entwickelten Ansätze auf neue Entwicklungsfragestellungen zur Identifizierung relevanter Aspekte zur Optimierung von Power-Tools, steht daher im Fokus dieser Arbeit und wird im Folgenden vorgestellt.

1.2 Aufbau der Arbeit

Zur Identifikation und Schärfung der Forschungslücke wird innerhalb dieser Arbeit zunächst ein umfassender Überblick über den Stand der Forschung (Kapitel 2) zur nutzerzentrierten Entwicklung von Power-Tools und zum Aufbau von objektiven Versuchen im Labor gegeben. Des Weiteren wird der Einfluss von bekannten Störgrößen auf die subjektive Qualitätswahrnehmung des Anwenders basierend auf bestehenden Forschungsstudien analysiert und durchgeführte Entwicklungsarbeiten am Beispiel der Griffgeometrie vorgestellt, welche innerhalb der Validierung dieser Arbeit herangezogen werden. Innerhalb von

⁵ Matthiesen et al. (2016).

⁶ Vink und Hallbeck (2012).

Kapitel 3 wird die aus dem Stand der Forschung motivierte Forschungslücke dieser Arbeit vorgestellt und das daran abgeleitete Forschungsziel erläutert. Weiterhin stellt Kapitel 4 das Forschungsdesign und die Vorgehensweise zur Beantwortung der Forschungsfrage dar. Kapitel 5 beschreibt eine initiale Vorstudie, in welcher der Bedarf der Arbeit verdeutlicht wird und in welcher ein erster Ansatz zur Identifikation relevanter Usability-Aspekte entwickelt wird. Kapitel 6 beschäftigt sich mit dem Aufbau von Ansätzen zur Berücksichtigung der beiden Störgrößen des *Markeneinflusses* und der *Expertise in der Anwendung* auf die Qualitätswahrnehmung der Power-Tool Anwender. In Kapitel 7 wird auf Basis der entwickelten Ansätze eine Studie aufgebaut, innerhalb welcher die Anwendbarkeit und Übertragbarkeit der entwickelten Ansätze verifiziert wird, sowie neue Ansätze vorgestellt, mit Hilfe derer eine Identifikation von bisher unbekanntem Störgrößen erfolgen kann. Die erzielten Ergebnisse aus den Kapiteln 5 - 7 werden in Kapitel 8 zusammengefasst und weitere Forschungsaktivitäten, die aus Sicht des Autors sinnvoll erscheinen, in Aussicht gestellt.

2 Grundlagen und Stand der Forschung

In den folgenden Kapiteln werden die Grundlagen und der aktuelle Stand der Forschung hinsichtlich der Berücksichtigung von Usability-Aspekten innerhalb der nutzerzentrierten Produktentwicklung von Power-Tools aufgezeigt. Dabei werden in Kapitel 2.1 die grundlegenden Zusammenhänge und Einflüsse aufgezeigt, welche bei der Erfassung von Usability-Aspekten berücksichtigt werden müssen. Kapitel 2.2 gibt eine Übersicht zu den im Rahmen dieser Arbeit wichtigsten Methoden und Herangehensweisen zum Aufbau von validen Testumgebungen. In Kapitel 2.3 wird darauf eingegangen, wie aus der Analyse der realen Anwendung Versuche unter Laborbedingungen aufgebaut werden können bzw. wie aus den erfassten Anwenderbedürfnissen Entwicklungsziele für die nutzerzentrierte Produktentwicklung abgeleitet werden können. Potentielle Störgrößen, welche einen signifikanten Einfluss auf die Bewertung der empfundenen Anwendungseignung von Power-Tools haben, werden in Kapitel 2.4 vorgestellt, wobei auf den Einfluss der Expertise und der Marke auf die wahrgenommene Produktbewertung eingegangen wird. Schlussendlich wird mit Kapitel 2.5 der aktuelle Stand der Forschung hinsichtlich der Entwicklung von optimierten Griffgeometrien von Power-Tools vorgestellt, wobei dieser im weiteren Verlauf der Arbeit dazu genutzt wird, die neu entwickelten Ansätze am Beispiel einer Griffgeometrie-Optimierung zu validieren.

2.1 Usability-Aspekte in der nutzerzentrierten Produktentwicklung

Im Folgenden werden die grundlegenden Eigenschaften und Hintergründe zu Usability-Aspekten vorgestellt und wie diese innerhalb der nutzerzentrierten Produktentwicklung berücksichtigt und genutzt werden können.

2.1.1 Grundlagen zu Usability-Aspekten

In der modernen Produktkonzipierung wird seit einigen Jahren dem stetig wachsenden Trend der nutzer- bzw. menschenzentrierten Produktentwicklung gefolgt⁷, durch welchen ein Produkt nicht mehr nur funktionieren, sondern auch hohen subjektiven Komfortansprüchen der Nutzer gerecht werden soll⁸. Vor allem das gestiegene Bewusstsein der Anwender im Bereich der Gesundheitsgefährdung durch die längere Benutzung von Produkten nimmt einen wesentlichen Stellenwert für den Anwender ein⁹. Aber auch aus Herstellersicht wird durch die angepasste Entwicklung von Produkten auf den adressierten Anwender ein großer Mehrwert gesehen. Durch die Optimierung der Systeme auf die Nutzeranforderungen steigt nachweislich die Produktivität und damit auch die Qualitätswahrnehmung beim Anwender an¹⁰. Optimierungen im Bereich der nutzerzentrierten Produktentwicklung können daher einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil liefern¹¹. Trotz dieser vielversprechenden Aussichten zeigen Studien, dass nutzerzentrierte Ansätze zu wenig in der Produktentwicklung umgesetzt werden¹². Dies liegt bis zu einem gewissen Grad an den hohen Kosten, welche bei der Erfassung umfangreicher Daten zur Bestimmung des Nutzerbedürfnisses entstehen¹³. Zusätzlich stehen Produktentwickler aber vor der Herausforderung, dass erkannte Nutzerbedürfnisse oft nicht ohne weiteres auf konkrete Entwicklungszielgrößen übertragen werden können¹⁴. Ein wichtiges Ziel der Produktentwicklung ist es daher, relevante Nutzerbedürfnisse, welche einen direkten Einfluss auf das subjektiv wahrgenommene Qualitätsempfinden haben, zu identifizieren und quantifizieren und diese danach innerhalb neuer Produktgenerationen zu berücksichtigen¹⁵. In der DIN EN ISO 9241-220 wird hierbei von den menschenzentrierten Qualitätszielen gesprochen, welche innerhalb der Gestaltung von interaktiven Systemen angestrebt werden, wodurch sich die so genannte menschenzentrierte Qualität maximiert. Diese wiederum setzt sich aus den Ansätzen der Gebrauchstauglichkeit (Usability), der User

⁷ Mao et al. (2005).

⁸ Ting und Chen (2002).

⁹ M. de Looze et al. (2001); Vedder und Carey (2005).

¹⁰ Kuijt-Evers et al. (2007); Päivinen und Heinimaa (2009).

¹¹ Cooper und Kleinschmidt (1987); Piller (2007).

¹² Hutchison et al. (2013); Mao et al. (2005); Reinicke und Blessing (2007).

¹³ Kittl (2009).

¹⁴ Gochermann (2004).

¹⁵ Albers et al. (2018).

Experience, der Zugänglichkeit und der Schadensvermeidung zusammen. Abbildung 1 zeigt die einzelnen Komponenten und gibt jeweils einen kurzen Einblick in die Inhalte der Bereiche.¹⁶

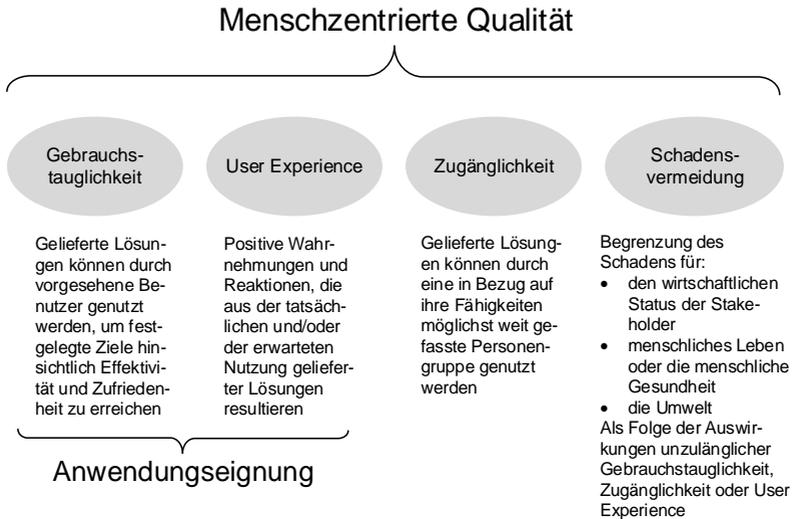


Abbildung 1: Komponenten der menschzentrierten Qualität und Einordnung der Begrifflichkeit der „Anwendungseignung“ in Anlehnung an DIN EN ISO 9241-220¹⁷

Im Verlauf dieser Arbeit wird explizit auf Systeme eingegangen, bei denen der Anwender während der Benutzung in direkter Interaktion, also im direkten Leistungs- und Informationsfluss, mit dem Produkt, steht, das heißt aktiv mit dem System interagiert. Systeme bei denen dies der Fall ist, sind u.a. Power-Tools und handgehaltene Werkzeuge. Unter Power-Tools wird dabei das System aus handgehaltener Maschine (Beispielsweise: Bohrhämmer, Akkuschauber oder Winkelschleifer) und dem Einsatzwerkzeug (Beispielsweise: Bohrer, Bit, Trennscheibe) verstanden, wobei die handgehaltene Maschine in Anlehnung an die DIN EN ISO 11148-13 wie folgt definiert ist:

¹⁶ DIN EN ISO 9241-220.

¹⁷ DIN EN ISO 9241-220.

Maschine, die mit einer Hand oder beiden Händen betätigt wird und die durch einen Motor mit rotierender oder linearer Bewegung elektrisch (durch Netzspannung oder Akkumulator), mit Druckluft, gasförmigem oder flüssigem Brennstoff (durch eine Batterie oder einen Akkumulator entzündet) oder gespeicherter Energie (z. B. aus Federn) angetrieben wird, um mechanische Arbeit zu leisten und die so gestaltet ist, dass Motor und Mechanismus eine Einheit bilden, die leicht an ihren Verwendungsort gebracht werden kann.¹⁸

Power-Tools werden dabei vom professionellen Handwerker in der täglichen Arbeit eingesetzt und unterstützen diesen bei seiner Anwendungsausführung¹⁹. Hierbei gilt, je mehr der Anwender während der ausgeführten Anwendung mit dem Produkt in direkter Interaktion steht, desto mehr beeinflusst das Systemverhalten in der Anwendung das subjektive Qualitätsempfinden²⁰. Durch diese Besonderheit muss bei der Erfassung der menschenzentrierten Qualität solcher aktiv interagierender Systeme der Einfluss der Anwendung und der Umwelt deutlich stärker berücksichtigt werden, als es bei gängigen Bewertungen der Fall ist²¹. Als Konsequenz daraus ist es für die Produktentwicklung entscheidend, subjektive Qualitätseindrücke, die aus der Anwendungsausführung von Power-Tools hervorgehen, isoliert zu erhalten, um diese innerhalb der Entwicklung zu berücksichtigen bzw. zu optimieren. Um diesen besonderen Einfluss der Anwendung auf das subjektive Qualitätsempfinden zu berücksichtigen, verwenden Matthiesen und Germann den Begriff der empfundenen Anwendungsqualität²². Bei der Beurteilung der Anwendungsqualität eines Power-Tools sind zwei entscheidende Faktoren wichtig: die objektive *technische Funktionsfähigkeit* und die subjektiv wahrgenommene *Funktionalität in der Anwendung*²³. Dabei bezieht sich die *technische Funktionsfähigkeit* auf die technisch einwandfreie Durchführung einer gewünschten Tätigkeit, ohne Schädigung des Power-Tools oder sonstigen negativen Funktionserscheinungen während der Funktionserfüllung²⁴. Der Begriff der subjektiv wahrgenommenen *Funktionalität* in der Anwendung, welcher im Folgenden als *Anwendungseignung* definiert wird, ist eng verwandt mit dem Begriff der Gebrauchstauglichkeit [eng. Usability]²⁵ und

¹⁸ DIN EN ISO 11148-13.

¹⁹ Lindqvist und Skogsberg (2007).

²⁰ Fraser (1980); Matthiesen et al. (2014); Mussnug et al. (2017).

²¹ Aptel et al. (2002).

²² Matthiesen und Germann (2017).

²³ Khalid und Helander (2006); Kuijt-Evers et al. (2005).

²⁴ Matthiesen und Germann (2018).

²⁵ DIN EN ISO 9241-11.

der User Experience. Im Unterschied zu den genannten, gibt es jedoch einen klaren Fokus auf das Zusammenspiel zwischen dem Anwender, dem in einer definierten Anwendung eingesetzten Power-Tool und dem daraus resultierenden Anwendungserlebnis, wobei explizit die subjektive Wahrnehmung des Anwenders bezüglich der Eignung des Power-Tools zur Durchführung der Anwendung erfasst wird. Die Anwendungseignung ist daher definiert als.

Subjektiv wahrgenommenes Ausmaß, wie effektiv, effizient und zufriedenstellend mit einem Power-Tool, durch einen definierten Anwender, relevante Anwendungen zielführend durchgeführt werden können²⁶.

Je besser dabei die Anwendungseignung eines Power-Tools ist, desto positiver wirkt sich dies auf die empfundene Anwendungsqualität aus. Soll ein Anwender also von der Anwendungsqualität eines neuen Power-Tools bestmöglich überzeugt werden, ist es vor allem die Anwendungseignung, welche erfasst und in der Produktentwicklung genutzt werden kann, um den entscheidenden Unterschied auszumachen²⁷. Problematisch dabei ist, dass die Anwendungseignung auf der subjektiven Wahrnehmung des Anwenders beruht und dadurch von unterschiedlichsten Aspekten beeinflusst wird²⁸, wobei nicht alle Aspekte einen direkten Zusammenhang mit Produkteigenschaften haben. Nach Kuijt-Evers et al. können solche im Folgenden *Usability-Aspekte* genannte Aspekte dabei von physischer, physiologischer oder psychologischer Natur sein, wobei sich alle gegenseitig beeinflussen²⁹. Vergleichbar dazu wird in der DIN EN ISO 9241-210 von physikalischen, sozialen und kulturellen Aspekten gesprochen, welche einen Einfluss auf die wahrgenommene Anwendungseignung haben³⁰. Für die Produktentwicklung von Power-Tools sollen zur Optimierung der Anwendungseignung daher lediglich die Aspekte erfasst werden, welche durch den Entwickler beeinflussbar sind und im Fokus seiner Entwicklung stehen³¹. Usability-Aspekte, wie beispielsweise bestehende Vorurteile des Nutzers, Emotionen oder das Erfahrungswissen des Einzelnen sollen nach Möglichkeit nicht erfasst werden.³² Diese für die Produktentwicklung unerwünschten Usability-Aspekte,

²⁶ Vgl. Matthiesen und Germann (2017).

²⁷ Linares und Page (2011).

²⁸ Hofbauer (2014).

²⁹ Kuijt-Evers et al. (2004).

³⁰ DIN EN ISO 9241-210.

³¹ Kuijt-Evers et al. (2005).

³² Mooy und Robben (2002); Mussnug et al. (2015); Spielholz et al. (2001).

welche im Folgenden als *Störgrößen* bezeichnet werden, stellen für die nutzerzentrierte Produktentwicklung ein Problem dar: Die Erfassung der Anwendungseignung erfolgt meist mittels Beobachtungs- oder Befragungsmethoden (Fragebögen, Interview, Befragungen, etc.), wobei neben gewünschten Usability-Aspekten fast immer auch Störgrößen erfasst werden, welche sich gegenseitig stark beeinflussen³³. Das Risiko, dass aus den Ergebnissen der erfassten Anwendungseignung Entwicklungspotentiale abgeleitet werden, welche der objektiven Anwendungseignung nicht oder nur teilweise entsprechen und deren Umsetzung innerhalb der Produktentwicklung entsprechend nicht zu einer optimalen vom Nutzer wahrgenommenen Anwendungsqualität führt, steigt entsprechend an³⁴. Der Produktentwickler steht hier vor der Herausforderung, Usability-Aspekte möglichst isoliert und ohne den Einfluss von Störgrößen zu erfassen, wobei im aktuellen Stand der Forschung nur sehr begrenzt Ansätze bestehen, welche im folgenden Kapitel vorgestellt werden.

2.1.2 Anforderungen zur Berücksichtigung von Usability-Aspekten in der Produktentwicklung

Für die Entwicklung von nutzerzentrierten Produkten, welche genau auf die Bedürfnisse des Nutzers abgestimmt sein sollen, gibt es im Stand der Forschung unterschiedliche methodische Ansätze, welche das Ziel haben, relevante Usability-Aspekte zu identifizieren. Auf Grund der aktiven Interaktion und daraus resultierender vielseitiger Abhängigkeiten zwischen Anwender, Produkt und Umgebung, können Usability-Aspekte nicht am isolierten Produkt erfasst werden, sondern müssen in den Bezug des Nutzungskontextes gestellt werden.³⁵ In den internationalen Standards der DIN EN ISO 9241-11 werden dazu die Zusammenhänge zwischen dem Nutzungskontext und dem Ergebnis der Nutzung aufgezeigt. Aus Abbildung 2 wird ersichtlich, dass sich der Nutzungskontext aus den Eigenschaften des Systems oder Produkts zusammensetzt, welches in Interaktion mit dem Benutzer, der Umgebung, dem Ziel oder der Arbeitsaufgabe und den zur Verfügung stehenden Ressourcen steht.³⁶ Die Ergebnisse der wahrgenommenen Usability-Aspekte hängen dabei stark von den Merkmalen und Ausprägungen der einzelnen Faktoren ab.

³³ Aptel et al. (2002); Vink und Hallbeck (2012).

³⁴ DIN EN ISO 9241-210; Spielholz et al. (2001); Vedder und Carey (2005).

³⁵ Aptel et al. (2002); Dumas und Redish (1999).

³⁶ DIN EN ISO 9241-11.

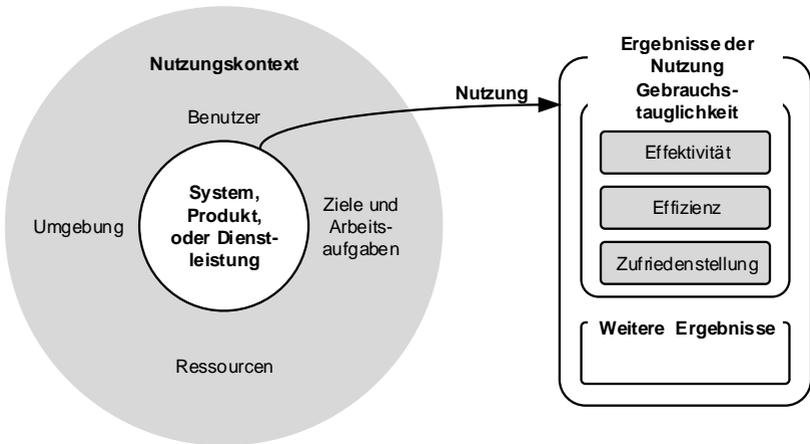


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Nutzungskontext und wahrgenommener Gebrauchstauglichkeit von Produkten³⁷

Um eine Erfassung der Usability-Aspekte zu realisieren, muss daher zunächst ein umfassendes Systemverständnis aufgebaut werden. Dabei sollten relevante Anwendungen und Umgebungseinflüsse, sowie charakteristische Eigenschaften des Benutzers und allgemeine Rahmenbedingungen analysiert und dokumentiert werden³⁸. Hierbei genügt es nicht, lediglich punktuelle Eindrücke der Produktinteraktion zu erfassen, da sich Bewertungskriterien aufgrund von sich ändernden Anwendungen und Rahmenbedingungen ständig ändern und entsprechend umfangreich erfasst werden müssen.³⁹ Khalid und Helander führen in diesem Zusammenhang Versuche durch und bestätigen, dass Wahrnehmungen und Emotionen bezüglich eines Produkts immer vom Kontext abhängen. Prinzipiell variiert die Produktwahrnehmung dabei bei jedem Individuum und hängt von persönlichen Einstellungen ab, welche wiederum beispielsweise von Erfahrungen, der aktuellen Stimmung und psychologischen Einflüssen reguliert werden.⁴⁰ Die Forderung der Objektivität, Reliabilität und Validität der Versuche ist daher entscheidend und wird in Kapitel 2.2.1 näher beleuchtet. Weiterhin werden in Kapitel 2.3 Ansätze vorgestellt, mit welchen ein umfang-

³⁷ DIN EN ISO 9241-11.

³⁸ Dianat et al. (2017); Hassenzahl (2010).

³⁹ Jia-Hua Lin und McGorry (2009).

⁴⁰ Khalid und Helander (2006).

reiches Systemverständnis durch die Durchführung von Anwendungsfallstudien aufgebaut werden kann, auf Basis derer wiederum Testfälle für Laborstudien abgeleitet werden können.

2.1.2.1 Grundlagen zur Berücksichtigung von Usability-Aspekten

Werden bestehende Ansätze betrachtet, mit welchen Usability-Aspekte identifiziert und erfasst werden, findet sich im Stand der Forschung der Ansatz von Produkttests. Ausgehend vom Ansatz, dass Usability-Aspekte entweder auf eine mangelnde Funktionalität oder auf die fehlende Akzeptanz beim Kunden zurückzuführen sind, werden in Produkttests beide Bereiche separat untersucht⁴¹. Produkttests teilen sich entsprechend in Funktionstests und Verbraucherakzeptanztest auf. Abbildung 3 zeigt den grundlegenden Aufbau von Produkttests mit den jeweiligen Inhalten.

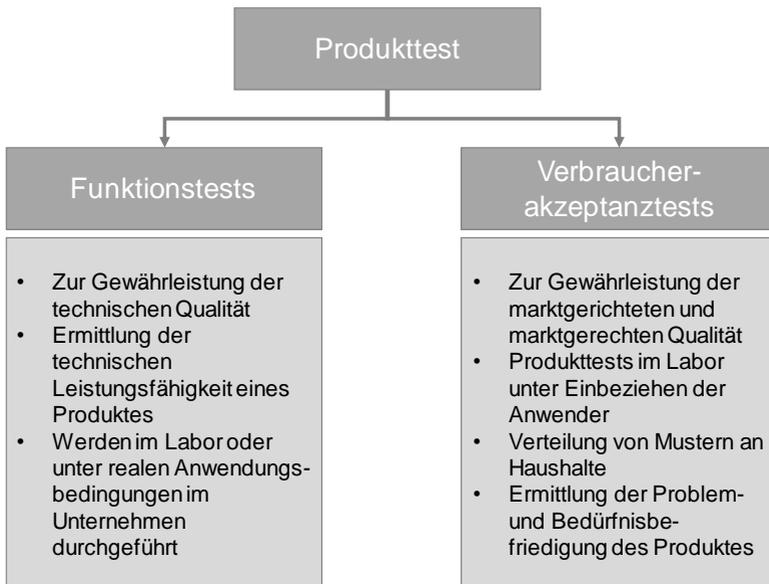


Abbildung 3: Aufbau von Produkttests: Funktions- und Verbraucherakzeptanztests⁴²

⁴¹ Brockhoff (1999); Vesna Popovic (1997).

⁴² Hofbauer und Schweidler (2006, S. 424).

Im Sinne einer validen Qualitätssicherung müssen Funktionstests stets unter realitätsnahen Bedingungen stattfinden⁴³. Dazu können Versuche unter Laborbedingungen oder innerhalb von Feldtests stattfinden. Ziel der Funktionstests ist es, noch vor Freigabe der Serienentwicklung Defizite zu erkennen, damit diese behoben werden können⁴⁴. Im Gegenzug dazu verfolgt die Durchführung von Verbraucher- bzw. Kundenakzeptanztests das Ziel, die subjektiv empfundene Eignung von Produkten möglichst frühzeitig zu ermitteln. Die Versuche können dabei in zwei Gruppen eingeteilt werden, die so genannten monadischen (Einzeltest) und nicht monadischen Tests (Mehrfachtest). Der Unterschied zwischen diesen beiden Testformen besteht in der Bereitstellung der Produkte. Beim Einzeltest wird immer nur das neue Produkt dem Kunden vorgestellt und von diesem bewertet. Die Testdurchführung ist mit relativ geringem Aufwand möglich, durch den fehlenden Vergleich zu anderen Produkten kann es allerdings dazu kommen, dass die Bewertung durch äußere Einflüsse stark verzerrt wird. Beim Mehrfachtest werden mehrere Vergleichsprodukte und das neue Produkt vorgestellt, wodurch die Bildung einer Rangfolge an Produktbewertungen ermöglicht wird⁴⁵ und der Kunde die Möglichkeit hat, die Qualität der Produkte gegeneinander zu vergleichen. Je nachdem ob komplette Produkte oder nur Baugruppen von Produkten bewertet werden sollen, können Kundenakzeptanzstudien in Volltests oder Partialtests untergliedert werden⁴⁶. Damit dies objektiv durchgeführt werden kann, werden Methoden benötigt, die es dem Kunden ermöglichen, Produktdetails unabhängig vom Rest des Systems zu beurteilen. Nieschlag et al. stellt zu diesem Zweck das Eliminationsverfahren und das Substitutionsverfahren vor. Hierbei werden beim Eliminationsverfahren schrittweise Eigenschaften und Merkmale eines Produkts eliminiert. Aus dem Vergleich mit Ergebnissen aus Volltests können im Nachgang direkte Zusammenhänge bezüglich einzelner Merkmale auf die Gesamtbewertung eines Produkts abgeleitet werden. Beim Substitutionsverfahren erfolgt keine Einschränkung einzelner Merkmale, sondern eine aktive Variation von Produkteigenschaften. Interessierende Produktmerkmale werden dabei in unterschiedlichen Ausführungen hergestellt und durch Kunden bewertet⁴⁷. Das Vorgehen begünstigt eine designorientierte Bewertung von Produkteigenschaften, was eine Überführung in konkrete Entwicklungsziele vereinfacht.

⁴³ Berndt (2005, S. 127).

⁴⁴ Hofbauer und Schweidler (2006, S. 424).

⁴⁵ Berndt (2005, S. 127).

⁴⁶ Hofbauer und Schweidler (2006, S. 425).

⁴⁷ Nieschlag et al. (2011, 540f).

2.1.2.2 Ansätze zur Berücksichtigung von Usability-Aspekten

Aus den bisherigen Ausführungen wird klar, dass für die Erfassung der Usability-Aspekte zunächst ein umfangreiches Systemverständnis aufgebaut werden muss, um Zusammenhänge zwischen Stakeholdern zu detektieren, die ggf. bei der Erfassung berücksichtigt werden müssen. Auf Basis dieses Systemverständnisses können Versuchsumgebungen (im realen Umfeld oder im Labor) entwickelt werden, innerhalb welcher die Möglichkeit gegeben wird, Produkte oder Produktdetails zu bewerten. Für die Erfassung der Usability-Aspekte müssen weitere methodische Ansätze eingesetzt werden. Hierbei gibt Hofbauer eine grundsätzliche Übersicht, wie Informationen vom Anwender gesammelt und genutzt werden können. Im Folgenden wird eine Auswahl vorgestellt, die im Rahmen dieser Arbeit als relevant angesehen werden:⁴⁸

- **Beobachtung:** Rein äußerliche Beobachtung unterschiedlicher adressierter Anwender, um Reaktionen und Bedürfnisse zu erfassen. Dem Beobachter kommt hier eine zentrale Interpretationsrolle zu.⁴⁹
- **Befragung:** aktive Einbindung des Anwenders in die Bewertung von Produkteigenschaften wie beispielsweise Merkmalen, Funktionalitäten und Leistungsanforderungen⁵⁰. Verbreitete Durchführungsformen sind schriftliche oder persönliche Befragungen, Gruppendiskussionen oder Kundenworkshops. Die Kundenbefragung ist eine der effektivsten Methoden, um bestehende Defizite, Kundenbedürfnisse und Beurteilung von Produkten zu erfassen (vgl. Kapitel 2.2.2.3).⁵¹
- **Beschwerdemanagement:** Einrichten eines barrierefreien Beschwerdemanagements, um Anwendern die Möglichkeit zu geben, ihre Erfahrungen und Bedürfnisse hinsichtlich der Produkteigenschaften zu übermitteln und so direkte Erkenntnisse zu Produktverbesserungen und Innovationen zu erfassen.⁵²
- **Workshops:** Innerhalb von Workshops können komplexe Problemstellungen mit dem Kunden zusammen bearbeitet werden, um so zielgerichtetes und direktes Feedback des Kunden mit in den Produktentwicklungsprozess einzubinden. Der Workshop kann durch Elemente

⁴⁸ Hofbauer (2014).

⁴⁹ Kunz und Mangold (2004).

⁵⁰ Hofbauer (2014).

⁵¹ Gochemann (2004, S. 63).

⁵² Hofbauer (2014).

wie beispielsweise Funktionstests, Kundenakzeptanztests und Produkttest unterstützt werden.⁵³

Bei der Erfassung von Usability-Aspekten für die Produktentwicklung von Power-Tools wird in aktuellen Studien überwiegend die Technik der Befragung und teilweise der Beobachtung eingesetzt, weshalb diese eingehend in Kapitel 2.2.2 beleuchtet werden.

Sowohl bei der Analyse des Gesamtsystems als auch bei der Analyse der Kundenwünsche zeigt sich, dass die Erfassung von Usability-Aspekten innerhalb eines komplizierten Konstrukts aufgebaut werden muss, um alle relevanten Einflüsse zu erfassen. Bestehende methodische Ansätze unterstützen dabei den Entwickler sich der Anforderungen und Einflüsse bewusst zu werden. Sich fortlaufend ändernde Anforderungen, sowie hinzukommende, wegfallende oder variierende Störgrößen, machen eine Erfassung der relevanten Usability-Aspekte allerdings äußerst schwierig⁵⁴. Entsprechend postuliert Aptel et al., dass das Wissen bezüglich der unterschiedlichen Störgrößen stets vorhanden sein muss, um für den Anwender passende Produkte zu entwickeln⁵⁵. Um dieser Forderung innerhalb der Produktentwicklung nachzukommen, muss der Entwickler mit einer Vielzahl an bekannten und unbekanntem Störgrößen umgehen, die bei der Erfassung der Usability-Aspekte berücksichtigt werden müssen. Aktuelle Ansätze bieten hierbei wenig Unterstützung. Es gibt daher einen Bedarf nach neuen Ansätzen, mit Hilfe derer passende Produkte für den Kunden entwickelt werden können.

2.1.3 Zwischenfazit zu Usability-Aspekten in der nutzerzentrierten Produktentwicklung

Je stärker eine aktive Interaktion zwischen dem Anwender und dem System während der Anwendung auftritt, desto mehr muss bei der menschenzentrierten Entwicklung von Produkten der Einfluss der Anwendung auf das Komfortempfinden berücksichtigt werden. Bei der Benutzung von Power-Tools hängt die wahrgenommene Qualität stark von der Eignung des Power-Tools, eine gewünschte Anwendung optimal durchzuführen, ab. Für die Produktentwicklung ist daher die Erfassung von Anforderungen und Bedürfnissen des Anwenders,

⁵³ Hofbauer (2014); Hofbauer und Schweidler (2006).

⁵⁴ Roto et al. (2011).

⁵⁵ Aptel et al. (2002).

die er während der Durchführung relevanter Anwendungen hat, wichtig. Identifizierte Usability-Aspekte unterliegen dem Einfluss von Störgrößen, wodurch falsche Annahmen für die Produktentwicklung getroffen werden. Um die Anwendungsqualität eines Power-Tools zu optimieren, muss daher eine Erfassung von Usability-Aspekten ohne den Einfluss von Störgrößen erfolgen.

2.2 Aufbau von Studien zur Erfassung der Usability-Aspekte

Im Folgenden werden bestehende Ansätze und Methoden zum Aufbau von Versuchsumgebungen vorgestellt, mit welchen die Erfassung von Usability-Aspekten ermöglicht wird. Des Weiteren wird auf die besonderen Umstände eingegangen, welche bei der Durchführung von Probandenversuchen beachtet werden müssen.

2.2.1 Aufbau valider Probandenversuche mit Power-Tools

Um den Produkterfolg zu maximieren, haben Entwickler das Ziel, die Anwendungsqualität von Produkten für den Kunden zu optimieren. Shewhart weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass es allerdings einen Unterschied zwischen der tatsächlichen, objektiven Qualität eines Produkts und der subjektiv vom Kunden wahrgenommenen Qualität (vgl. Anwendungseignung) gibt, wobei die subjektiv wahrgenommene Qualität darüber entscheidet, wie die Einstellung des Kunden dem Produkt gegenüber ist.⁵⁶ Soll ein Produkt also möglichst erfolgreich verkauft werden, gilt es Produkte hinsichtlich der subjektiv wahrgenommenen Anwendungseignung zu optimieren. Damit dies gelingt, muss innerhalb von Versuchen die vom Anwender wahrgenommene Anwendungseignung eines Produkts erfasst und in Entwicklungsziele überführt werden. Für den Aufbau solcher Versuche mit Probanden gibt es einige Randbedingungen, die beachtet werden müssen. Wie bereits mehrfach erwähnt, müssen bei Systemen, welche in aktiver Interaktion mit dem Anwender während der Anwendung stehen, wie es bei Power-Tools der Fall ist, stets die Einflüsse des Anwenders, Power-Tools und der Umgebung/Anwendung berücksichtigt werden.⁵⁷ Für die Durchführung von Versuchen mit Probanden

⁵⁶ Shewhart (1931).

⁵⁷ Aptel et al. (2002); Fraser (1980); Matthiesen et al. (2013).

bedeutet dies, dass zum einen realitätsnahe Bedingungen vorliegen müssen, zum anderen aber auch sämtliche Versuche unter definierten Versuchsumgebungen stattfinden, damit jeder Proband die gleiche Ausgangssituation für die Bewertung hat.⁵⁸ Bei dem im realen Betrieb äußerst individuellen und vielseitigen Einsatz von Power-Tools stellt dies ein Problem dar, da fast nie identische Ausgangssituationen erzeugt werden können. Relevantes Wissen bezüglich der Anwendung wird daher meist innerhalb von Anwendungsfallstudien gesammelt (vgl. Kapitel 2.3) und darauf basierend Versuche unter kontrollierbaren Bedingungen aufgebaut. Um sicherzustellen, dass die durchgeführten Versuche relevante Erkenntnisse zur Optimierung der subjektiv wahrgenommenen Anwendungseignung liefern, müssen definierte Gütekriterien bei der Versuchsplanung und Durchführung eingehalten werden. Ein Versuch muss dabei stets die drei Gütekriterien der Objektivität, der Reliabilität und der Validität erfüllen, damit aus den Messergebnissen verlässliche Schlussfolgerungen abgeleitet werden können. Im Folgenden werden daher die aus den Gütekriterien resultierenden Anforderungen überwiegend anhand der Ausführungen von Berekoven et al. und Bühner vorgestellt.⁵⁹

2.2.1.1 Objektivität ⁶⁰

Ziel von Probandenversuchen in der Produktentwicklung ist es, Aussagen zu erfassen, die Hinweise auf potentielle Produktoptimierungen liefern. Für die optimale Nutzung dieser Aussagen müssen die Messergebnisse objektiv erfasst und ausgewertet werden. Berekoven et al. sprechen daher von einer objektiven Messung, wenn diese sich dadurch auszeichnet, dass *„mehreren Personen, die unabhängig voneinander die Messgröße registrieren, zum gleichen Ergebnis gelangen“*. Es darf also beispielsweise keine Abhängigkeit der Messergebnisse zum Versuchsleiter geben, sondern unabhängig von diesem müssen immer die gleichen Ergebnisse erfasst werden. Damit dies gelingt, wird zwischen drei Formen der Objektivität unterschieden:

- Durchführungsobjektivität

Bei der Durchführung von Versuchen muss darauf geachtet werden, dass eine Beeinflussung des Probanden nicht durch die äußeren Umstände, also dem Versuchsaufbau oder dem Versuchsleiter, auftritt. Entsprechend müssen klare

⁵⁸ Khalid und Helander (2006).

⁵⁹ Berekoven et al. (2009); Bühner (2011).

⁶⁰ Berekoven et al. (2009); Bühner (2011).

Rahmenbedingungen vorgegeben werden und der Versuch so aufgebaut sein, dass entweder keine Interaktionen zwischen Versuchsteilnehmer und Versuchsleiter stattfinden oder, wenn nicht vermeidbar, immer dieselben bei allen Probanden.

- Auswertungsobjektivität

Bei der Auswertung von Versuchen mit Probanden gibt es oft einen gewissen Spielraum, vor allem, wenn keine klare Antwort- bzw. Fragestruktur vorgegeben wird. Entsprechend ist es im Sinne einer objektiven Auswertung empfehlenswert, entweder vordefinierte Fragen zu stellen oder noch vor Durchführung der Versuche klare Vorgaben zu geben, wie die Auswertung der Ergebnisse durchgeführt werden muss.

- Interpretationsobjektivität

Die Ergebnisse der Versuche müssen nach Durchführung oft bezüglich der eigentlichen Fragestellung interpretiert werden. Dabei ist ein Versuch umso objektiver, desto weniger Freiheitsgrade der Versuchsleiter bei der Interpretation hat. Zum Überprüfen des Grades der Interpretationsobjektivität können die Ergebnisse von zwei Personen, welche den gleichen Datensatz ausgewertet haben, miteinander korreliert werden.

2.2.1.2 Reliabilität ⁶¹

Durch das Maß der Reliabilität wird der Genauigkeitsgrad der Messwerte angegeben. Die Reliabilität wird hierbei auf Basis der Präzision und Stabilität der Messergebnisse beurteilt. Versuchsbedingungen sind dann reliabel, wenn die Messwerte bei wiederholten Messungen reproduzierbar sind. Um die Reliabilität zu überprüfen, wird im Allgemeinen der Standardfehler der Messwiederholungen berechnet, wobei zwischen drei Testformen unterschieden wird:

- Innere Konsistenz / Split-half-Methode

Bei der Split-half-Methode wird das Messinstrument, mit welchem eine bestimmte Produkteigenschaft bewertet werden soll (beispielweise ein Fragebogen mit n Items), in zwei gleich große Teilversuche getrennt und zur Bewertung

⁶¹ Berekoven et al. (2009); Bühner (2011).

vorgelegt. Nach erfolgter Versuchsdurchführung werden die erfassten Messergebnisse der beiden Testteile miteinander korreliert. Hierbei gilt, je höher der Korrelationskoeffizient, desto höher wird die Reliabilität des Messinstruments angenommen.

- Stabilität / Test-Retest-Methode

Im Unterschied zur Split-half-Methode wird bei der Test-Retest-Methode der gleiche Test zwei Mal von einer Probandengruppe durchgeführt, wobei die Erfassung zu zwei zeitlich getrennten Zeitpunkten stattfindet. Nach Versuchsdurchführung wird erneut der Korrelationskoeffizient berechnet. Hierbei ist zu beachten, dass die Korrelationswerte durch den zeitlichen Versatz beeinflusst werden können, da die Probanden ihre Einstellungen auf Grund von äußeren Erfahrungen oder Ereignissen geändert haben können. Mit Hilfe der Retest-Korrelation kann daher die Merkmalsstabilität des Versuchs beurteilt werden.

- Paralleltestkorrelation

Bei der Paralleltestkorrelation werden die Messergebnisse von zwei Tests miteinander korreliert, welche mit unterschiedlichen Items die gleiche (Produkt-) Eigenschaft messen sollen. Je höher der Korrelationskoeffizient ausfällt, desto robuster ist der Test gegenüber einer Variation der Test-Items und dem Zeitpunkt der Erfassung. Die Paralleltestkorrelation ist damit ein Maß für die Bedingungsstabilität.

2.2.1.3 Validität

Für die Validität eines Tests gibt es mehrere Definitionen. Nach Bühner wird unter dem Begriff der Validität verstanden, ob der „*Test auch wirklich misst, was er zu messen beansprucht.*“⁶² Hornke et al. definierten den Begriff der Validität dabei wesentlich umfangreicher wie folgt:

„Validität ist eine Anforderung an Testwerte. Das Erheben von Testwerten dient im Allgemeinen einem gewissen Zweck; je stärker die empirischen Belege darauf hinweisen und die theoretischen Herleitungen sicherstellen, dass Interpretationen der Testwerte und Schlussfolgerungen aus diesen Interpretationen

*diesem Zweck gerecht werden, d. h. je besser die Interpretationen der Testwerte und Schlussfolgerungen anhand wissenschaftlicher Kriterien begründet werden können, desto höher die Validität.*⁶³

Die erste Definition nach Bühner ist hierbei zwar weitaus einfacher zu verstehen, gibt aber keinerlei Hinweise dazu, wie die Validität gemessen werden soll, bzw. wann ein Test valide ist. Dagegen gibt die Definition von Hornke et al. den wesentlichen Vermerk auf den notwendigen Zweck der Messung, sowie den messbaren empirischen Beleg bzw. der theoretischen Herleitung als Maß der Validität an. Soll die Validität eines Versuchs also bestimmt werden, muss sich am besten schon bei der Versuchskonzeption über diese drei Kriterien Gedanken gemacht werden. Wird die Bestimmung der Validität dann durchgeführt, wird nach Bryant zwischen drei Formen der Validität unterschieden: Inhaltsvalidität, Kriteriumsvalidität und Konstruktvalidität,⁶⁴ wobei in neueren Werken wie beispielsweise dem von Borsboom et al. die Konstruktvalidität als übergeordnete Struktur von der Kriteriums- und Inhaltsvalidität angesehen wird.⁶⁵ Jede der Validitätsformen beleuchtet unterschiedliche Aspekte der Gesamtvalidität, weshalb diese im Folgenden kurz vorgestellt werden.

- Inhaltsvalidität

Die Inhaltsvalidität beschreibt inwieweit ein Test in der Lage ist, ein definiertes Testkriterium hinreichend genau und präzise zu messen. Die Präzision bezieht sich hierbei nicht auf die Messgenauigkeit, sondern auf das Vermögen ein definiertes Testkriterium so zu erfassen, dass keine weiteren Einflüsse mitgemessen werden. Der Nachweis einer hohen Inhaltsvalidität ist essentiell für den Aufbau eines validen Tests, wobei eine quantitative Bewertung nur sehr begrenzt möglich ist. Die Inhaltsvalidität wird daher nach der Meinung einiger Autoren auf Basis logischer Vorüberlegungen entweder ohne Einschränkungen akzeptiert oder vollständig verworfen.⁶⁶

- Kriteriumsvalidität

Mit der Kriteriumsvalidität wird untersucht, inwieweit die Messwerte aus den Versuchen mit einem definierten Kriterium korrelieren. Dabei wird mittels des

⁶³ Hornke et al. (2011).

⁶⁴ Bryant (2006).

⁶⁵ Borsboom et al. (2004).

⁶⁶ Bühner (2011).

Kriteriums angegeben, welche Aussage einem Skalenwert zuzuordnen ist. Liegt eine hohe Korrelation zwischen Kriterium und Messwert vor, spricht man von einer hohen Kriteriumsvalidität.⁶⁷

- **Konstruktvalidität**

Die Konstruktvalidität gilt als Maß dafür, wie gut ein Test dazu geeignet ist, eine bestimmte Eigenschaft zu messen. Wie zu Beginn dieses Kapitels angemerkt, gilt die Konstruktvalidität in den Augen vieler Autoren als die zusammenfassende Instanz der Inhalts- und Kriteriumsvalidität. Zur Überprüfung der Konstruktvalidität werden drei Ansätze verfolgt:

Konvergente Validität: Zum Nachweis einer hohen Validität wird ein Versuch sowohl mit dem neu erstellten Test als auch mit einem bereits bewährten Test durchgeführt, welche das gleiche Testkriterium messen. Es werden hohe Korrelationen zwischen den Tests erwartet, allerdings ist es oft schwierig, zwei passende Tests zu finden.

Diskriminante/divergente Validität: Im Gegensatz zur konvergenten Validität werden Tests gesucht, welche ein themennahes Kriterium messen, welches allerdings nicht im aktuellen Test erfasst werden soll. Beim Vorliegen einer hohen Konstruktvalidität werden geringe Korrelationen zwischen den beiden Tests erwartet.

Faktorielle Validität: Durch konfirmatorische Faktorenanalysen kann die Zugehörigkeit einzelner Kriterien zu den im Test definierten Gruppen ermittelt werden. Es wird dabei sowohl eine Zusammenfassung von homogenen Testkriterien, als auch die klare Abgrenzung einzelner Bereiche erreicht.

2.2.1.4 Ermittlung von Probandengruppen und -anzahl in Studien

Bei der Durchführung einer Studie mit Probanden steht der Versuchsleiter stets vor der Frage, welche Probanden und vor allem wie viele Probanden befragt werden müssen, damit ein aussagekräftiges Ergebnis erwartet werden darf. Zu dieser Frage kann ganz allgemein keine eindeutige Antwort gegeben werden, allerdings existieren im Stand der Forschung einige Ansätze, nach welchen

⁶⁷ Nieschlag et al. (2011, S. 429).

Probanden ausgesucht werden sollten und mit Hilfe derer die Probandenzahl bestimmt werden kann.

- Auswahl der richtigen Probanden

Die richtigen Probanden innerhalb einer Studie zu haben, ist essentiell für die Aussagekraft der Versuchsergebnisse. Hierbei muss zwischen der eigentlichen Auswahl passender Probanden und der Einteilung der Probanden innerhalb von Versuchsgruppen unterschieden werden. Für die Auswahl von zum Entwicklungsziel passenden Probanden muss zunächst bekannt sein, welche unterschiedlichen Anwender mit dem System in Kontakt kommen und in welchen Qualifikationen, Erfahrungen oder Eigenschaften sich diese grundlegend unterscheiden. Dabei ist die Bewertung dieser Aspekte stark abhängig vom eigentlichen Untersuchungsziel und muss entsprechend daran angepasst sein. Zur Erhebung der Daten ist es daher wichtig, Nutzerprofile so nah wie möglich am echten Anwender aufzubauen, der in seiner realen Umgebung mit dem System arbeitet. Auf die Erfassung dieser Daten innerhalb von Anwendungsfallstudien wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen, sondern auf das Kapitel 2.3 verwiesen. Ist ein vollständiges Nutzerprofil vorhanden und entsprechende Probanden angeworben, muss für den Versuch eine Einteilung der Probanden in Versuchsgruppen durchgeführt werden. Dabei muss sich diese Unterteilung strikt an den Erkenntnissen der Anwendungsfallstudien orientieren, damit relevante Versuchsgruppen ausgewählt werden können, mit denen ein definiertes Entwicklungsziel untersucht werden kann. Ziel der Auswahl ist es, so wenig wie möglich Versuchsgruppen zu definieren und sich nur auf die mit der höchsten Relevanz zu konzentrieren, da die Versuchsanzahl mit steigender Gruppenanzahl bei der Durchführung von vollfaktoriellen Versuchen exponentiell ansteigt. Sind die wichtigsten Gruppenkriterien definiert, sollte eine klare Abgrenzung jedes Kriteriums erfolgen, um eine eindeutige Zuweisung und ein eindeutiges Verständnis jeder Gruppe zu erzeugen. So ist eine Gruppe beispielsweise nicht nur durch die Kategorie „Experte“ und „Novize“ zu beschreiben, sondern es sind definierte Grenzen vorzugeben, innerhalb welcher ein Proband in die Gruppe der Novizen, Experten oder keine der beiden fällt. Die Grenzen sind dabei so zu wählen, dass sich eine sinnvolle Zusammensetzung der Gruppengröße ergibt. Probanden, welche nach der Gruppeneinteilung in keine der

Gruppen eindeutig zugehörig sind, sind von der Versuchsdurchführung auszuschließen.⁶⁸

- Festlegung einer geeigneten Probandenanzahl für statistische Auswertungen

Die Frage nach der angemessenen bzw. nötigen Probandenanzahl hängt von mehreren grundsätzlichen Aspekten ab, welche der Versuchsleiter vor Festlegung der Probandenanzahl definieren muss. Dumas und Redish, sowie Rubin stellen hierzu einige Rahmenfragestellungen zusammen, welche im Folgenden zusammengefasst vorgestellt werden:

- Wie viele Probandengruppen sollen gegeneinander verglichen werden?
- Wie viel Zeit wird für die Versuchsdurchführung eines Probanden benötigt?
- Wie groß ist die Verfügbarkeit an geeigneten Probanden?
- Wie groß ist das zur Verfügung stehende Budget?
- Wie wichtig ist es, statistisch signifikante Aussagen treffen zu können?

Die grundlegendste Unterscheidung muss dabei zwischen dem reinen Erkenntnisgewinn und einer statistisch gesicherten Aussage gemacht werden. Während bei der klassischen Probandenstudie in erster Linie das Ziel verfolgt wird, die wichtigsten Gebrauchstauglichkeitsmängel zu identifizieren, wird bei statistischen Versuchen versucht, quantitative Zusammenhänge zu ermitteln, wodurch sich diese meist deutlich umfangreicher gestalten. So genügt es für den reinen Erkenntnisgewinn nach den Erkenntnissen von Virzi, wenn pro Probandengruppe vier bis sechs Probanden eingesetzt werden, um 80% der Usability Probleme eines Systems zu erkennen. Wird die Probandenanzahl auf 10 Probanden pro Gruppe erhöht, werden sogar 90% und mehr der Usability Probleme identifiziert. Durch eine zusätzlich iterative Bewertung der Systeme, können die Ergebnisse noch einmal deutlich verbessert werden.⁶⁹ Im Vergleich dazu muss für den Aufbau von Versuchen, mit denen statistische Aussagen getroffen werden, deutlich umfangreichere Vorbereitungen getroffen werden. So stellen Sauro und Lewis einen Ansatz zur Berechnung der minimal nötigen

⁶⁸ Dumas und Redish (1999); Rubin (1994).

⁶⁹ Virzi (2016).

Probandenanzahl vor, mit welchem die Probandenanzahl für einen Versuch bestimmt werden kann⁷⁰.

Ausgehend von dem Zusammenhang zwischen dem t-Wert t , der kritischen Differenz d und dem Standardfehler sem gilt:

$$t = \frac{d}{sem} \quad (1)$$

Für den Standardfehler sem gilt:

$$sem = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Hierbei ist s die Standardabweichung und n die Anzahl der Probanden. Wird dieser Zusammenhang nach n umgestellt ergibt sich folgender Ansatz für die Berechnung der nötigen Probandenanzahl:

$$n = \frac{s^2 * t^2}{d^2} \quad (3)$$

Zur Berechnung von s^2 wird dabei nach Möglichkeit die ermittelte Varianz aus Vorversuchen (welche der quadrierten Standardabweichung entspricht) genutzt. Zur Festlegung des t-Werts wird ein Konfidenzintervall festgelegt, das innerhalb der Versuche erreicht werden soll. Gängige Konfidenzintervalle sind dabei zum Beispiel 0,95 oder 0,99, was einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ bzw. $\alpha = 1\%$ entspricht. Für die kritische Differenz d wird die gerade noch akzeptierte Abweichung vom Erwartungswert angenommen, welche vom Versuchsleiter festgelegt wird. Mit Hilfe einer t-Verteilungstabelle kann der t-Wert bestimmt werden (siehe Anhang E, Tabelle 37). Zu beachten ist allerdings, dass der t-Wert abhängig vom Freiheitsgrad df der Berechnung ist, welcher sich wie folgt berechnet:

$$df = n - 1 \quad (4)$$

⁷⁰ Sauro und Lewis (2012).

Da zu Beginn der Rechnung die Anzahl der Probanden n nicht bekannt ist, gleichzeitig aber für die Festlegung von t benötigt wird, erfolgt die Berechnung von n iterativ⁷¹. Dabei wird zu Beginn der t -Wert bei einer Probandenanzahl von ∞ angenommen. Nach der 1. Iteration der Berechnung wird die berechnete Anzahl von Probanden n_1 genutzt, um den t -Wert erneut zu bestimmen. Dieser Prozess wird wiederholt, bis sich die benötigte Anzahl an Probanden nicht mehr ändert durch weitere Iterationen.⁷²

2.2.2 Formen von Probandenbefragungen

Innerhalb dieser Arbeit wird während der Versuchsdurchführung hauptsächlich auf die unterschiedlichen Formen von Probandenbefragungen zur Erfassung der Usability-Aspekte (vgl. Kap. 2.1.2) zurückgegriffen, weshalb das nachfolgende Kapitel verschiedene Formen und Ansätze der Befragung vorstellt.

Befragungen können auf unterschiedlichen Standardisierungsstufen ablaufen, welche einen erheblichen Einfluss auf den Aufbau, die Auswertung und die Versuchszeit haben. Hierbei wird zwischen teil-, halb- oder (voll)standardisierten Befragungen unterschieden. Mit steigendem Standardisierungsgrad werden Aussagen besser vergleichbar und auswertbar, wodurch konkretere Ziele abgeleitet werden können. Gleichzeitig erhöht der Standardisierungsgrad aber auch den Aufwand für den Aufbau einer Befragung, da die Fragen allgemein verständlich und trennscharf gestellt werden müssen und keine zusätzlichen Erklärungen oder Ergänzung während der Versuchsdurchführung hinzukommen dürfen, um eine hohe Versuchsobjektivität sicherzustellen.⁷³ Bevor eine Befragung durchgeführt wird, muss daher geklärt werden, in welcher Form die Versuchsergebnisse benötigt werden und dementsprechend der Aufbau geplant werden. Goehrmann stellt dazu in seinen Ausführungen einige Randbedingungen vor, welche bei der Versuchsplanung bedacht werden sollten und hier in Auszügen vorgestellt werden:

- Planung der strategischen Ausrichtung und inhaltlichen Themen der Befragung

⁷¹ Diamond (2001).

⁷² Sauro und Lewis (2012).

⁷³ Berekoven et al. (2009).

- Aufstellen eines inhaltlich und methodisch fundierten Befragungskonzepts
- Auswahl einer geeigneten Befragungsvariante
- Entwicklung und Aufbau eines Befragungsinstrumentariums⁷⁴

Neben den in Kapitel 2.2.1 diskutierten Punkten muss bei der Planung von Probandenversuchen zunächst der inhaltliche Rahmen und die strategische Ausrichtung festgelegt werden⁷⁵. Dabei spielt der Zeitpunkt in Bezug auf die Produktnutzung eine entscheidende Rolle. Während zu Beginn der Produktbenutzung Produktbewertungen überwiegend auf Grund von Erfahrungen, Vorwissen und dem Markenbewusstsein getroffen werden⁷⁶, ändert sich mit zunehmender Benutzungsdauer das Bewertungsverhalten der Probanden und emotionale Aspekte nehmen bei der Bewertung ab⁷⁷. Karapanos et al. stellen hierzu in ihren Arbeiten ein Framework vor, nach welchem die Art der Produktbewertung in Abhängigkeit der Benutzungszeit in mehrere Phasen aufgeteilt werden kann (Abbildung 4).

Bevor ein Aufbau von eigenen Produkterfahrungen stattfindet, hat jeder Proband seine eigenen Erwartungen und bestehenden Erfahrungen mit Referenzprodukten, welche einen Einfluss auf die Produktbewertung haben („*Anticipation*“). Der Ausgangszustand jedes Probanden ist entsprechend individuell unterschiedlich. Mit dem Start der Benutzung eines Produkts beginnt eine Orientierungsphase („*Orientation*“), in welcher die initiale Inbetriebnahme und der Aufbau erster Produkterfahrungen stattfindet. Der Proband wird in dieser Phase durch den Reiz neues zu entdecken und zu lernen angetrieben, wodurch sich eine gewisse Vertrautheit („*Familiarity*“) mit dem Produkt einstellt. Mit steigender Erfahrung wandelt sich die Bewertung dahingehend, dass Aspekte der Funktionalität an Bedeutung gewinnen („*Functional dependency*“) und der Proband die Sinnhaftigkeit des Produkts reflektiert und er dabei hinterfragt, inwiefern das Produkt, bedingt durch die Erfahrungen der ersten Benutzung, zu den gestellten Anforderungen passt. Auf Grund der wachsenden Erfahrungen wird diese Phase als Meinungsbildungsphase⁷⁸ bzw. Einarbeitungsphase („*Incorpora-*

⁷⁴ Gochermann (2004, S. 63).

⁷⁵ Gochermann (2004, S. 63).

⁷⁶ Schwertfeger (2012).

⁷⁷ Homburg (2017).

⁷⁸ Matthiesen und Germann (2017).

tion“) bezeichnet. In der letzten Phase, der so genannten Markenbindungsphase⁷⁹ bzw. Identifizierungsphase („*Identifikation*“), findet eine gewisse soziale und emotionale Verknüpfung („*emotional attachment*“) mit dem Produkt statt. Probanden können Unterschiede in der empfundenen Anwendungseignung deutlich differenzierter beurteilen und genau benennen und kommen so zu einem umfassenden, auf Fakten basierten Bewertungsergebnis.⁸⁰

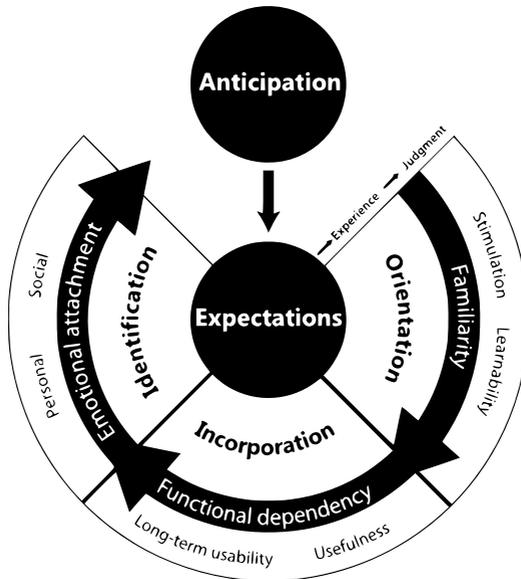


Abbildung 4: Einfluss der Erfahrungszeit auf die Bewertung von Produkten⁸¹

Je nachdem bezüglich welcher Benutzungsphase die Bewertung eines Produkts stattfinden soll, muss entsprechend der Aufbau der Versuchsumgebung und der Befragungsform angepasst werden. Sobald die grundlegende Thematik und Ausrichtung geplant sind, ist ein inhaltlich und methodisch fundiertes Bewertungskonzept aufzustellen⁸². Dies beinhaltet zum einen, welche Inhalte

⁷⁹ Matthiesen und Germann (2017).

⁸⁰ Karapanos et al. (2009); Matthiesen und Germann (2017).

⁸¹ Karapanos et al. (2009).

⁸² Gochermann (2004, S. 63).

konkret abgefragt werden sollen und zum anderen, wie die Befragung konzeptionell aufgebaut wird.

2.2.2.1 Aufbau von Befragungskonzepten

Handelt es sich um einen vergleichenden konzeptionellen Ansatz, bei welchem immer mehrere Produkte miteinander verglichen werden, wie es im Laufe dieser Arbeit ausschließlich der Fall ist, bietet sich die Befragungsform des *between-subjects* Design und des *within-subject* Designs an. Hierbei unterscheiden sich die beiden Ansätze in der Art der Bereitstellung und Benutzung der Produkte. Während beim *between-subject* Design jeder Proband lediglich eines der Produkte zum Testen und Bewerten bekommt und sich dadurch die Probanden auf die einzelnen Produkte aufteilen, werden beim *within-subject* Design alle Produkte von allen Testteilnehmern benutzt und bewertet. Aus dem unterschiedlichen Aufbau resultieren entsprechend Unterschiede für die Versuchsplanung und Interpretation. Vorteile des *between-subjects* Designs sind vor allem die deutlich kürzeren Testphasen und die nicht vorhandenen Lerneffekte durch die Benutzung von Referenzsystemen, welche ein Versuchsergebnis je nach Aufgabenstellung stark beeinflussen können. Nachteilig wirken sich oft die nicht vorhandenen *Carryover* Effekte aus, wobei unter diesen, Eindrücke und Bewertungsreferenzen verstanden werden, die durch die Benutzung der Vergleichsprodukte entstehen. Zudem werden im Allgemeinen deutlich größere Probandenanzahlen für die Versuchsdurchführung benötigt. Im Vergleich dazu bietet das *within-subject* Design die Möglichkeit, dass Probanden ihre Bewertung anhand von Referenzen fällen, wodurch vergleichbare, qualitative Aussagen getroffen werden können. Charness et al. führen zudem an, dass die interne Validität der Befragung besser gegeben ist, da diese nicht von einer zufälligen Zuordnung der Produkte zum einzelnen Probanden abhängig ist. Weiterhin ist die statistische Aussagekraft im Vergleich zu *between subject* Design Versuchen oft deutlich erhöht.⁸³ Nachteilig sind die teilweise unerwünschten *Carryover* Effekte zu nennen, welche innerhalb des Versuchs durch entsprechende Randomisierung oder Gleichverteilung der Versuchsreihenfolge (eng. counterbalancing) ausgeglichen werden müssen. Durch die Bereitstellung von mehreren Produkten kann es zudem dazu kommen, dass der Proband dem sogenannten *demand effect* unterliegt, wobei Produkte nicht mehr nach dem tatsächlichen Empfinden des Testers bewertet werden, sondern sich die

⁸³ Charness et al. (2012).

Bewertungen an äußeren Werten, wie beispielsweise dem vermeintlichen Favoriten des Versuchsleiters, orientieren⁸⁴. Weiterhin muss beim Aufbau der Versuche darauf geachtet werden, dass durch die Benutzung aller zu testender Produkte die Versuchszeit stark für den einzelnen Probanden ansteigt, wodurch es zu Ermüdungs- und Frustrationserscheinungen kommen kann. Auf Grund der meist deutlich überwiegenden Vorteile, werden innerhalb von Usability und User Experience Studien verstärkt Versuche durchgeführt, die nach dem *within-subject* Design aufgebaut sind.⁸⁵

Neben dem Aufbau des Versuchsdesigns muss zusätzlich die Befragungsmethode ausgewählt und aufgebaut werden, mit welcher die subjektive Wahrnehmung der Probanden erfasst werden soll. Hierzu gibt es im Stand der Forschung unterschiedliche Methoden, von denen im Folgenden drei Befragungsformen näher vorgestellt werden.

2.2.2.2 Interviewbasierte Befragung

Bei der Durchführung einer interviewbasierten Befragung wird zwischen der wenig strukturierten, teilstrukturierten und stark strukturierten Befragung unterschieden⁸⁶, wobei sich diese am Konkretisierungsgrad der im Vorhinein definierten Fragestellungen unterscheiden. Während beim wenig strukturierten Interview keine festgelegten Fragestellungen und kein definiertes Frageformat vorliegt, werden beim teil- bzw. stark strukturierten Interview genau definierte Vorgaben gemacht. Die Art der erfassten Antworten unterscheidet sich daher deutlich voneinander. Wenig strukturierte Interviews können im Normalfall lediglich Gesamtbewertungen eines Produkts erfassen, welche auf den individuellen Eindrücken des Bewertenden beruhen und sich auf Grund der Fragestellungen teilweise stark unterscheiden können.⁸⁷ Beim wenig strukturierten Interview liegt es in der Verantwortung des Forschers, den Gesprächsverlauf individuell zu steuern, wobei stets die gesamte Umgebung wahrgenommen werden muss, wie beispielsweise die Sprachebene des Befragten oder Bedeutungszusammenhänge. Das Ziel von wenig strukturierten Interviews ist es die Meinungsstruktur des Befragten zu erfassen, wobei diesem gezielt Reaktions-

⁸⁴ Charness et al. (2012).

⁸⁵ Bojko (2013); Rubin (1994).

⁸⁶ Atteslander und Cromm (2008, S. 124).

⁸⁷ F. Schmidt und Hunter (1998).

spielraum für neue Themen gegeben werden, um so vollständige Sinneszusammenhänge von Tätigkeiten oder Meinungen aufzubauen.⁸⁸ Im Gegensatz dazu wird für die Durchführung eines stark strukturierten Interviews deutlich mehr Aufwand für die Vorbereitung einer Befragung aufgewendet, da die Fragen explizit zur theoretischen Problemstellung passen müssen, um relevante Bewertungsaspekte bezüglich eines Untersuchungsziels erfassen zu können. Oftmals wird für die Erfassung eines stark strukturierten Interviews ein Fragebogen verwendet, welcher sorgfältig geplant werden muss, da er den Befragten durch die Problemstellung führen soll, wobei wesentliche Aspekte beleuchtet und hinterfragt werden müssen. Fehler in der Erstellung eines Fragebogens wirken sich kritisch auf die Durchführung und Auswertung aus, da im stark strukturierten Interview im Normalfall keine weiteren Erklärungen oder Fragen zugelassen werden.⁸⁹ Die Durchführung eines stark strukturierten Interviews im Vergleich zum wenig strukturierten Interview ist entsprechend deutlich zeit- und kostenaufwendiger, weshalb der Einsatz gut bedacht werden muss.⁹⁰ Teilstrukturierte Interviews bilden eine Mischung aus wenig und stark strukturierten Interviews, wobei vordefinierte Fragen dazu benutzt werden, einen Gesprächsleitfaden zu erstellen. Während der Befragung kann beim teilstrukturierten Interview von den Fragen abgewichen werden, bzw. Fragen ergänzt werden, um ein vollständiges Meinungsbild zu erfassen. Wenig und teilstrukturierte Interviews bieten sich zu Beginn einer Untersuchung an und bilden die Grundlage für den Aufbau von stark strukturierten Interviews.⁹¹

2.2.2.3 Fragebogenbasierte Befragung

Bei der fragebogenbasierten Befragung ist es das Ziel, durch ein Konstrukt von zueinander passenden Fragen eine oder mehrere Produkteigenschaften zu analysieren und diese von definierten Anwendern empirisch bewerten zu lassen⁹². Porst definiert in diesem Rahmen den Begriff des Fragebogens wie folgt:

„Ein Fragebogen ist eine mehr oder weniger standardisierte Zusammenstellung von Fragen, die Personen zur Beantwortung vorgelegt werden mit dem Ziel,

⁸⁸ Atteslander und Cromm (2008, S. 124).

⁸⁹ Atteslander und Cromm (2008, S. 124-125).

⁹⁰ F. Schmidt und Hunter (1998).

⁹¹ Atteslander und Cromm (2008, S. 124-125).

⁹² Porst (2014).

*deren Antworten zur Überprüfung der den Fragen zugrundeliegenden theoretischen Konzepte und Zusammenhänge zu verwenden. Somit stellt ein Fragebogen das zentrale Verbindungsstück zwischen Theorie und Analyse dar.“*⁹³

Ein Fragebogen ist damit ein Analysewerkzeug, mit Hilfe dessen (quantitative) Produktbewertungen hinsichtlich definierter Kriterien erfasst werden können. Um diese zu erhalten, werden bei der Präsentation der Fragen sowohl die Form der Fragestellung als auch die Art der Frageninhalte variiert. Bei der Form der Fragen findet eine Unterscheidung zwischen offeneren, halboffenen und geschlossenen Fragen statt. Während bei offenen Fragen keinerlei Antwortmöglichkeiten vorgegeben werden und diese im Freitext beantwortet werden sollen, erfolgt die Abfrage bei geschlossenen Fragen anhand von im Vorhinein definierten Antwortmöglichkeiten, von denen entweder eine Antwort (Einfachnennung) oder mehrere Antworten zutreffend sind (Mehrfachnennung). Die Kategorie der halboffenen Fragen kombiniert beide Ansätze, wobei neben vordefinierten Antwortmöglichkeiten die Möglichkeit gegeben wird, frei formuliert zu antworten. Vorteilhaft ist der Einsatz von halboffenen Fragen immer dann, wenn mögliche Antworten zwar gut vorgedacht, diese aber nicht definitiv bestimmt werden können.⁹⁴ Wird die Art (vgl. auch den Selektionstyp) einer Frage betrachtet, kann diese ebenfalls unterschiedliche Ausprägungen aufweisen. Typische Ausprägungen des Selektionstyps sind dabei die *Alternativ-Frage* (zwei Antworten pro Frage) und die *Mehrfachauswahl-Frage* (mehr als zwei Antworten pro Frage). In sozialwissenschaftlichen Fragebögen wird oftmals die Sonderform der Mehrfachauswahl-Frage, die so genannte *Skala-Frage*, eingesetzt, mit welcher Werte und Intensionen quantitativ gemessen werden. Eine Skala-Frage beinhaltet dabei mehrere Aussagen, welche als Items bezeichnet werden, die für bestimmte Intensitäten oder Häufigkeiten stehen.⁹⁵ In wie viele Items eine Frage untergliedert wird (eine so genannte Item-Batterie) und wie die Benennung der einzelnen Stufen sinnvollerweise zu wählen ist, hängt vom Skalenniveau und Aspekten wie der Dimensionalität, der Skalenbreite und der gewünschten Richtung der Fragen ab. An dieser Stelle werden lediglich Ansätze zur Auslegung einer Skala angesprochen, für eine

⁹³ Porst (1996).

⁹⁴ Porst (2014).

⁹⁵ Atteslander und Cromm (2008, S. 138).

umfassendere Erläuterung wird an dieser Stelle auf die Ausführungen von Porst verwiesen.⁹⁶

Soll eine Aussage mittels einer Skala bewertet werden, gibt es (neben weiteren) drei Skalenniveaus der Nominal-, Ordinal- und Intervall-Skalierung, mittels welcher eine Item-Batterie aufgebaut werden kann. Die einfachste Skala ist dabei die Nominalskalierung, die meist zwischen zwei möglichen Ausprägungen einer Aussage unterscheidet (Beispiel: Geschlecht: männlich / weiblich), wobei die Items keine Abhängigkeit voneinander haben und jeweils nur alleinstehend bewertet werden können. Die Items ordinaler Skalen stehen dagegen in einer rationalen Beziehung zueinander bzw. unterliegen einer Rangordnung. Zu beachten ist, dass der Abstand zwischen zwei Skalenpunkten keineswegs als konstant oder gleichbleibend anzunehmend ist. Ordinal-Skalen eignen sich besonders gut für Produktbewertungen, wobei entweder jeder Skalenpunkt oder die Skalenendpunkte (Endpunktbenennung) mit Bewertungsbegriffen versehen werden (Beispiel: Qualität: sehr gut / gut / mittel / schlecht / sehr schlecht). Liegt neben einer rationalen Abhängigkeit der Skalenpunkte zusätzlich die Bedingung vor, dass deren Abstände immer genau gleichweit entfernt voneinander sind, wird von einer Intervall-Skala gesprochen (Beispiel: Temperatur: 0-22°C). In der sozialwissenschaftlichen Forschung ist es eher selten, dass eine Intervallskalierung vorliegt. Auf Grund der Tatsache, dass es jedoch eine Vielzahl von sehr verbreiteten Analysemethoden, wie beispielsweise die Faktorenanalyse oder die Korrelationsanalyse, gibt, die als Voraussetzung eine Intervallskalierung fordern, werden häufig auch Ordinal-Skalen beim Auswerten wie Intervall-Skalen behandelt. Damit dies zutreffend ist, kann entweder gezeigt werden, dass die Abstände einer Ordinalskala gleichbleibend sind oder der Ansatz der endpunktbenannten Skala verwendet werden, wobei alle Zwischenschritte per se als gleichabständig definiert werden (Abbildung 5).⁹⁷

Neben dem richtigen Skalenniveau kommt der Wahl der Skalenbreite eine entscheidende Rolle zu. Allgemein gibt es keine festen Grenzen für die Breite einer Skala. Es muss allerdings darauf geachtet werden, dass eine Skala in der Lage ist, bei ausreichend hoher Differenzierung gleichzeitig nicht so umfangreich zu sein, dass eine Unterteilung der einzelnen Abstufungen für den Befragten nicht mehr möglich ist.

⁹⁶ Porst (2014, S. 71-97).

⁹⁷ Porst (2014, S. 71-76).

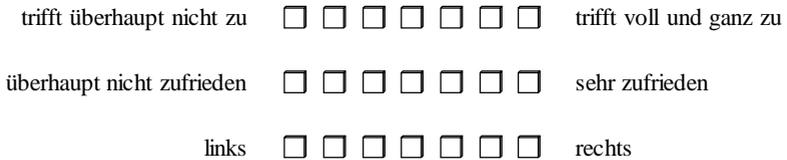


Abbildung 5: Endpunktbenannte Ordinal-Skala, mit konstantem Item Abstand⁹⁸

Verbreitete Ansätze gehen meist von fünf oder sieben stufigen Skalen aus. Die Wahl einer geradstufigen Skala ist dabei ebenfalls möglich, führt allerdings dazu, dass dem Befragten die Möglichkeit genommen wird, sich bewusst für ein ausgeglichenes Ergebnis zu entscheiden und ihn zu einer Entscheidung zwingt. Im Gegensatz dazu kann die Wahl einer ungeraden Skala zu dem Symptom der „Flucht in die Mitte“ führen, bei welchem Tester im Falle von Unsicherheit oder Unwissenheiten zur Wahl der Mitte tendieren und dabei die eigentliche Bedeutung des Skalenpunktes ignorieren. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, kann bewusst die Möglichkeit einer Restkategorie eingeführt werden, wodurch sich die Befragten von einer bewertenden Antwort enthalten können. Der Einsatz solcher Kategorien sollte allerdings möglichst sparsam eingesetzt werden, da er zur Legitimierung einer nicht vorhandenen Meinung bei Befragten führen kann und sich damit die Ergebnisse verschlechtern.⁹⁹

Auf Grund der großen Bedeutung im Bereich der Produktbewertung werden an dieser Stelle zwei Formen der Befragung vorgestellt. Dies ist zum einen die von Likert entwickelte Likert-Skala¹⁰⁰ und zum anderen das von Osgood et al. entwickelte semantische Differential¹⁰¹. Bei einer Bewertung mittels der Likert-Skala werden auf einer fünfstufigen Skala strikt zustimmende bzw. ablehnende Items angegeben, wobei durch den Befragten der Grad der Zustimmung an Hand der Items bewertet wird. Den Items werden zusätzlich Zahlenwerte zugeordnet, wodurch eine mathematische Auswertung ermöglicht wird. Obwohl eine Likert-Skala genaugenommen lediglich eine Bewertung auf Ordinalniveau zulässt, wird oft von einer Gleichverteilung der Item-Abstände ausgegangen,

⁹⁸ Porst (2014, S. 76).

⁹⁹ Porst (2014, S. 84).

¹⁰⁰ Likert (1932). Dissertationsschrift.

¹⁰¹ Osgood et al. (1978).

wodurch die Ergebnisse mit intervallskalierten Ansätzen analysiert werden können.¹⁰² Bei der Befragung mittels des semantischen Differentials werden auf einer siebenstufigen Skala jeweils an den Enden zwei Gegensatzwortpaare definiert, an Hand derer ein vorgegebenes Wort oder eine Produkteigenschaft eingeordnet werden muss (Beispiel: Vibration: angenehm / unangenehm). In der ursprünglichen Form von Osgood et al. wurden dabei lediglich Wörter aus einem definierten Pool von vorgegebenen Attributen genutzt und bewertet, unabhängig davon, ob sie einen direkten Bezug zum zu bewertenden Objekt hatten oder nicht. Im Laufe der Zeit wurde diese Randbedingung immer weiter aufgelöst, wodurch neue sachbezogene Items zugelassen werden und sich der Einsatz des semantischen Differentials als Standardwerkzeug in der Image-messung durchgesetzt hat.¹⁰³

Wie die vorangegangenen Ausführungen zeigen, ist der Aufbau eines Fragebogens keinesfalls trivial und muss sich an unterschiedlichsten Randbedingungen und Störgrößen orientieren, um die Möglichkeit der objektiven Erfassung der empfundenen Anwendungseignung zu gewährleisten. Berekoven et al. fassen daher wichtige Störgrößen innerhalb von vier Kategorien zusammen, welche aus der Sicht eines Fragebogenentwicklers stets präsent sein sollten und dabei helfen können, objektive Ergebnisse mit fragebogenbasierten Befragungen zu erfassen. Abbildung 6 gibt hierbei einen Überblick über die identifizierten Störgrößen bei der Erstellung von Fragebögen.

¹⁰² Berekoven et al. (2009, S. 74-80).

¹⁰³ Berekoven et al. (2009, S. 73-76); Porst (2014, S. 95-97).

<p>Selbstachtung und Selbstdarstellung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Über- / Untertreiben ▪ Verdrängen ▪ Lügen ▪ Anpassung u.ä. ▪ Ausweichen 	<p>Menschliche Unzulänglichkeiten</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verständnisvermögen ▪ Erinnerungsvermögen ▪ Vorstellungsvermögen ▪ Urteilsvermögen ▪ Konzentrationsvermögen ▪ Verbalisierungsvermögen
<p>Äußere Umstände</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Uninteressante, unangenehme Befragungsthemen ▪ Überlängen, Zeitmangel, störende Umstände ▪ Aversionen gegenüber Interviewer, telefonischen Auskünften, schriftlichem Ausfüllen u. dgl. m. 	
<p>Beantwortungstaktik</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lernen aus vorausgegangenen Fragen ▪ Herauslesen bzw. -hören von Wertvorstellungen ▪ Bemühen um Widerspruchsfreiheit mit vorausgegangenen Antworten ▪ Beantwortung unter dem Gesichtspunkt der sog. sozialen Erwünschtheit ▪ Beantwortung, wie vom Interview(er) vermeintlich erwartet ▪ Abbruch der Beantwortung, wenn die gegebenen Antworten als ausreichend empfunden werden ▪ Wahl der „erstbesten“ Antwortvorgabe ▪ Wahl von Skalenwerten, die im Mittelfeld liegen 	

Abbildung 6: Störgrößen bei der Bearbeitung von Fragebögen¹⁰⁴

2.2.2.4 Befragung mittels der Methode des lauten Denkens

Eine besondere Art der Befragungstechnik ist die Anwendung der Methode des lauten Denkens (vgl. think aloud method¹⁰⁵). Bei Anwendung der Methode findet eine indirekte Befragung des Probanden statt, indem dieser zur Selbstbeobachtung motiviert wird und dadurch kognitive Prozesse erfasst werden können¹⁰⁶. Dabei werden dem Befragten Testobjekte vorgelegt und Vorgaben zu Randbedingungen gegeben, wie beispielsweise der Benutzungsphase, in welcher die Bewertung stattfinden soll (vgl. Kapitel 2.2.2). Die eigentlichen Produktbewertungen finden statt, indem der Befragte dazu aufgefordert wird, während der Bewertung seine Gedanken laut auszusprechen. Zwei mögliche Ansätze den Probanden auf seine Aufgabe vorzubereiten sind die von van Someren et al. vorgestellten Sätze:

“I will give you a problem. Please keep talking out loud while solving the problem.”

¹⁰⁴ Berekoven et al. (2009, S. 94).

¹⁰⁵ Van Someren et al. (1994).

¹⁰⁶ Bortz und Döring (2006, S. 324).

“Please solve the following problems and while you do so, try to say everything that goes through your mind.”¹⁰⁷

Die Einschränkung auf eine präzise und verständliche Aufgabenstellung ist dabei wichtig, um einen konstanten Redefluss beim Befragten zu gewährleisten. Das vorgestellte Vorgehen ist für viele ungeübte Probanden zunächst recht ungewohnt und teilweise unangenehm, weshalb unbedingt darauf geachtet werden muss, eine angenehme Atmosphäre für den Befragten aufzubauen¹⁰⁸. Hierzu können Vorversuche mit den Probanden durchgeführt werden, innerhalb welcher die Technik erlernt wird oder in welchem Beispiele von anderen Versuchsteilnehmern vorgestellt werden¹⁰⁹. Ebenso kann die Anwesenheit von zu vielen Beteiligten beim Versuch zu eingeschränkten Äußerungen der Gedanken führen, weshalb so wenig wie möglich Interaktion förderlich sind. Weiterhin sollte der Versuchsleiter während der Bewertung so wenig wie möglich in den Test eingreifen. Lediglich Aufforderungen zum kontinuierlichen lauten Denken sind hilfreich, um Probanden im Redefluss zu halten. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass keine wertenden oder erklärenden Aussagen getroffen werden, da diese das Bewertungsergebnis beeinflussen könnten, wenn sie etwa den Befragten auf neue Aspekte hinweisen¹¹⁰.

2.2.3 Zwischenfazit zum Aufbau von Studien zur Erfassung der Usability-Aspekte

Die Erfassung von Usability-Aspekten spielt für die moderne Produktentwicklung eine zentrale Rolle, weshalb im Stand der Forschung unterschiedlichste Ansätze gegeben werden, wie eine objektive Erfassung stattfinden soll. Umfangreiche Vorgaben für den Aufbau von validen Versuchsumgebungen werden gegeben, innerhalb welcher durch den Einsatz von Befragungsmethoden die subjektiven Qualitätswahrnehmungen von Probanden erfasst werden können. Problematisch bei der Erfassung dieser Wahrnehmungen ist jedoch, dass der Einfluss von Störgrößen, bedingt aus physischen, physiologischen, psychologischen, sozialen oder kulturellen Einflüssen, kaum Berücksichtigung in den Vorgaben zum Aufbau der Versuche findet. Für die Identifizierung relevanter Usability-Aspekte, aus welchen Entwicklungsziele definiert werden können, die

¹⁰⁷ Van Someren et al. (1994, S. 42).

¹⁰⁸ Van Someren et al. (1994, S. 42).

¹⁰⁹ Nielsen (1993, S. 197).

¹¹⁰ Nielsen (1993, S. 195-198).

tatsächlich zur Optimierung der empfundenen Anwendungsqualität von Power-Tools beitragen, muss jedoch eine störungsreduzierte Erfassung realisiert werden. Entsprechend sind neue Ansätze zu erforschen, die den Entwickler von Power-Tools bei dieser Aufgabe unterstützen.

2.3 Durchführung von Anwendungsfallstudien

Das Folgende Kapitel stellt unterschiedliche Anwendungsfallstudien vor, aus deren Erkenntnissen neue Entwicklungspotentiale für die nutzerzentrierte Produktentwicklung von Power-Tools identifiziert worden sind. Besonderes Augenmerk wird dabei auf den Bedarf des mehrphasigen Aufbaus der Studien gelegt, wobei die Vielfalt der realen Anwendung zunächst im realen Umfeld grundlegend erfasst wird und im zweiten Schritt innerhalb von Laborversuchen nachgestellt wird, um objektive Validierungsmöglichkeiten für den Entwickler zu schaffen.

2.3.1 Erhebung des Nutzungskontextes

Soll ein Produkt im Sinne der nutzerzentrierten Produktentwicklung optimiert werden, ist das Wissen über die Anforderungen der Nutzer eine zwingende Voraussetzung¹¹¹. Damit dies gelingt, muss der Nutzungskontext des Produkts vollständig beschrieben sein. Dabei beinhaltet der Nutzungskontext eines Produkts, „*welche Benutzer dieses Produkt für welche Aufgaben, mit welchen Arbeitsmitteln und in welcher Umgebung verwenden*“¹¹². Abbildung 7 stellt hierbei Teilgebiete vor, welche unterschiedliche Informationen enthalten, mit denen die Anforderungen an das spätere Produkt beschrieben werden können. Mit Hilfe des Nutzungskontextes eines Produkts wird für den Produktentwickler die Grundlage geschaffen, Nutzungsanforderungen an das Produkt abzuleiten und bekannte Anforderungen auf ihre Anwendbarkeit hin zu prüfen¹¹³.

¹¹¹ Vesna Popovic (1997).

¹¹² Adler et al. (2010).

¹¹³ Adler et al. (2010, S. 65).

Nutzungskontext			
Benutzer	Aufgaben	Arbeitsmittel	Umgebung
<ul style="list-style-type: none"> • Kenntnisse/Fertigkeiten/Erfahrungen • Ausbildung/Übungsgrad • physische Merkmale • Motorische und sensorische Fähigkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> • erforderliche Aktivitäten zur Zielerreichung • Häufigkeit/Dauer • Aufgaben • Auswirkung von Fehlern 	<ul style="list-style-type: none"> • Hardware • Software • Materialien 	<ul style="list-style-type: none"> • physische und soziale Umgebung • Klima, Strahlung, Beleuchtung, Lärm • mechanische Schwingungen und Stöße

Abbildung 7: Bestandteile des Nutzungskontext (in Anlehnung an Adler et al. (2010)¹¹⁴)

Neben denen von Adler et al. aufgezeigten Bestandteilen können, angelehnt an die DIN EN ISO 9241-210, zur Beschreibung des Nutzungskontextes folgende Vorgaben und Hinweise gegeben werden:¹¹⁵

Benutzer und sonstige Interessengruppen:

Produkte werden von sehr unterschiedlichen Benutzern mit unterschiedlichen Anforderungen benutzt. Es ist daher wichtig, relevante Anforderungen zu identifizieren und entsprechend Benutzergruppen zu bilden. Jede Gruppe steht stellvertretend für charakteristische Eigenschaften, zu welchen jeweils Anforderungen und Ziele formuliert werden.

Merkmale der Benutzer oder Benutzergruppen:

Benutzer unterscheiden sich vielfältig in ihren Merkmalen, wie bspw. durch Kenntnisse, Fertigkeiten, Erfahrung, Ausbildung, Übung, physische Merkmale, Gewohnheiten, Vorlieben und Fähigkeiten. Produkte sollen entsprechend so konzipiert werden, dass auf möglichst viele Merkmale der Benutzer eingegangen wird.

¹¹⁴ Adler et al. (2010).

¹¹⁵ DIN EN ISO 9241-210.

Ziele und Arbeitsaufgaben der Benutzer:

Sofern einzelne Merkmale der Arbeitsaufgaben die empfundene Anwendungseignung beeinflussen, müssen diese identifiziert und genau beschrieben werden. Dies kann passieren, indem die Art, Dauer, Häufigkeit oder zeitliche Verteilung der Arbeitsaufgabe erfasst wird.

Umgebung(en) des Systems:

Wenn Usability-Aspekte, welche außerhalb des Systems sind, die Anwendungseignung beeinflussen, müssen diese erfasst und deren Merkmale identifiziert werden. Usability-Aspekte, die aus der Umgebung kommen, können physikalischem, sozialem oder kulturellem Ursprungs sein. Beispiele für physikalische Aspekte sind die thermischen Bedingungen, die Beleuchtung oder die Raumgestaltung. Zu den sozialen und kulturellen Aspekten der Umgebung zählen Faktoren wie die Arbeitsweise, die Organisationsstruktur oder bestimmte Einstellungen.

Um den Nutzungskontext eines Produkts zu beschreiben, werden im Stand der Forschung unterschiedliche Methoden empfohlen, wovon im Folgenden eine Auswahl kurz vorgestellt wird:

- Beobachtung der Nutzer:
Präzise und systematische Sammlung von Information über den Nutzer. Die Durchführung kann im Feld (realer Umgebung) oder unter Laborbedingungen stattfinden.¹¹⁶
- Performance Messung:
Aufgabenbezogene Messungen haben das Ziel die Effektivität und die Effizienz der Anwendung zu messen. Dies kann zum Beispiel durch die Erfassung der Zeit für eine Tätigkeit, der Anzahl der Fehler in der Anwendung oder der benötigten Zeit zur Interpretation der Betriebsanweisung erfolgen.¹¹⁷

- kritische Vorfallsanalyse:

¹¹⁶ ISO/TR 16982.

¹¹⁷ ISO/TR 16982.

Identifikation von besonders positiven oder negativen Events während der Durchführung einer Tätigkeit. Die Daten werden auf Basis objektiver Erfassungsmethoden (z.B. Video, Interview) erhoben und nach Gruppen eingeteilt.¹¹⁸

- Fragebogenbefragung:
Nähere Informationen siehe Kapitel 2.2.2.1
- Interview basierte Befragung:
Nähere Informationen siehe Kapitel 2.2.2.2
- Methode des lauten Denkens:
Nähere Informationen siehe Kapitel 2.2.2.4
- Multiview Kamera- und Bewegungsanalyse:
Erfassung des Nutzungskontextes aus unterschiedlichen Perspektiven mittels mehrerer zeitsynchroner Kameras und Motion Capture Systeme zur Erfassung der Gelenkwinkel. Identifizierung von Anwendungsmängeln und gesundheitsschädlichen Arbeitsbewegungen in Verbindung mit der jeweiligen Arbeitsaufgabe.¹¹⁹

Der vollständig aufgebaute Nutzungskontext eines Produkts stellt für den Entwickler eine entscheidende Informationsquelle dar. Jong und Vink postulieren in diesem Rahmen, dass die Auswertung des aufgebauten Wissens hilft, Produkte so zu entwickeln, dass sie zu den Anwendungsbedürfnissen des adressierten Anwenders passen. Durch dieses Vorgehen steigert sich nachhaltig die Akzeptanz der Produkte beim Nutzer.¹²⁰

¹¹⁸ ISO/TR 16982.

¹¹⁹ S. Schmidt (2019). Dissertationsschrift in Zusammenarbeit mit Janik (2017). Unveröffentlichte Bachelorarbeit.

¹²⁰ Jong und Vink (2000).



Abbildung 8: Multiview Kamera- und Bewegungsanalyse: Beispiel Schlosser Anwender¹²¹

2.3.2 Identifizierung von Entwicklungspotentialen mittels Anwendungsfallstudien von Power-Tools

Im Stand der Forschung finden sich einige Anwendungsfallstudien zu Handwerkzeugen und Power-Tools, die mit dem Ziel durchgeführt wurden, ein Produkt hinsichtlich der relevanten Nutzeranforderungen zu optimieren. Begründet wird dieses Vorgehen durch die Tatsache, dass die Anwendungsausführung einen starken Einfluss auf die subjektive Bewertung des Produkts hat¹²². Mit Hilfe von Anwendungsfallstudien können neue Innovationen und Entwicklungsziele identifiziert werden.¹²³ Die Produktivität eines Power-Tools in der Interaktion mit dem Anwender kann optimiert und Gesundheitsschäden reduziert werden¹²⁴. Dabei ist nach Dumas und Redish das Ziel einer Anwendungsfallstudie

¹²¹ Janik (2017); S. Schmidt (2019).

¹²² Kong und Lowe (2003).

¹²³ M. de Looze et al. (2001); Vedder und Carey (2005).

¹²⁴ M. de Looze et al. (2001).

stets zweigeteilt. Zum einen sollen Anforderungen erfasst werden, welche für alle Anwender in ähnlicher oder gleicher Form gelten. Zum anderen sollen aber auch Usability-Aspekte identifiziert werden, die speziell zu einzelnen Anwendungen oder Anwendern passen, wodurch Alleinstellungsmerkmale aufgebaut werden können. Damit relevante Usability-Aspekte valide erkannt werden können, ist es wichtig, die Anwendungsfallstudien beim realen Anwender durchzuführen.¹²⁵ Eine Herausforderung dabei ist, dass der Einsatz von Power-Tools im Baugewerbe extrem vielseitig ist, weshalb es schwierig ist, genügend vergleichbare Tätigkeiten zu finden, um Produkte zu validieren. Es gibt daher den Wunsch, diese Validierungsversuche möglichst unter Laborbedingungen mit professionellen Anwendern durchzuführen.¹²⁶ Atteslander und Cromm vergleichen dazu Feld- und Laborstudien miteinander. Im Unterschied zur Feldbeobachtung werden im Laborversuch die Umgebungsrandbedingungen künstlich festgelegt. Die zu beobachtenden Anwender handeln also nicht in ihrer natürlichen, sondern in einer künstlichen Umwelt, die von den Forschern konstruiert und kontrolliert wird. Bei der Feldbeobachtung dagegen wird das soziale Verhalten der Anwender in ihrer natürlichen Umwelt unter den dort herrschenden Bedingungen untersucht, ohne diese gezielt zu verändern. Dementsprechend muss sich der Verlauf der Beobachtung an den üblichen Abläufen, vorgegebenen Zeiten und Räumlichkeiten, sowie typischen Situationen orientieren.¹²⁷ ISO/TR 16982 sieht hierbei besondere Vorteile des Feldversuches im Vergleich zum Laborversuch durch die Beobachtung des realen Umfeldes, sowie in der Erfassung der realen Anwender. Nachteilig wird die sehr zeitintensive Datenanalyse, die nötige Expertise zur Interpretation, sowie die mangelhafte Möglichkeit mentale Prozesse zu erfassen gesehen.¹²⁸ Aufgrund dieser Rahmenbedingungen wird bei der Identifizierung von Entwicklungszielen oftmals ein zweistufiger Prozess durchlaufen. Im ersten Schritt werden Anwendungsfallanalysen beim professionellen Anwender in seiner realen Umgebung durchgeführt und ein möglichst vollständiger Nutzungskontext aufgebaut. Im zweiten Schritt werden aus den Erkenntnissen Laborversuche abgeleitet und unter reproduzierbaren, realitätsnahen Bedingungen durchgeführt. Zum Aufzeigen möglicher Herangehensweisen eines solchen Studiendesign werden im Folgenden Anwendungsfallstudien vorgestellt, welche mit dem Ziel durch-

¹²⁵ Dumas und Redish (1999); M. de Looze et al. (2001).

¹²⁶ Vink et al. (2002).

¹²⁷ Atteslander und Cromm (2008).

¹²⁸ ISO/TR 16982.

geführt wurden, ein Power-Tool oder handgehaltenes Werkzeug für die Anwender zu optimieren. Für die vorliegende Arbeit sind dabei besonders Ansätze wichtig, welche den Entwickler dabei unterstützen, identifizierte Anwendungen unter Laborbedingungen realitätsnah und reproduzierbar abzubilden. In diesem Zusammenhang führen beispielsweise Luttmann et al. eine Anwendungsfallstudie bei drei professionellen Maurern auf Baustellen durch, um Entwicklungspotentiale von Maurerkellen zu identifizieren. Die genaue Arbeitsdurchführung der Maurer wird mittels Videoaufnahmen und Protokollierung erfasst, sowie sämtliche zu bewegend Lasten der Ziegelsteine gewogen. Die eingenommenen Gelenkwinkel der Probanden werden aus den Videodaten herausgemessen. Aus dieser Anwendungsfallstudie wird ein Versuchssetup aufgebaut, innerhalb welchem professionelle Maurer im Labor die Anwendung *Aufbau einer Ziegelwand* durchführen. Durch die definierten Versuchsbedingungen ist es möglich, zusätzliche Messtechnik einzusetzen, um die Anwendungsanalyse weiter zu objektivieren. Luttmann et al. setzen zu diesem Zweck eine Kraftmessplatte zur Erfassung der Reaktionskräfte und EMG-Sensoren (Elektromyographie) zur Erfassung der Muskelermüdung ein (Abbildung 9).¹²⁹ Vink et al. analysieren ebenfalls die Anwendungsausführung von gewerblichen Maurern. Innerhalb ihrer Studie erfassen Sie dabei die Sauerstoffaufnahme und die Herzfrequenzraten von 50 professionellen Anwendern. Mit den erhobenen Daten soll auf körperliche Belastungen in Abhängigkeit der Tätigkeit geschlossen werden und neue, auf die Nutzerbedürfnisse optimierte, Produkte entwickelt werden. Die zentrale Relevanz der umfangreichen Anwendungsfallanalyse wird dabei besonders durch die Autoren hervorgehoben, da diese als ausschlaggebend für die Identifizierung der Problemursache gesehen wird. Zur eindeutigen und objektiven Beschreibung des Entwicklungsziels wird der Einsatz von Messtechnik empfohlen.¹³⁰ Als weiteren Vorteil von Laborstudien im Gegensatz zu Feldversuchen, wird die Möglichkeit der Validierung neuer Produktvarianten hervorgehoben, da beispielsweise Entwicklungsstände unter vergleichbaren, realitätsnahen Bedingungen verglichen werden können. So führen Vink et al. etwa eine Validierungsstudie mit Maurern durch, wobei der Optimierungsgrad der neuen Produkte durch Haltungsanalysen der Probanden (mittels Videobildanalyse) während der Anwendungsausführung und durch den Einsatz von Fragebogen zur Erfassung des subjektiven Komfortempfindens erfolgt.¹³¹

¹²⁹ Luttmann et al. (1991).

¹³⁰ Vink und Koningsveld (1990).

¹³¹ Vink et al. (2002).

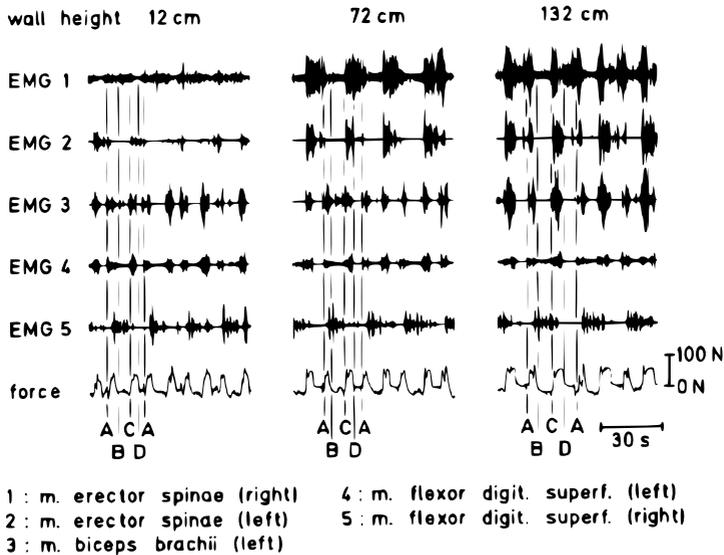


Abbildung 9: EMG-Signale und Reaktionskräfte in Abhängigkeit der Wandhöhe¹³²

Zur Analyse der körperlichen Belastung von Dachdeckern führt Vink eine weitere Anwendungsfallstudie durch. Hierbei werden professionelle Dachdecker bei ihrer realen Anwendungsausübung mit Bohrmaschinen analysiert, um auf Basis dieser Daten Entwicklungspotentiale abzuleiten. Durch den Einsatz von Bild- und Videoaufnahmen werden Gelenkwinkel und Positionen erfasst, welche im Anschluss in ein biomechanisches Menschmodell überführt werden. Tendenziell auftretende Belastungen in der Anwendung können so überprüft und kritische Haltungen identifiziert werden. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wird ein Unterstützungssystem zur Benutzung der Bohrmaschine entwickelt, welches die Rückenbeugung während der Anwendung reduziert (Abbildung 10). Der Prototyp des optimierten Systems wird durch zehn professionelle Dachdecker erprobt, wobei sich eine deutliche Akzeptanz der Anwender abzeichnet.¹³³

¹³² Luttmann et al. (1991).

¹³³ Vink (1992).

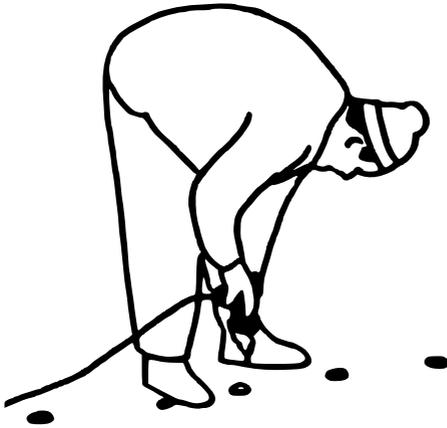


Abbildung 10: Einsatz von Bohrmaschinen durch Dachdecker mit herkömmlichem (links) und optimierten System (rechts) zur Reduzierung der Rückenbelastung¹³⁴

Im Stand der Forschung existieren weitere Anwendungsfallanalysen, wie beispielsweise eine Studie von Pan et al. oder von van der Grinten et al., welche das Ziel der nutzerzentrierten Produktentwicklung haben. Pan et al. analysieren hierbei 60 professionelle Trockenbau Anwender in ihrer Anwendungsausführung. Als besondere Erkenntnisse ihrer Studien wird die Tatsache hervorgehoben, dass durch Anwendungsfallstudien im Feld wichtiges Erfahrungswissen durch die professionellen Anwender, hinsichtlich der genauen Anwendungsausführung und auftretenden Schwierigkeiten, gesammelt werden kann.¹³⁵ Dieses Wissen kann nachhaltig dazu genutzt werden, um reliabel unter Laborbedingungen gesundheitsschädliche Anwendungen zu verbessern. Des Weiteren entwickeln van der Grinten et al. aufgrund ihrer Anwendungsfallanalyse neue Beladungssysteme für Flugzeuggepäck und können das Komfortempfinden der Arbeiter deutlich steigern¹³⁶.

¹³⁴ Vink (1992).

¹³⁵ Pan et al. (2000).

¹³⁶ Van der Grinten et al. (2016).

Zwischenfazit zur Durchführung von Anwendungsfallstudien

Auf Basis der vorgestellten Ergebnisse wird deutlich, wie wichtig die Erkenntnisse aus Anwendungsfallstudien für die Entwicklung von Power-Tools sind, welche über eine hohe Anwendungseignung verfügen sollen. Die vorgestellten Methoden helfen bei der vollständigen und umfangreichen Beschreibung des Nutzungskontextes eines Power-Tools. Durch Auswertung des Nutzungskontextes hinsichtlich resultierender Erfordernisse können Entwicklungsziele für neue Produktgenerationen abgeleitet werden, welche sich an den konkreten Anforderungen der Nutzer orientieren.¹³⁷ Zum Aufbau dieses Verständnisses müssen Anwendungsfallstudien durchgeführt werden, welche innerhalb von Feld- oder Laborversuchen durchgeführt werden können. Je weniger die relevanten Usability-Aspekte einer Anwendung bekannt sind, desto wichtiger ist es, die Erfassung in der realen Umgebung des Anwenders durchzuführen. Auf Grund der Vielseitigkeit der Tätigkeiten innerhalb einer Anwendung und dem individuellen Einsatz von Power-Tools können objektive, valide Versuchsbedingungen im Feld nur schwer realisiert werden. Die Überführung der Versuche in das Labor wird daher angestrebt, sobald ein umfangreiches Bild der realen Anwendungsausführung vorhanden ist. Auf Basis der Erkenntnisse kann eine Vorauswahl relevanter Usability-Aspekte erfolgen, welche innerhalb von Anwendungsfallstudien im Labor abgebildet werden können.

2.4 Störgrößen bei der Erfassung von Usability-Aspekten

Wird der Zusammenhang zwischen der Gestaltung eines Produkts, dem Produkteinsatz durch einen Anwender und dem aus dieser Interaktion resultierenden Qualitätseindruck betrachtet, fällt auf, dass die empfundene Qualitätswahrnehmung durch Störgrößen beeinflusst wird¹³⁸.

¹³⁷ Adler et al. (2010).

¹³⁸ Kok (2016). Dissertationsschrift; Sauer et al. (2010).

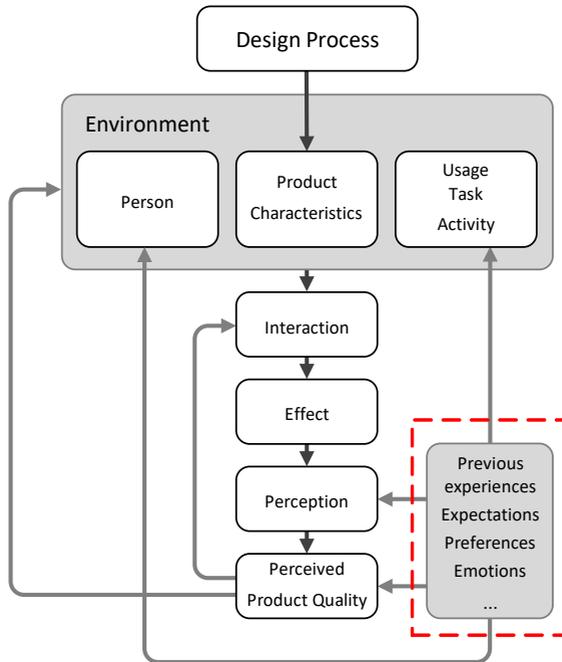


Abbildung 11: Produkt – Design – Qualität – Modell nach Kok, Michiel de Looze et al. und Vink und Hallbeck¹³⁹

Ausgehend vom Produkt – Design – Qualität – Modell nach Kok haben einige Störgrößen einen direkten Einfluss auf die Wahrnehmung, sowie auf die empfundene Qualität (Abbildung 11). Solche Störgrößen können dabei beispielsweise bestehende Vorlieben oder Erwartungen eines Anwenders an ein Produkt oder die Erfahrung im Umgang mit diesem sein¹⁴⁰. Um eine wie in den vorangegangenen Kapiteln geforderte störungsreduzierte Erfassung der Usability-Aspekte zu realisieren, müssen Herangehensweisen entwickelt werden, die im Umgang mit störgrößenbelasteten Produktbewertungen helfen. Hierzu werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit am Beispiel der Störgröße der *Expertise in der Anwendung*, sowie des *Einflusses der Marke* auf die Produktbewer-

¹³⁹ Kok (2016); Michiel de Looze et al. (2003); Vink und Hallbeck (2012).

¹⁴⁰ Kok (2016).

zung, Ansätze zur Berücksichtigung erarbeitet. Im Folgenden werden die beiden Themenbereiche beleuchtet und bestehende Forschungsaktivitäten in diesen Bereichen vorgestellt.

2.4.1 Einfluss der Expertise auf die Produktbewertung

Werden Produktbewertungen von Probanden durchgeführt, steht oftmals die Frage nach den bestehenden Vorkenntnissen und der Expertise auf dem zu bewertenden Bereich an zentraler Stelle. Unter dem Begriff der Expertise bzw. des Experten werden dabei im allgemeinen Sprachgebrauch häufig unterschiedliche Dinge gesehen, weshalb der Begriff zunächst abgegrenzt wird. Unter dem Begriff des Experten lassen sich nach der Definition von Bogner et al. Personen sehen, „*die sich – ausgehend von einem spezifischen Praxis- oder Erfahrungswissen, das sich auf einen klar begrenzbaren Problembereich bezieht – die Möglichkeit geschaffen haben, mit ihren Deutungen das konkrete Handlungsfeld sinnhaft und handlungsleitend für Andere zu strukturieren.*“ Es ist dabei also neben dem umfangreichen Fachwissen in einem spezifischen Bereich wichtig, das Wissen so einzusetzen, dass Erkenntnisse „*praxiswirksam und damit orientierungs- und handlungsleitend für andere Akteure*“ in diesem Handlungsfeld umgesetzt werden können.¹⁴¹ Oftmals wird in der Literatur der Begriff des Experten mit dem Begriff des Spezialisten gleichgesetzt. Ausgehend von der zuvor dargestellten Definition des Experten und den Ausführungen von Hitzler et al. unterscheidet sich jedoch ein Spezialist vom Experten darin, dass er zwar über besondere Kenntnisse in seinem Fachbereich verfügt, welche er zur Durchführung seiner spezialisierten Tätigkeit benötigt, er diese aber weder in den Bezug zu anderen Spezialisten-Funktionen setzen kann, noch Aussagen über das Problemgebiet im Allgemeinen treffen kann. Da im weiteren Verlauf der Arbeit stets mit Probanden gearbeitet wird, welche speziell innerhalb ihrer Fachbereiche über besondere Kenntnisse verfügen, handelt es sich in diesem Sinne eher um Spezialisten. Da zum Begriff des Spezialisten jedoch nur sehr wenige Forschungsarbeiten vorliegen, wird im Folgenden zunächst auf die Eigenschaften des Expertenstatus im Allgemeinen und im Anschluss daran auf Untersuchungen mit Spezialisten eingegangen. Dazu werden im speziellen Unterscheidungsmöglichkeiten zwischen Laien und Experten gegeben, sowie charakteristische Unterschiede im Bewertungsverhalten aufgezeigt. Unter dem

¹⁴¹ Bogner et al. (2014, S. 14); LaFrance (1989).

Begriff des Laien / Novizen werden weiterhin Personen verstanden, welche nicht den Zugang zu dem Experten- bzw. Spezialwissen haben.¹⁴²

Je nach Untersuchungsziel werden im Allgemeinen Probanden für Versuche ausgewählt, welche je nach Ausprägung ihrer Vorkenntnisse und Erfahrungen innerhalb von separaten Versuchsgruppen eingeteilt werden (vgl. Kap. 2.2.1.4), damit die Einflüsse aus den Unterschieden detektiert werden können. Zur Separierung der Probandengruppen hinsichtlich ihrer Spezifikationen können unterschiedliche Ansätze verwendet werden. So schlagen Cellier et al. eine Unterteilung anhand der Expertise im zu bewertenden Umfeld vor, welches an folgenden Kriterien festgelegt werden kann:

- Unterscheidung des Status auf Grund des vorhandenen Dienstalters im betreffenden Umfeld.
- Unterscheidung des Status auf Grund von Leistungsbeurteilungen, akademischen Titeln oder Arbeitskollegen.
- Unterscheidung des Status auf Grund der angenommenen Kenntnisse.¹⁴³

Ein Experte unterscheidet sich dabei nach Cellier et al. vor allem in der Vorgehensweise bei der Bewertung vom Laien, was an drei wesentlichen Punkten besonders deutlich wird:

- Im Gegensatz zu Laien haben Experten die ausgeprägte Fähigkeit, aus gemachten Eindrücken Schlussfolgerungen zu ziehen.
- Experten denken Situationen voraus und handeln entsprechend präventiv, bevor Störungen auftreten. Laien arbeiten dagegen oft eher reaktiv und handeln erst, wenn die Störung schon auftritt.
- Experten nehmen eine globalere und funktionellere Sichtweise der Situation ein. Aus einem breiten Spektrum an Informationen werden stets nur eine begrenzte Anzahl an Annahmen getroffen, welche die relevanten Informationen enthalten, wobei potentielle Nebenwirkungen berücksichtigt werden. Die erhöhte funktionelle Sichtweise wird auf die

¹⁴² Hitzler et al. (1994).

¹⁴³ Cellier et al. (1997).

bessere Fähigkeit des Ableitens von Schlussfolgerungen und des Voraussehens von Problemen zurückgeführt.¹⁴⁴

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Riedel und Arbinger, welche in Ihren Arbeiten das Fahrverhalten von PKWs auf unterschiedlichen Teststrecken jeweils von „normalen“ Fahrern (Laien) und von professionellen Testfahrern (Experten) beurteilen lassen. Ihre Ergebnisse zeigen, dass Experten im Vergleich zu Laien deutlich differenziertere Bewertungen abgeben. Weiterhin stellen sie fest, dass es durchaus auch Laien gibt, welche in der Lage sind experten-ähnliche Bewertungen durchzuführen. In der Gesamtheit der Probanden zeigt sich aber das klare Bild, dass dies nur in Einzelfällen auftritt und Experten im Schnitt um den Faktor zwei reproduzierbarer bewerten.¹⁴⁵ Wird die Vorgehensweise verglichen, wie Experten und Laien zu einer Produktbewertung gelangen, fallen ebenfalls Unterschiede auf, die einen signifikanten Einfluss bei der Erhebung von subjektiven Qualitätseinschätzungen haben können. Albrecht zeigt in diesem Zusammenhang, dass Experten deutlich besser einzelne Aspekte bewerten können, bzw. sich innerhalb einer Bewertung darauf fokussieren und sich nicht so leicht von anderen Einflüssen ablenken lassen¹⁴⁶. Passend zu diesen Erkenntnissen zeigen Schenk et al., Sujan und Maheswaran et al., dass Laien sich oft von weichen Kriterien wie einzelnen Produktattributen, dem Herkunftsland oder anderen offensichtlichen Kriterien beeinflussen lassen, während Experten eher versuchen die Bewertungen anhand der Produktkategorien zu fällen oder analytisch vorzugehen, um zu einem Meinungsbild zu gelangen¹⁴⁷. Dies kann durchaus mit den Erkenntnissen von Alba und Hutchinson erklärt werden, welche zeigen, dass Experten Informationen besser und schneller einschätzen können, weshalb sie grundlegend mehr Informationen bei der Entscheidungswahl berücksichtigen als dies Laien im Vergleich machen. Weiterhin resultiert daraus die Hypothese, dass sich Laien in ihrer Entscheidungsfindung meist auf Attribute verlassen, welche sie leicht verstehen, weshalb Einflüsse wie ein externer Verkaufsberater oder der Markenname einen besonders großen Einfluss auf den Laien bei der Produktbeurteilung haben.¹⁴⁸ Einen weiteren interessanten Aspekt untersucht Chernev in seinen Arbeiten, in welchen er den eigentlichen Prozess der Entscheidungsfindung analysiert. Er postuliert, dass

¹⁴⁴ Cellier et al. (1997).

¹⁴⁵ Lerspalungsanti (2010). Dissertationsschrift; Riedel und Arbinger (1997).

¹⁴⁶ Albrecht (2005). Dissertationsschrift.

¹⁴⁷ Maheswaran (1994); Schenk et al. (1998); Sujan (1985).

¹⁴⁸ Alba und Hutchinson (1987).

Experten wie Laien ihre Bewertungen anhand von fixen Kriterien fällen. Unterschiede in den Bewertungen resultieren dabei oft daher, dass Laien auf Grund von fehlender Expertise nicht die gleichen Bewertungskriterien wie Experten verwenden und daher die Bewertung ungenauer wird, bzw. diese zu keiner abschließenden Bewertung kommen. Werden diese relevanten Kriterien nun den Laien vorgegeben, dann kann Chernev in seinen Studien zeigen, dass diese deutlich einfacher zu einer Entscheidung gelangen, bzw. dass die Präferenzstärke der Laien zunimmt.¹⁴⁹

Neben dem unterschiedlichen Bewertungsverhalten von Experten und Laien sollen im Folgenden die Unterschiede zwischen diesen beiden Gruppen betrachtet werden, welche sich während der Benutzung von Power-Tools oder Handwerkzeugen zeigen. Hierbei werden vor allem Spezialisten in der Anwendung mit Laienanwendern verglichen.

Rockwell und Marras können in ihren Untersuchungen zeigen, dass der unterschiedliche Grad der Erfahrung bzw. der Expertise in der Benutzung von Werkzeugen einen signifikanten Einfluss auf deren Handhabung hat. Zurückgeführt wird dieser Unterschied auf die unterschiedliche Einsatztechnik der Werkzeuge von Laien und Experten¹⁵⁰. Dazu passen die Ausführungen von Lee et al., welche zeigen, dass sich professionelle Arbeiter (Spezialisten) bei der Benutzung von Farbsprühpistolen deutlich besser an die Eigenschaften des Systems anpassen und sie daher signifikant anders benutzen als Laien¹⁵¹. Weiterhin zeigen Untersuchungen von Brill et al., dass sich nicht professionelle Anwender bei der Benutzung von Handwerkzeugen deutlich schlechter auf sich ändernde Anwendungen einstellen können, wodurch es dazu kommt, dass Spezialisten deutlich weniger Energie als Laien bei der Arbeit verbrauchen¹⁵². Dies lässt sich ebenfalls objektiv an der Variabilität der Gelenkstellungen der Anwender messen. Biryukova und Brill untersuchen zu diesem Aspekt professionelle Steinmetze im Vergleich zu Laienanwender hinsichtlich unterschiedlicher Anwendungen. Während sich der professionelle Anwender je nach Anwendung differenziert mit seiner Körperposition an die Anwendung anpasst, fällt beim Laienanwender auf, dass nur sehr geringe Unterschiede in den Gelenkwinkeln zwischen unterschiedlichen Anwendungen wahrgenommen werden können.¹⁵³

¹⁴⁹ Chernev (2003).

¹⁵⁰ Rockwell und Marras (1986).

¹⁵¹ Lee et al. (1997).

¹⁵² Brill et al. (2010).

¹⁵³ Biryukova und Brill (2008).

Laien nehmen im Vergleich zum Spezialisten innerhalb der gleichen Anwendung deutlich mehr Kräfte auf, was zu einer frühzeitigen Ermüdung führen kann und entsprechend die Qualitätswahrnehmung des Laien beeinflusst und in wahrgenommenem Dis-Komfort resultiert. Jia-Hua Lin et al. können diesen Effekt bei der Belastung durch Drehmomente zeigen. Laienanwender passen sich hierbei deutlich schlechter an das System bzw. an die wirkenden Kräfte und Momente an und nehmen dadurch mehr Drehmomente mit ihrem Körper auf, als es der Fall bei Spezialisten ist.¹⁵⁴ Dazu passend stellen Malinowska-Borowska und Zieliński in ihren Studien Ergebnisse vor, bei welchen Anwender hinsichtlich der aufzunehmenden Kräfte bei der Benutzung von Kettensägen in unterschiedlichen Anwendungsfällen untersucht wurden. Es zeigt sich, dass Laienanwender im Vergleich zum professionellen Anwender deutlich mehr Kräfte des Geräts aufnehmen, was zur frühzeitigen Ermüdung und entsprechendem Dis-Komfort führt.¹⁵⁵ Weiterhin lassen sich Unterschiede zwischen Laien und Spezialisten bei passiven, unbewussten Reaktionen des Körpers feststellen. So zeigen beispielsweise die Untersuchungen von Jia-Hua Lin et al., dass der Grad der Expertise in der Anwendung einen signifikanten Effekt auf die Steifigkeit des Hand-Arm Systems des Anwenders haben. Laienanwender stellen die Steifigkeit ihres Hand-Arm Systems steifer auf wirkende Belastungen ein, als es der Fall bei professionellen Anwendern ist.¹⁵⁶ Diese veränderten Benutzungseigenschaften zeigen sich auch, wenn die Arbeitsqualität, also beispielsweise das Arbeitsergebnis oder die Performance bei der Arbeit, analysiert wird. So stellen unter anderem Bril et al. Ergebnisse vor, anhand derer eine Abhängigkeit zwischen dem Grad der Expertise und der Qualität des Arbeitsergebnisses vermutet werden kann. Allgemein zeigen Studien, dass Spezialisten hinsichtlich des Erfolgs und der Präzision bei der Arbeit im Normalfall Laien deutlich überlegen sind¹⁵⁷.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es deutliche Unterschiede zwischen Experten, respektive Spezialisten, gibt, welche sich im Grad der Expertise, dem Vorgehen bei der Entscheidungsfindung und Beurteilung von Produkten und dem aktiven, sowie passiven körperlichen Verhalten während der Verwendung von Power-Tools und Handwerkzeugen zeigen. Im aktuellen

¹⁵⁴ Jia-Hua Lin et al. (2011).

¹⁵⁵ Malinowska-Borowska und Zieliński (2013).

¹⁵⁶ Jia-Hua Lin et al. (2011).

¹⁵⁷ Chi et al. (2014).

Stand der Forschung werden vielseitige Beispiele und Untersuchungen aufgezeigt, welche die deutliche Beeinflussung der Störgröße Expertise hinsichtlich der Produktbewertung verdeutlicht. Es ist daher davon auszugehen, dass die Erfassung von Usability-Aspekten deutlich durch diese Störeinflüsse beeinflusst wird, sofern Probanden unterschiedlicher Expertise innerhalb der Bewertung berücksichtigt werden. Der Aufbau von Methoden, welche die Möglichkeit der gezielten Berücksichtigung respektive Beeinflussung dieser Störgröße bei der Erfassung der Usability-Aspekte beinhaltet, ist daher wichtig für die Entwicklung von nutzeroptimierten Produkten.

2.4.2 Einfluss der Marke auf die Produktbewertung

Wie im vorangegangenen Kapitel dargestellt, steigt mit sinkendem Grad der Expertise in einem Fachbereich die Gefahr, sich bei der Produktbewertung von weichen, offensichtlichen Kriterien beeinflussen zu lassen, ohne alle relevanten Einflüsse erfasst zu haben¹⁵⁸. Entsprechend liegt der Schluss nahe, dass sich vor allem Laien durch die Störgröße des Markeneinflusses stark beeinflussen lassen. Um diese Hypothese zu untersuchen, wird im Folgenden der Stand der Forschung zum Thema Käuferverhalten und Qualitätseinschätzung unter Berücksichtigung des Einflusses der Marke vorgestellt.

Um zu verstehen, wie ein Käufer im Normalfall zu seiner Kaufentscheidung kommt, werden die drei Kaufphasen nach Foscht et al. eingeführt. Hierbei wird davon ausgegangen, dass zu Beginn jeder Kaufentscheidung eine so genannte *Vorkaufphase* stattfindet, in welcher die eigentliche Intention, bzw. das Bedürfnis nach einem neuen Produkt entsteht. Innerhalb dieser Phase findet eine Informationssuche nach dem passenden Produkt, sowie eine Evaluierung der Eignung potentieller Produkte statt. Bei der Informationssuche spielen vor allem bereits gemachte Erfahrungen eine entscheidende Rolle, weshalb das Ausmaß der Suche auch mit zunehmender Erfahrung abnimmt¹⁵⁹. Der Markenname ist in dieser Phase entscheidend und wird von den Konsumenten unter anderem als Mittel genutzt, das Kaufrisiko zu mindern, die Komplexität des Angebots zu

¹⁵⁸ Schenk et al. (1998).

¹⁵⁹ Foscht et al. (2015, S. 200).

reduzieren und stellt für den Konsumenten eine Form der Qualitätssicherungsfunktion dar¹⁶⁰. Innerhalb der zweiten Phase, der *Kaufphase*, wird die Informationssuche fortgeführt und es werden Alternativen identifiziert. Zusätzlich kommt es zur eigentlichen Intention einen Kauf durchzuführen und schlussendlich zum Kauf des Produkts. Wie auch in der Phase zuvor, spielt der Markenname bei der Kaufentscheidung eine wesentliche Rolle. In der letzten Phase der so genannten *Nachkauf- und Nutzungsphase* erfolgt die Nutzung und die Evaluierung der tatsächlichen Leistung des Produkts. Dabei werden teilweise Vergleiche zu anderen Marken gezogen. Wird in der Nachkaufphase ein Produkt positiv evaluiert, kann es unter anderem zur so genannten *Brand-Loyalty* kommen, wodurch der Kunde sich mit der Marke identifiziert und eine gewisse Loyalität aufbaut.¹⁶¹ Nach Gordon et al. kann sich solch eine Markenloyalität so stark auswirken, dass Kunden nur noch lediglich zwei Marken innerhalb ihrer Kaufentscheidung berücksichtigen und aus diesen beiden das präferierte auswählen¹⁶². Zu entsprechenden Ergebnissen kommen Hoyer und Brown, die in Ihren Studien zeigen, dass ein starker Markenname dazu führt, dass Käufer und hierbei insbesondere unerfahrene Käufer dazu tendieren, bei der Kaufentscheidung lediglich zwischen bekannten Marken eine Kaufentscheidung zu treffen und andere, weniger bekannte Marken, nicht zu testen bzw. in die Evaluierung einzubeziehen¹⁶³. Ebenso hat der Bekanntheitsgrad der Marke einen direkten Bezug zur Geschwindigkeit, mit der eine Präferenz hinsichtlich eines Produkts entwickelt wird. Je stärker die Marke, desto spontaner entscheiden Konsumenten sich dazu, ob ein Produkt für die adressierte Anwendung geeignet ist und desto weniger werden die Entscheidungen hinterfragt¹⁶⁴. Dabei verstärkt sich der Einflusseffekt der Marke, je unkritischer die Kaufentscheidung für den Konsumenten ist¹⁶⁵. Weiterhin können Jacoby et al. Indizien aufzeigen, die den Schluss nahelegen, dass durch die offen sichtbare Marke neben der Tendenz zur schnelleren Kaufentscheidung auch die Zufriedenheit mit dem Produkt ansteigt und das, obwohl meist weniger Informationen bei der Auswahl des passenden Produkts berücksichtigt werden¹⁶⁶. Der Markenname scheint also einen direkten Einfluss auf das Ausmaß der Präferenz bezüglich eines Produktes zu haben, wodurch die Kaufentscheidung und spätere Evaluation

¹⁶⁰ Foscht et al. (2015, S. 194).

¹⁶¹ Foscht et al. (2015, 229 ff.).

¹⁶² Gordon et al. (1993).

¹⁶³ Hoyer und Brown (1990).

¹⁶⁴ Foscht et al. (2015); Scheier (2008).

¹⁶⁵ Maheswaran et al. (1992).

¹⁶⁶ Jacoby et al. (1977).

von Produkten wesentlich beeinflusst wird¹⁶⁷. Einschränkend wirken hierbei die Erkenntnisse von Scheier, welcher zum Schluss kommt, dass der Effekt der spontanen positiven Bewertung hauptsächlich beim absoluten Marktführer innerhalb einer Produktkategorie auftritt¹⁶⁸. Insgesamt kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der Markenname einen signifikanten Einfluss auf den Kaufentscheid und im weiteren Sinne auch auf die Qualitätseinschätzung hat¹⁶⁹.

Wird der Aspekt des Markeneinflusses auf die Qualitätseinschätzung genauer betrachtet, finden sich im Stand der Forschung ebenfalls umfangreiche Untersuchungen. So stellen beispielsweise Biedenbach und Marell und Maheswaran et al. eindeutige Zusammenhänge und Beeinflussungen zwischen den Markennamen und der jeweiligen Produktbewertung her, der so weit geht, dass ein bekannter Markenname zu besseren Produktbewertungen führt und dies zunächst unabhängig von objektiven Qualitätskriterien stattfindet¹⁷⁰. In subjektiven Bewertungen zur Produktqualität können Kujit-Evers et al. zeigen, dass das Aussehen und der abgebildete Markenname eines Power-Tools einen signifikanten Einfluss auf die Bewertung haben¹⁷¹. Gordon et al. postulieren über die Zusammenhänge vom Ruf einer Marke und der Auswirkungen eines positiven Rufs auf die Produktbewertung. Dabei zeigt sich, dass je besser der Ruf einer Marke nach außen vertreten wird, desto besser wird die Produktqualität von Konsumenten wahrgenommen und entsprechend bewertet. Im Gegenzug dazu führt ein schlechter Ruf einer Marke auch automatisch dazu, dass Produkte hinsichtlich ihrer erwarteten Qualität zunächst schlechter wahrgenommen und bewertet werden.¹⁷² Der Einfluss der erwarteten Produktqualität ist also ebenfalls entscheidend. Die Erwartungen, die ein Konsument an ein Produkt stellt und die oftmals durch einen Markennamen, sowie bestehende Erfahrungen bestimmt werden, haben einen sehr großen Einfluss auf die Produktbewertung¹⁷³. Positive Erwartungen führen dabei zu positiveren Produktwahrnehmungen¹⁷⁴. Dabei verlassen sich Anwender bisweilen lieber auf die Erwartungen, die an

¹⁶⁷ McClure et al. (2004).

¹⁶⁸ Scheier (2008).

¹⁶⁹ Hoyer und Brown (1990).

¹⁷⁰ Biedenbach und Marell (2010); Maheswaran et al. (1992).

¹⁷¹ Kujit-Evers et al. (2005).

¹⁷² Gordon et al. (1993).

¹⁷³ Raita und Oulasvirta (2011).

¹⁷⁴ Alba und Williams (2013).

ein Produkt gestellt werden, als auf tatsächliche Erfahrungen, die gemacht werden könnten.¹⁷⁵ Wurden bereits Erfahrung in der Verwendung der gleichen oder ähnlicher Produkte gemacht, tritt der Effekt der positiven Produkterfahrungen auf, welcher dazu führen kann, dass ein Markenbewusstsein und die Markenloyalität im Allgemeinen ansteigen¹⁷⁶. Im Gegenzug dazu führen allerdings auch schlechte Produkterfahrungen dazu, dass Produkte teilweise dauerhaft schlechter bewertet werden¹⁷⁷. Neben weiteren Faktoren hängt das absolute Qualitätsbewusstsein also von der empfunden Anwendungsqualität, sowie dem durch die Marke beeinflussten erwarteten Qualitätsgedanken ab¹⁷⁸.

Zur Verringerung dieser Beeinflussung gibt es in aktuellen Forschungsarbeiten erste Ansätze, wie bei der Erfassung von Usability-Aspekten mit der Beeinflussung durch die Marke umgegangen werden kann. Hierbei gibt es den Ansatz, die Marke von Produkten während der Bewertung zu verschleiern, bzw. auszublenken. Dies gelingt beispielsweise durch so genannte Blindtests. Bei der Durchführung von Blindtests wird dabei das Ziel verfolgt, dass durch die Entfernung von jeglichen visuellen Eindrücken und Einflüssen, wie beispielsweise dem Markennamen, der Form und Farbe, sowie weiteren möglichen Störgrößen, sich die Bewertung der Produktqualität lediglich auf die interessierenden Produktinformationen beschränkt¹⁷⁹. Blindtests führen dabei zu teilweise überraschenden Ergebnissen und es kann dazu kommen, dass anonymisierte Produkte auf Grund der besonderen Situation von den Bewertenden besonders bevorzugt werden. Weiterhin kann es durch die Abstraktion der Situation dazu kommen, dass Probanden die Bewertungssituation nicht mehr als realistisch wahrnehmen und dadurch andere Bewertungskriterien bei der Entscheidungsfindung an Relevanz gewinnen, wodurch keine objektiven Bewertungsergebnisse mehr erzielt werden können.¹⁸⁰ Weitere vielversprechende Aspekte zur Reduzierung der Störgröße des Markeneinflusses auf die Produktbewertung können bei Betrachtung des Einflusses der aktiven Benutzung von Produkten gefunden werden. So können Kujala und Miron-Shatz in ihren Studien zur Untersuchung des subjektiven Qualitätsempfinden in den unterschiedlichen Kaufphasen (vgl. Abbildung 4) zeigen, dass mit zunehmender Benutzungsdauer die

¹⁷⁵ Klaaren et al. (1994).

¹⁷⁶ Biedenbach und Marell (2010).

¹⁷⁷ Kujala und Miron-Shatz (2015).

¹⁷⁸ Gordon et al. (1993).

¹⁷⁹ Berekoven et al. (2009).

¹⁸⁰ Jacoby et al. (1977).

erwartete Qualität immer weniger Einfluss auf die empfundene Anwendungsqualität hat. Bei der Benutzung von unterschiedlichen Mobiltelefonen konnten sie weiterhin zeigen, dass Benutzer erst nach einer Erfahrungszeit von etwa fünf Tagen in der Lage waren, reliable Bewertungsergebnisse abzuliefern. Durch die aktive Benutzung der Systeme wurden die Probanden entsprechend befähigt, objektivere Bewertungen bezüglich der Produktqualität abzugeben.¹⁸¹ Wie Hoyer und Brown entsprechend feststellen, verliert der Markeneinfluss durch die aktive Benutzung von unterschiedlichen Marken an Bedeutung bei der Kaufentscheidung¹⁸². Hierbei muss allerdings entsprechend darauf geachtet werden, dass die Benutzung der Produkte nicht zu kurz ausfällt, da sonst weiterhin lediglich die erwartete Produktqualität gemessen wird und nicht die objektiv erlebte¹⁸³. Bei der Bewertung von Mobiltelefonen kommen Kujala und Miron-Shatz hierbei zum Schluss, dass eine Benutzungsdauer von mindestens zwei Tagen nötig ist, da innerhalb dieser Zeitspanne die erwartete Qualität einen signifikanten Einfluss auf die empfunden Anwendungsqualität hat. Inwiefern diese Untersuchungen an Mobiltelefonen, bei welchen der Anwender vor allem im Informationsfluss mit dem technischen System steht, übertragbar auf Systeme sind, bei denen der Anwender im direkten Leistungsfluss steht, wird im Stand der Forschung nicht beleuchtet. Einen weiteren positiven Effekt der aktiven Benutzung der Systeme können Hoch und Ha feststellen, wobei sie zeigen, dass durch die aktive Benutzung der Produkte die Anfälligkeit von Konsumenten abnimmt, sich durch externe Kommunikationsmaßnahmen in ihrer Bewertung beeinflussen zu lassen¹⁸⁴. Neben einer objektiveren Bewertung lässt sich also durch die aktive Benutzung von Produkten evtl. auch eine reliable Bewertung erzielen.

2.4.3 Zwischenfazit zu Störgrößen bei der Erfassung von Usability-Aspekten

Sollen relevante Usability-Aspekte von Produkten erfasst werden, muss sich mit dem Problem auseinandergesetzt werden, dass die erfassten Daten zur empfunden Anwendungseignung stets von Störgrößen verzerrt werden. Zwei relevante Störgrößen, die einen intensiven Einfluss auf die subjektiven Bewertungen haben, sind der Störeinfluss durch die unterschiedliche Expertise der

¹⁸¹ Kujala und Miron-Shatz (2015).

¹⁸² Hoyer und Brown (1990).

¹⁸³ Kujala und Miron-Shatz (2015).

¹⁸⁴ Hoch und Ha (1986).

Anwender in der Produktbenutzung, sowie die durch den Markeneinfluss verzerrte erwartete Produktqualität. Sollen Produkte, welche genau zu den spezifischen Anwendungsanforderungen der Anwender passen sollen, entwickelt werden, ist es daher entscheidend, dass Usability-Aspekte möglichst ohne Beeinflussung der Störgrößen erfasst werden, bzw. dass deren Einfluss quantifiziert werden kann, um Abweichungen in der Produktentwicklung zu berücksichtigen. Der aktuelle Stand der Forschung lässt vermuten, dass die Fähigkeit zur objektiven, experten-ähnlichen Bewertung vor allem auf Grund des Wissens der richtigen Bewertungskriterien basiert. Der Störeinfluss der Marke steht nach den Erkenntnissen aktueller Forschungsarbeiten ebenfalls im direkten Zusammenhang mit der vorhandenen Expertise und der Erfahrung im jeweiligen Anwendungsfeld. Die weitere Untersuchung dieser ersten Indizien zeigt großes Potential, um beim Aufbau von Ansätzen zur beeinflussungsreduzierten Erfassung von Usability-Aspekten zu unterstützen, mit Hilfe derer Entwicklungszielgrößen abgeleitet werden können, die zur Optimierung der empfundenen Anwendungseignung führen.

2.5 Usability-Aspekte zur Entwicklung optimierter Griffgeometrien von Power-Tools

Bei der Benutzung eines Power-Tools oder eines Handwerkzeuges steht der Anwender im ständigen Leistungs- und Informationsfluss mit dem System und übt so einen entscheidenden Einfluss auf das erzielte Arbeitsergebnis aus¹⁸⁵. Die Interaktion zwischen Anwender und Power-Tool bzw. Handwerkzeug erfolgt dabei über die Schnittstelle des Gerätegriffs, weshalb dieser immer wieder im Fokus von Forschungsvorhaben steht und der Einfluss unterschiedlichster Usability-Aspekte auf die empfundene Anwendungseignung untersucht wird. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit sind mehrere Ansätze entstanden, mit Hilfe derer die beeinflussungsreduzierte Erfassung der Anwendungseignung, sowie die Identifizierung von relevanten Usability-Aspekten ermöglicht werden soll. Zur Validierung dieser Ansätze wird daher eine Studie am Beispiel der Griffgeometrieoptimierung eines Power-Tools durchgeführt. Zur Beurteilung der Studienergebnisse werden im Folgenden die Erkenntnisse der wichtigsten Studien zur Analyse und Weiterentwicklung der Griffgeometrie von Handwerkzeugen und Power-Tools vorgestellt. Da die vorgestellten Ansätze sowohl für

¹⁸⁵ Aptel et al. (2002).

Handwerkzeuge als auch für Power-Tools genutzt werden können, wird im Folgenden unter dem Begriff des Power-Tools auch stets der der Handwerkzeuge verstanden.

2.5.1 Rahmenbedingungen zur Entwicklung von Griffgeometrien von Power-Tools

Damit der Entwickler in die Lage versetzt wird, eine optimale Griffgeometrie für ein Power-Tool aufzubauen, ist die Kenntnis relevanter Usability-Aspekte eine wichtige Grundvoraussetzung¹⁸⁶. Bei der Entwicklung einer Griffgeometrie können diese sehr vielseitig sein, wie beispielsweise die Handgröße des Anwenders, die genauen Konturen der Griffgeometrie, die zur Verfügung stehende Handkraft, die Kontaktbedingungen (Handschuh, Schweiß, Nässe,...), die Anwendungsaufgabe und weitere Randbedingungen, wie etwa die abzustützenen Momente, welche auf das Handgelenk wirken.¹⁸⁷ Einen wesentlichen Einfluss hat hierbei die Anwendung, innerhalb welcher das zu optimierende System eingesetzt wird. So muss sich beispielsweise die Gestalt der Griffgeometrie konkret nach den wirkenden Kräften zwischen Anwender und Power-Tool richten. Je nach Körperhaltung und Arbeitsaufgabe sind diese Kräfte nicht konstant, sondern ändern sich fortlaufend. Eine optimierte Griffgeometrie muss daher auf diese unterschiedlichen Anforderungen ausgelegt sein.¹⁸⁸ Im direkten Zusammenhang mit der korrekten Abbildung der Anwendung, also dem Aufbau einer realitätsnahen Testumgebung, steht die korrekte Durchführung einer Anwendung durch den adressierten Anwender, welche ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Bewertung einer Griffgeometrie haben kann und bereits zuvor als Störgröße der Expertise eingeführt wurden (vgl. Kap. 2.4.1)¹⁸⁹. Oh und Radwin führen zur Analyse des Zusammenhangs von Expertise (Fabrikarbeiter / Studenten) und maximaler Greifkraft Studien durch, innerhalb welcher sie diesen Einfluss bestätigen können. Während sich die Kraftverläufe in ihrer Charakteristik ähneln und beide ihren Maximalwert bei einem Griffdurchmesser von etwa 60 mm erreichen, erreichen die professionellen Anwender über alle Durchmesser hinweg deutlich größere Kraftwerte als die Studenten (Abbildung 12).

¹⁸⁶ Dianat et al. (2017).

¹⁸⁷ Dianat et al. (2017); Radwin und Haney (1996).

¹⁸⁸ Radwin und Haney (1996).

¹⁸⁹ Johnson (1988).

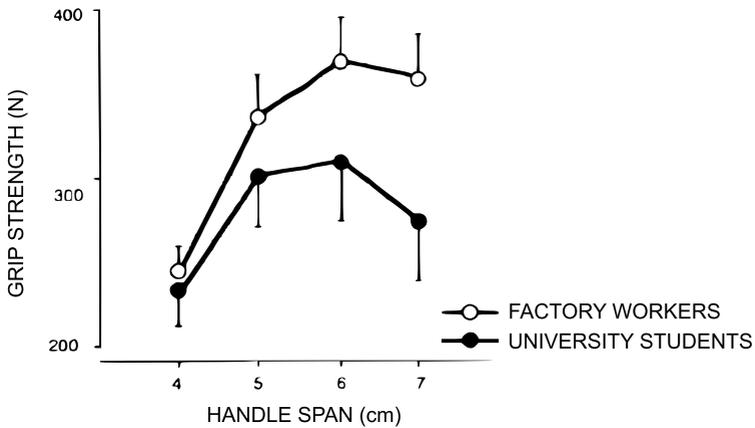


Abbildung 12: Maximale Greifkräfte in Abhängigkeit der Griffweite und Expertise¹⁹⁰

Weitere Einflüsse, die ebenfalls im Zusammenhang mit dem Einfluss der Expertise stehen, sind Lerneffekte innerhalb der ersten Benutzungsphase der Systeme. Um diese zu vermeiden, werden in mehreren Untersuchungen vor Beginn eines Versuchs Trainingsphasen durchgeführt, innerhalb welcher der Proband sich an die Versuchsumgebung gewöhnen kann und so ruhiger und objektiver bewerten kann.¹⁹¹ An diesen ersten aufgezeigten Beispielen wird schnell deutlich, wie vielseitig und teilweise kompliziert die Beeinflussung der Usability-Aspekte bei der Entwicklung einer Griffgeometrie sein kann. Eine besondere Herausforderung liegt daher auch in der Planung von entwicklungsbegleitenden Studien, um mögliche Einflüsse entweder nicht auftreten zu lassen oder bewusst berücksichtigen zu können. Damit dies gelingt, werden in den folgenden Kapiteln weitere wichtige Usability-Aspekte vorgestellt, die bei der Entwicklung einer optimalen Griffgeometrie berücksichtigt werden müssen.

¹⁹⁰ Oh und Radwin (1993).

¹⁹¹ Ayoub und Presti (1971); Eksioglu (2004); Johnson und Childress (1988).

2.5.2 Einfluss der Griffgeometrie auf die Kraftverteilung des Anwenders

Durch die intensive Interaktion des Anwenders mit einem Power-Tool treten diverse Kräfte und Momente an der Griffgeometrie auf, welche der Anwender mit seiner Körperkraft abstützen muss. Je nach Aufbau der Griffgeometrie variieren diese Kraftbeziehungen und haben einen signifikanten Einfluss auf das Dis-Komfort-Level des Anwenders¹⁹². In Abbildung 13 sind zwei Beispiele einer Griffgeometrie gegeben, wobei die unterschiedlichen Kraftangriffspunkte und Richtungen deutlich werden.

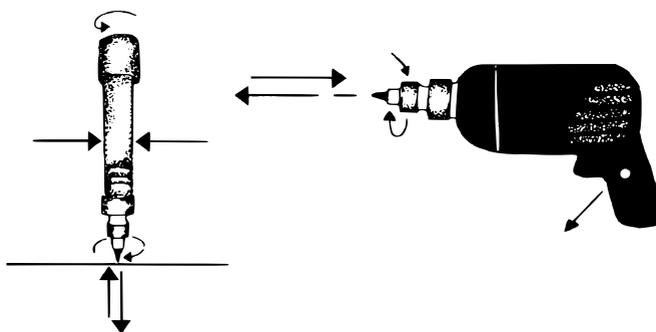


Abbildung 13: Kraftangriffspunkte und Richtungen bei der Benutzung unterschiedlicher Power-Tools mit Umfassungsgriff¹⁹³

Bei der Benutzung eines Power-Tools wird im Allgemeinen ein Umfassungsgriff (eng. power grip) realisiert, da mit diesem deutlich größere Momente und Kräfte aufgebracht werden können, als mit einem Zufassungsgriff (eng. precision grip). Mit Letzterem lassen sich dabei feine Bewegungen mit wenig Kraft ausführen¹⁹⁴. Weiterhin kann der Umfassungsgriff reibkraftschlüssig realisiert werden, wie es beispielsweise bei einem Akku-Stabschrauber der Falls ist (Abbildung 13 links) oder als formschlüssiger Pistolengriffes (Abbildung 13 rechts)

¹⁹² Dianat et al. (2017).

¹⁹³ Radwin und Haney (1996).

¹⁹⁴ Radwin und Haney (1996).

umgesetzt werden, wobei die Hauptkraftrichtungen entweder parallel oder orthogonal zur Griffgeometrie angeordnet sind¹⁹⁵. Eine Übersicht der möglichen Greifarten gibt Abbildung 14.

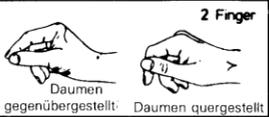
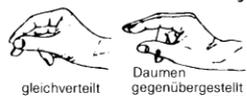
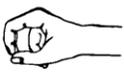
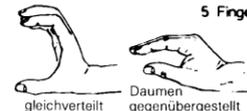
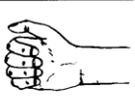
Kontakt -Griff	Zufassungs-Griff	Umfassungs-Griff
 <p>1 Finger</p>	 <p>2 Finger</p> <p>Daumen gegenübergestellt: Daumen quergestellt</p>	 <p>2 Finger</p>
 <p>Daumen</p>	 <p>3 Finger</p> <p>gleichverteilt Daumen gegenübergestellt</p>	 <p>3 Finger</p>
 <p>Hand</p>	 <p>5 Finger</p> <p>gleichverteilt Daumen gegenübergestellt</p>	 <p>4 Finger</p>
 <p>Handkamm</p>	 <p>Hand</p>	 <p>Hand</p>

Abbildung 14: Übersicht möglicher Greifarten¹⁹⁶

Die Kraft, die sich dabei auf der Hand verteilt, ist über die einzelnen Finger hinweg unterschiedlich. Den größten Teil der Kraftübertragung beim Greifen kommt dem Mittelfinger zu (34 %) ¹⁹⁷. Zeige- (24,9 %) und Ringfinger (26,5 %) erzeugen in etwa die Hälfte der gesamten Greifkraft und kleiner Finger (13,8 %) den geringsten Anteil¹⁹⁸. Abbildung 15 verdeutlicht diesen Zusammenhang in Abhängigkeit unterschiedlicher Griffdurchmesser für jeden Finger und als gesamte Fingerkraft.

¹⁹⁵ Adler et al. (2010, S. 84).

¹⁹⁶ Schmidtke (1989).

¹⁹⁷ Ayoub und Presti (1971); Kong und Lowe (2005); Oh und Radwin (1993); Sancho-Bru et al. (2003).

¹⁹⁸ Kong und Lowe (2005).

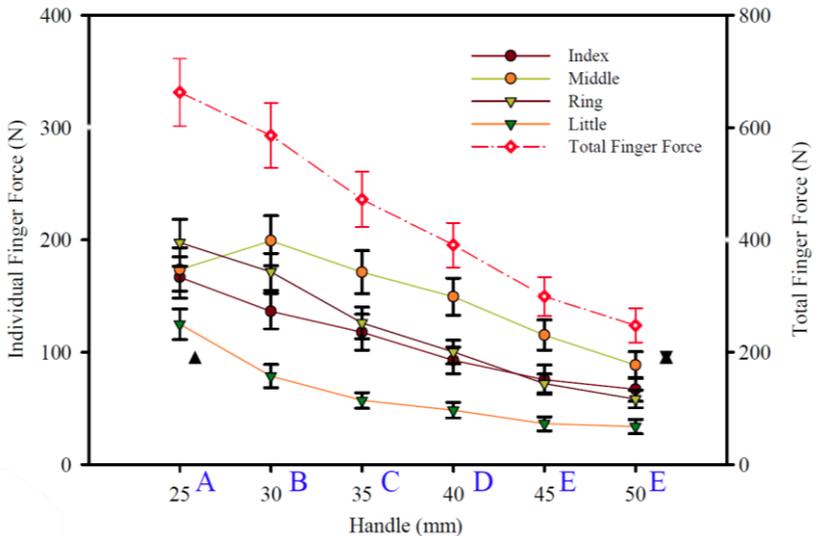


Abbildung 15: Kraftverteilung über die einzelnen Finger des Anwenders bei der Benutzung von zylindrischen Aluminiumgriffen unterschiedlicher Durchmesser (A – E)¹⁹⁹

Wie in Abbildung 15 deutlich wird, gibt es in Abhängigkeit des Griffdurchmessers signifikante Unterschiede hinsichtlich der maximal erreichbaren Greifkraft, welche sich entsprechend auf die Muskelermüdung des Anwenders auswirken und dadurch die Effizienz der Arbeitsweise beeinflussen. Ayoub und Presti empfehlen daher, eher dünnere Griffe einzusetzen, wenn große Griffkräfte übertragen werden sollen, was die Untersuchungen von Kong und Lowe bestätigt.²⁰⁰ Zu dem gleichen Ergebnis kommen Dianat et al., welche diesen Zusammenhang damit erklären, dass bei der Benutzung von kleineren Griffen die Muskeln der Hand sich in einer energetisch optimalen Ausgangslage von Agonist und Antagonist befinden. Dies führt dazu, dass deutlich höhere Kräfte übertragen werden können.²⁰¹ Oh und Radwin analysieren weiterhin den Einfluss der Griffgeometrie auf die wirkenden Handkräfte bei Halteanwendungen.

¹⁹⁹ Kong und Lowe (2005).

²⁰⁰ Ayoub und Presti (1971); Kong und Lowe (2005).

²⁰¹ Dianat et al. (2017).

Ihre Untersuchungen zeigen, dass die Fingerkräfte bei einfachen Halteanwendungen im Mittel relativ unabhängig vom Griffdurchmesser sind, wobei die Spitzenkräfte signifikant mit steigendem Durchmesser ansteigen, was vor allem bei dynamischen Anwendungen einen erheblichen Einfluss haben kann²⁰². Neben der optimalen Aufbringung von Kräften auf die Griffgeometrie gibt es bei der Benutzung von Power-Tools häufig die Anforderung ein Moment zu induzieren oder aufzunehmen. Während die Griffkräfte bei zunehmendem Griffdurchmesser abnehmen, nimmt die Möglichkeit ein Moment auf die Griffgeometrie aufzubringen mit steigendem Griffdurchmesser zu, was sich durch die verbesserten Hebelverhältnisse erklären lässt²⁰³. Müssen also in einer Anwendung sowohl hohe Griffkräfte als auch Momente vom Anwender aufgebracht werden, muss entsprechend ein Mittelweg gewählt werden. Dabei müssen beide Aspekte bedient werden, wobei nach den Untersuchungen von Johnson durchaus eine Abweichung des optimalen Griffdurchmessers von $\pm 20\%$ ohne wesentliche Einschränkungen möglich ist²⁰⁴. Auf die Entwicklung einer optimalen Griffgeometrie haben die wirkenden Kräfte und Momente entsprechend einen wesentlichen Einfluss und bedingen strikte Anforderungen, welche bei Nicht-Erfüllung einen direkten negativen Einfluss auf die empfundene Anwendungseignung haben, wie im folgenden Kapitel genauer gezeigt wird²⁰⁵.

2.5.3 Einfluss der Griffgeometrie auf die empfundene Anwendungseignung eines Power-Tools

Soll die wahrgenommene Anwendungseignung eines Power-Tools optimiert werden, dann kann dies nach Dianat et al. effizient über eine ergonomische Anpassung der Griffgeometrie erfolgen, wodurch Produkte deutlich positiver wahrgenommen werden²⁰⁶. Johnson kann in seinen Untersuchungen zeigen, dass eine Anpassung an die Anwendungsbedürfnisse nachweislich dabei hilft, gesundheitliche Schäden zu minimieren.²⁰⁷ Fellows und Freivalds postulieren eine signifikante Steigerung der Performance in der Anwendung und damit einen Anstieg der Zufriedenheit des Anwenders²⁰⁸. Entsprechend empfehlen Oh

²⁰² Oh und Radwin (1993).

²⁰³ Kong und Lowe (2003).

²⁰⁴ Johnson (1988)

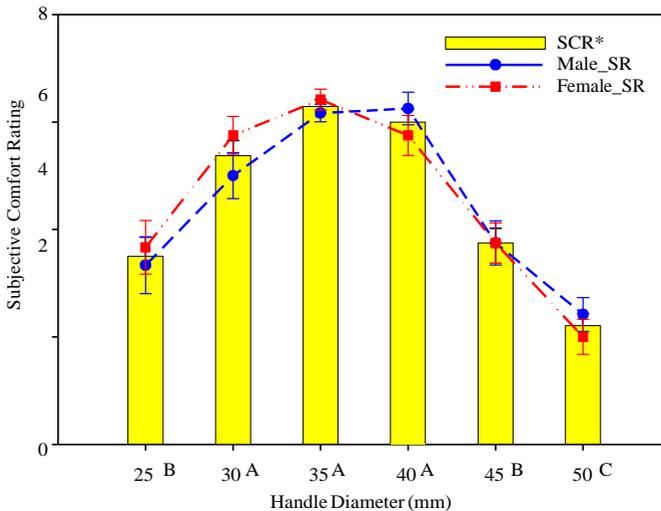
²⁰⁵ Dianat et al. (2015).

²⁰⁶ Dianat et al. (2017).

²⁰⁷ Johnson (1988).

²⁰⁸ Fellows und Freivalds (1991).

und Radwin eine individuelle Anpassung der Griffgeometrie an den Anwender²⁰⁹, was laut den Untersuchungen von Eksioglu zu Kräfteinsparungen von bis zu 40% führen kann. Solche Anpassungen wirken sich positiv auf die Dauer bis zur Ermüdung der Muskeln, sowie auf die Produktivität in der Anwendung aus, was wiederum zu einer positiven Wahrnehmung eines Power-Tools führen kann.²¹⁰ Um den Zusammenhang zwischen der Griffgeometrie eines Power-Tools und dem subjektiven Komfortempfinden genauer verstehen zu können, werden die Ergebnisse von Kong und Lowe im Weiteren genauer beleuchtet.



SCR*: subjective comfort ratings averaged for both genders (alphabetic letters represent groupings by statistical significance)

Abbildung 16: Einfluss des Griffdurchmessers auf die empfundene Anwendungseignung²¹¹

Zur Identifizierung eines Komfortoptimums von Griffdurchmessern, lassen Kong und Lowe Probanden zylindrische Aluminiumgriffe in Durchmessern von 25 mm – 50 mm in 5 mm Abstufungen beurteilen. Wie aus Abbildung 16 ersichtlich, gibt es einen signifikanten Zusammenhang des Griffdurchmessers mit

²⁰⁹ Oh und Radwin (1993).

²¹⁰ Eksioglu (2004).

²¹¹ Kong und Lowe (2005).

der empfundenen Anwendungseignung einer Griffgeometrie, welche eine Maximum bei etwa 35mm – 40mm besitzt. Bei den Untersuchungen fällt auf, dass das subjektive Komfortmaximum zwischen Männern und Frauen sehr nahe beieinanderliegt. Der Einfluss von anthropometrischen Unterschieden lässt sich, wenn überhaupt, nur sehr bedingt nachvollziehen. Johnson und Oh und Radwin führen solch geringe Unterschiede auf den Einfluss der Gewohnheit zurück, wodurch sich Probanden lediglich an der gewohnten Griffgeometrie orientieren und nicht am tatsächlichen Komfortempfinden. Die weitere Untersuchung von Einflüssen, bedingt durch anthropometrische Unterschiede der Anwender, auf die Beurteilung der Griffgeometrie ist daher Bestandteil des folgenden Kapitels.²¹² Die vorgestellten Forschungsarbeiten lassen einen starken Zusammenhang der Gestaltung der Griffgeometrie mit der empfundenen Anwendungseignung eines Power-Tools vermuten, was sich schlussendlich in der durch den Anwender wahrgenommenen Anwendungsqualität eines Power-Tools widerspiegelt.²¹³

2.5.4 Einfluss der anthropometrischen Eigenschaften des Anwenders auf eine optimale Griffgeometrie

Während der Durchführung einer Anwendung nimmt die Hand des Anwenders sämtliche Momente und Kräfte auf, welche aus der Anwendungsausführung heraus entstehen. Eine optimale Griffgeometrie sollte daher wie bereits erwähnt nach Ansicht einiger Forscher auf die individuellen anthropometrischen Anwendereigenschaften angepasst sein²¹⁴. Werden einige relevante Handdaten aus der DIN 33402-2 bei der Entwicklung einer Griffgeometrie verglichen, zeigen sich durchaus erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Perzentilen und dem Geschlecht (Tabelle 1).

²¹² Johnson (1988); Oh und Radwin (1993).

²¹³ Dianat et al. (2015); Dianat et al. (2017); Johnson (1988).

²¹⁴ Oh und Radwin (1993).

Tabelle 1: Durchschnittliche anthropometrische Maße der Hand²¹⁵

Perzentil	Männer			Frauen		
	5	50	95	5	50	95
Handlänge [mm]	175	189	207	162	177	193
Handbreite [mm]	98	107	117	82	90	99
Daumenlänge [mm]	59	68	75	53	60	69
Zeigefingerlänge [mm]	68	75	83	62	69	77
Mittelfingerlänge [mm]	76	84	93	71	77	86
Ringfingerlänge [mm]	72	80	87	65	73	81
Kleiner Finger Länge [mm]	57	64	72	51	59	66

Die gewählten Distanzen zur Abmessung der Handdaten können am Beispiel der Handlänge, Handbreite und der Zeigefingerlänge aus Abbildung 17 entnommen werden, eine vollständige Übersicht der zugehörigen Maße findet sich in DIN 33402-2.

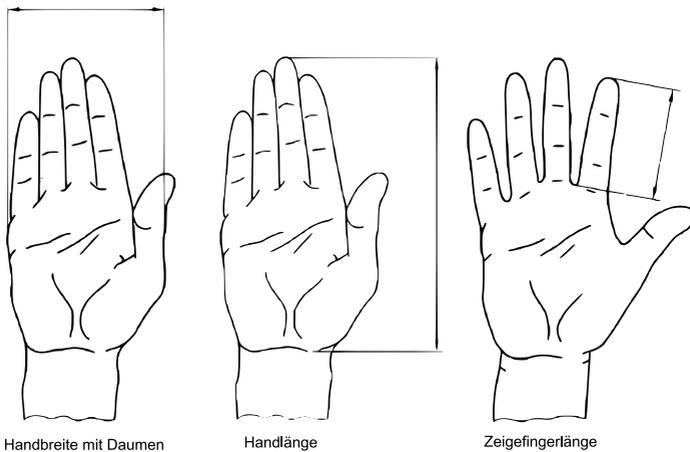


Abbildung 17: Anthropometrische Abmessungen der Hand²¹⁶

²¹⁵ DIN 33402-2.

²¹⁶ DIN 33402-2.

Werden nun Griffgeometriestudien aus dem Stand der Forschung hinsichtlich des Einflusses anthropometrischer Unterschiede verglichen, zeigt sich ein gespaltenes Bild. Während vor allem ältere Studien wie die von Ayoub und Presti oder Petrofsky et al. lediglich sehr kleine Effekte und Korrelationen zwischen der Handlänge und der optimalen Griffweite feststellen können, weisen modernere Studien auf signifikante Zusammenhänge hin.²¹⁷ Fransson und Winkel führen Studien zur Benutzung von Rohrzangen durch und können Zusammenhänge zwischen den anthropometrischen Eigenschaften der Probanden und den erreichten Griffkräften nachweisen²¹⁸. Zum gleichen Ergebnis kommen Oh und Radwin, welche systematisch die Griffweite von Pistolengriffen verändern und dabei deutliche Einflüsse auf die maximal erreichte Greifkraft feststellen, was in Abbildung 18 deutlich zu sehen ist²¹⁹.

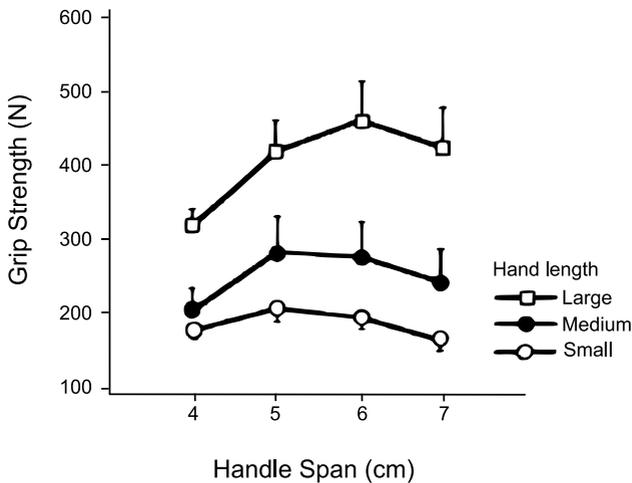


Abbildung 18: Einfluss anthropometrischer Unterschiede auf die maximale Greifkraft

Schlussendlich können auch Sancho-Bru et al., welche anhand eines validierten Simulationsmodells der Hand eine optimale Griffgeometrie identifizieren möchten, einen signifikanten Einfluss der unterschiedlichen Handabmessung

²¹⁷ Ayoub und Presti (1971); Petrofsky et al. (1980).

²¹⁸ Fransson und Winkel (1991).

²¹⁹ Oh und Radwin (1993).

auf die Greifkraft nachweisen²²⁰. Die Frage nach dem Einfluss der anthropometrischen Handeigenschaften auf die Entwicklung einer optimalen Griffgeometrie kann mit dem aktuellen Stand der Forschung nicht eindeutig geklärt werden. Auf Grund von vor allem neueren Studien liegt jedoch die Vermutung einer signifikanten Abhängigkeit nahe, weshalb dieser Einfluss in zukünftigen Studien berücksichtigt werden sollte.

2.5.5 Ansätze zur Entwicklung einer optimalen Griffgeometrie

Die in den vorangegangenen Kapiteln vorgestellten Ergebnisse haben gezeigt, dass die optimale Griffgeometrie eines Power-Tools von diversen Usability-Aspekten beeinflusst wird. Aus der Vielzahl der Studien haben sich entsprechend auch eine Vielzahl an Empfehlungen für eine optimale Griffgeometrie ergeben, wozu im Folgenden eine Übersicht gegeben werden soll (Tabelle 2). Wie an Tabelle 2 ersichtlich wird, unterscheiden sich die Ergebnisse der Studien teilweise recht stark und vor allem in Abhängigkeit der jeweiligen Anwendung bzw. in Abhängigkeit des abgebildeten Power-Tools. Nach der Ansicht mehrerer Forscher zur Frage nach einer potentiell sinnvollen Griffweite für Power-Tools lässt sich allerdings eine Tendenz in Richtung 50 mm Griffweite vermuten²²¹. Der optimale Griffdurchmesser bewegt sich im Allgemeinen zwischen 25-50 mm²²². Der von einigen Forschern vertretende Ansatz, eine elliptische Griffgeometrie einzusetzen, erscheint ebenfalls sinnvoll, im Hinblick auf die am meisten verbreitete Griffgeometrie im Markt²²³. Seo und Armstrong können hierbei in Ihren Untersuchungen nachweisen, dass eine elliptische Griffgeometrie zu einer deutlichen Steigerung der maximal übertragbaren Drehmomente (+25 %) und der maximal aufbringbaren Normalkräfte (+58 %) führt. Weitere Untersuchungen hinsichtlich dieser Aspekte erscheinen sinnvoll.

²²⁰ Sancho-Bru et al. (2003).

²²¹ Björing et al. (1999); Fransson und Winkel (1991); Mital und Kilbom (1992); Oh und Radwin (1993); Petrofsky et al. (1980).

²²² Ayoub und Presti (1971); Chengalur (2004); Greenberg und Chaffin (1977); Johnson (1988); Kong und Lowe (2005); Sancho-Bru et al. (2003); Wang et al. (2017).

²²³ Kong und Lowe (2005); Seo und Armstrong (2011); Wang et al. (2017).

Tabelle 2: Empfehlungen zur optimalen Griffgeometrie²²⁴

Autor	Untersuchtes System	Optimaler Griffdurchmesser	Optimale Griffweite ²²⁵
Oh und Radwin	Pistolengriff, pneu. Schrauber		50 - 60mm
Ayoub und Presti	Zylindrischer Griff	38mm	
Mital und Kilbom	Zylindrischer Griff, Schraubendreher		50 - 60mm
Björing et al.	Pistolengriff, Bohrmaschinen		50mm Weite, 35mm Breite
Fransson und Winkel	Rohrzangen		Frauen: 50-60mm Männer: 55-65mm
Wang et al.	Mittlere Handabmessungen	25-50	Weite : Breite 1 : 1,25
Chengalur	Zylindrischer Griff	30-50mm	
Eksioglu	Handgriff-Leistungsprüfstand		61,33 - 66,33 mm
Greenberg und Chaffin	Zylindrischer Griff, Schraubendreher	50-85mm	

²²⁴ Ayoub und Presti (1971); Björing et al. (1999); Chengalur (2004); Eksioglu (2004); Fransson und Winkel (1991); Greenberg und Chaffin (1977); Johnson (1988); Kong und Lowe (2005); Mital und Kilbom (1992); Oh und Radwin (1993); Petrofsky et al. (1980); Sancho-Bru et al. (2003); Seo und Armstrong (2011); Wang et al. (2017).

²²⁵ Die *Griffweite* bezeichnete das Ausmaß in dem die Hand des Anwenders beim Greifen des Griffs geöffnet ist Die *Griffbreite* bezieht sich auf die laterale Abmessung des Griffs.

Johnson	Akku-Stabschrauber	38mm	
Petrofsky et al.	Handgriff-Leistungsprüfstand		50 - 60mm
Sancho-Bru et al.	Zylindrischer Griff	33mm	
Seo und Armstrong	Unterschiedliche Griffgeometrie	Elliptischer Griff als Optimum	Elliptisch
Kong und Lowe	Zylindrischer Aluminiumgriff	Mittelfinger: 30mm, alle weiteren 25mm	Elliptisch
Kong und Lowe	Zylindrischer Aluminiumgriff	19,7% der Handlänge	Elliptisch

2.5.6 Zwischenfazit zu Usability-Aspekten bei der Entwicklung optimierter Griffgeometrien von Power-Tools

Die Entwicklung einer auf den Anwender optimierten Griffgeometrie hängt von unterschiedlichsten Usability-Aspekten ab, wodurch es für die Produktentwicklung herausfordernd ist, eindeutige Zielgrößen anzunehmen. Die empfundene Anwendungseignung eines Griffs ist dabei wesentlich von Usability-Aspekten, wie der ausgeführten Anwendung oder dem Herstellerstandard einer Griffgeometrie, beeinflusst, welcher zu Gewohnheitseffekten bei den Anwendern führt. Des Weiteren wird die empfundene Anwendungseignung durch anwenderspezifische Aspekte bestimmt, wie beispielsweise der maximalen Greifkraft oder den anthropometrischen Abmessungen des jeweiligen Anwenders. Umfangreiche Studien zur Identifizierung einer optimalen Griffgeometrie haben, je nach Power-Tool und Anwendungsfall, Richtlinien und Sollwerte für die Entwicklung abgeleitet. Auffällig bei den Studien sind die immer wieder diskutierten Usability-Aspekte bzw. Störgrößen, welche nur bedingt berücksichtigt werden und

oftmals nicht eindeutig identifiziert oder zugeordnet werden können. Für die Validierung neuer Ansätze und Methoden, mit denen Usability-Aspekte und insbesondere Störgrößen identifiziert und berücksichtigt werden können, ist daher das Beispiel der Griffgeometrieentwicklung gut geeignet, um neue Optimierungsansätze für die nutzerzentrierte Produktentwicklung von Power-Tools zu testen und zu bewerten.

3 Motivation und Zielsetzung

Aus dem vorgestellten Stand der Forschung lassen sich umfangreiche Anweisungen für die nutzerzentrierte Entwicklung von Power-Tools ableiten. Zentrale Bedeutung nehmen hierbei die Usability-Aspekte ein, welche aus den sozialen, kulturellen, physiologischen, psychologischen und physischen Merkmalen der einzelnen Bestandteile des Nutzungskontextes resultieren und die wahrgenommene Produktqualität beeinflussen²²⁶. Je besser die Usability-Aspekte verstanden werden, desto besser können diese innerhalb der Produktentwicklung berücksichtigt werden. Um diese zu identifizieren, müssen Anwendungsfallstudien beim realen Anwender durchgeführt werden. Vor allem die durchgeführte Anwendung hat durch die starke Interaktion zwischen Power-Tool und Anwender während der Benutzung einen großen Einfluss auf die empfundene Anwendungseignung eines Power-Tools und muss daher möglichst genau erfasst werden. Eine Herausforderung hierbei ist der sehr vielseitige und individuelle Einsatz von Power-Tools in der realen Umgebung. Entsprechend gestaltet sich der Aufbau von validen Versuchsumgebungen im realen Umfeld als schwierig. Die Überführung der Anwendungsfallstudien in eine kontrollierbare Versuchsumgebung unter Laborbedingungen wird daher angestrebt. Damit unter Laborbedingungen valide und objektive Versuche aufgebaut werden können, müssen allerdings die relevanten Usability-Aspekte, welche die empfundene Anwendungseignung signifikant beeinflussen, zunächst identifiziert und abgebildet werden. Wichtig dabei ist, dass nicht sämtliche Usability-Aspekte berücksichtigt werden sollen, sondern einige Einflüsse unerwünscht sind. Diese als Störgrößen bezeichneten Aspekte sollen bei der Erfassung von Produktbewertungen möglichst vollständig vermieden oder zumindest kontrolliert werden, um objektive, unverfälschte Aussagen der Probanden zu erhalten. Zwei bekannte Störgrößen, die nachweislich einen starken Einfluss auf die wahrgenommene Anwendungseignung haben, sind der Einfluss durch die Erfahrung, respektive der Expertise der Anwender in der Power-Tool Benutzung und die vordefinierte Meinung durch den Markeneinfluss. Aktuelle Forschungsergebnisse stellen die signifikante Beeinflussung der empfundenen Anwendungseignung durch diese Störgrößen fest, geben aber keine konkreten Maßnahmen oder Ansätze vor, wie diese berücksichtigt werden können. Für eine

²²⁶ DIN EN ISO 9241-210.

beeinflussungsreduzierte Erfassung der empfundenen Anwendungseignung werden daher neue Ansätze benötigt, mit denen der Einfluss von Störgrößen berücksichtigt werden kann. Neben der Herausforderung, bekannte Usability-Aspekte und Störgrößen zu berücksichtigen, gibt es zusätzlich das Problem, dass teilweise bei der Erfassung nicht bekannt ist, durch welche Aspekte die empfundene Anwendungseignung beeinflusst wird. Wird beispielsweise die Entwicklung einer Griffgeometrie betrachtet, fällt auf, dass die Eignung der Geometrie von unterschiedlichsten Usability-Aspekten abhängig ist, wie beispielsweise den geometrischen, anthropometrischen oder haptischen Größen. Welcher Aspekt allerdings entscheidend für eine optimale Konzipierung ist, ist nicht bekannt. Dieser Umstand ist für die nutzerzentrierte Produktentwicklung von Power-Tools problematisch. Um dies zu lösen, müssen Ansätze entwickelt werden, mit Hilfe derer relevante Usability-Aspekte identifiziert und entsprechend in der Produktentwicklung von Power-Tools berücksichtigt werden können.

Die durch den professionellen Anwender empfundene Anwendungseignung eines Power-Tools kann mit bestehenden Methoden und Ansätzen nicht vollständig objektiv erfasst und für die Produktentwicklung genutzt werden, da es zum Einfluss durch Störgrößen kommt. Weiterhin besteht das Problem, dass mit alleiniger Kenntnis der Anwendungseignung oft keine optimalen Produkte entwickelt werden, da die Relevanz der einzelnen Usability-Aspekte nicht bekannt ist. Dieser Aspekt wird umso wichtiger, wenn davon ausgegangen wird, dass für die Produktentwicklung optimalerweise objektiv messbare Kriterien vorliegen müssen, an denen sich der Entwickler orientiert. Solange die Erfassung der Anwendungseignung und Identifikation der Usability-Aspekte nicht störungsreduziert erfolgt, kann die Auswahl und der Einsatz von valider Messtechnik nicht oder nur mit großer Unsicherheit erfolgen. Um die herausgearbeiteten Probleme zu adressieren und die nutzerzentrierte Entwicklung von Power-Tools zu optimieren, beschäftigt sich die vorliegende wissenschaftliche Arbeit mit der Beantwortung folgender Forschungsfrage:

Wie kann der Einfluss von Störgrößen bei der Erfassung und Bewertung der empfundenen Anwendungseignung eines Power-Tools reduziert werden und wie kann dieses Wissen in der nutzerzentrierten Produktentwicklung angewandt werden?

Ausgehend von dieser Forschungsfrage werden zwei grundsätzliche Probleme diskutiert, mit deren Hilfe das Forschungsthema beleuchtet wird:

- Wie kann die Anwendungseignung eines Power-Tools objektiv erfasst werden, wenn der Einfluss von relevanten Störgrößen mit aktuellen Ansätzen nicht berücksichtigt werden kann?
- Wie müssen Ansätze zur Reduktion des Störgrößeneinflusses aufgebaut sein, damit diese auf neue Entwicklungsfragestellungen angewandt werden können und welche weiteren relevanten Störgrößen müssen beachtet werden?

Zur Analyse beider Problemstellungen wurden Hypothesen aufgestellt, die im weiteren Verlauf der Arbeit geprüft werden. Dabei beschäftigt sich die erste Hypothese mit der Frage, inwieweit relevante Usability-Aspekte durch die statistische Analyse der wahrgenommenen Anwendungseignung identifiziert werden können, wenn die Erfassung mit bestehenden Ansätzen und unter dem Einfluss von Störgrößen durchgeführt wird. Hierbei gilt der Grundgedanke, dass es stets Aspekte gibt, welche den Nutzer in besonderer Art und Weise bei seiner Bewertung beeinflussen²²⁷. So lange diese nicht bekannt sind, ist eine konkrete Optimierung eines Power-Tools hinsichtlich seiner Anwendungseignung nicht oder nur bedingt möglich und kann fehlgeleitet werden. Die Untersuchung orientiert sich an dem methodischen Vorgehen des Standes der Forschung und erweitert diesen für die Bewertung und Beurteilung von Power-Tools. Die erforschung der Hypothese H1 dient damit dem Zweck den Forschungsbedarf dieser Arbeit zu konkretisieren und Lücken im bestehenden Stand der Forschung aufzuzeigen. Folgende Hypothese wurde aufgestellt und geprüft:

H1 Durch statistische Analyse der subjektiv wahrgenommenen Anwendungseignung können Usability-Aspekte identifiziert werden.

Zur Analyse des Einflusses von Störgrößen auf die Bewertung der Anwendungseignung und wie deren Einfluss reduziert werden kann, wurde folgende Haupthypothese aufgestellt:

²²⁷ Llinares und Page (2011).

H2 Störgrößen, die einen Einfluss auf die Bewertung der Anwendungseignung von Power-Tools haben, können durch geeignete Ansätze reduziert werden.

Zur initialen Validierung und Bewertung hinsichtlich der Anwendbarkeit und Übertragbarkeit der entwickelten Ansätze wird folgende Hypothese aufgestellt:

H3 Ansätze zur Reduktion des Störgrößeneinflusses können in Entwicklungsprojekten eingesetzt werden und ermöglichen die störgrößenreduzierte Erfassung der Anwendungseignung.

4 Vorgehensweise und Forschungsdesign

Die vorliegende Arbeit teilt sich in mehrere Teiluntersuchungen auf, mit Hilfe derer die Forschungshypothesen untersucht werden. Dabei wird zunächst eine initiale Vorstudie durchgeführt, innerhalb welcher der Einfluss von Störgrößen und Ansätze zur Identifizierung von Usability-Aspekten analysiert und erarbeitet werden (*H1*). Da Hypothese *H2* sich allgemein auf Störgrößen bezieht, wird ihre Gültigkeit in dieser Arbeit an zwei Unterhypothesen geprüft, wobei der Einfluss der Störgröße der *Expertise in der Anwendung* (*H2.1*) und der des *Markeneinflusses* (*H2.2*) auf die Bewertung der empfundenen Anwendungseignung untersucht wird. Aus den Ergebnissen der Untersuchungen werden Ansätze abgeleitet, welche zur Berücksichtigung der Störgrößen bei der Durchführung von Probandenstudien eingesetzt werden können. *H2* bietet dabei stets einen Rahmen, in welchem weitere Forschungsvorhaben zur Berücksichtigung von Störgrößen eingegliedert werden können. Auf ähnliche Weise wird zur Verifizierung der erarbeiteten Forschungsansätze Hypothese *H3* aufgestellt, wobei die Übertragbarkeit und Anwendbarkeit der entwickelten Reduktionsansätze in neuen Entwicklungsprojekten geprüft werden soll. Zur initialen Überprüfung der Hypothese wird erneut eine Unterhypothese aufgestellt, welche am Beispiel der Optimierung der Griffgeometrie von Akkuschaubern die erarbeiteten Forschungsansätze nutzt, um eine beeinflussungsreduzierte Erfassung der Anwendungseignung zu ermöglichen und relevante Usability-Aspekte, sowie bisher unbekannte Störgrößen zu identifizieren (*H3.1*). Abbildung 19 stellt den Aufbau des Forschungsdesigns mit den aufgestellten Hypothesen dieser Arbeit vor, welches im Folgenden beschrieben wird und in welchem Ansätze für die Berücksichtigung von Störgrößen und der Identifikation von relevanten Usability-Aspekten innerhalb der nutzerzentrierten Produktentwicklung von Power-Tools erarbeitet werden. Die bei der Überprüfung der Hypothesen gewonnenen Erkenntnisse werden jeweils einzeln diskutiert und im Vergleich zum aktuellen Stand der Forschung bewertet. Im Anschluss an den Ergebnisteil werden sämtliche Erkenntnisse der Arbeit zusammengefasst und Potentiale für weitere Forschungsaktivitäten beleuchtet.

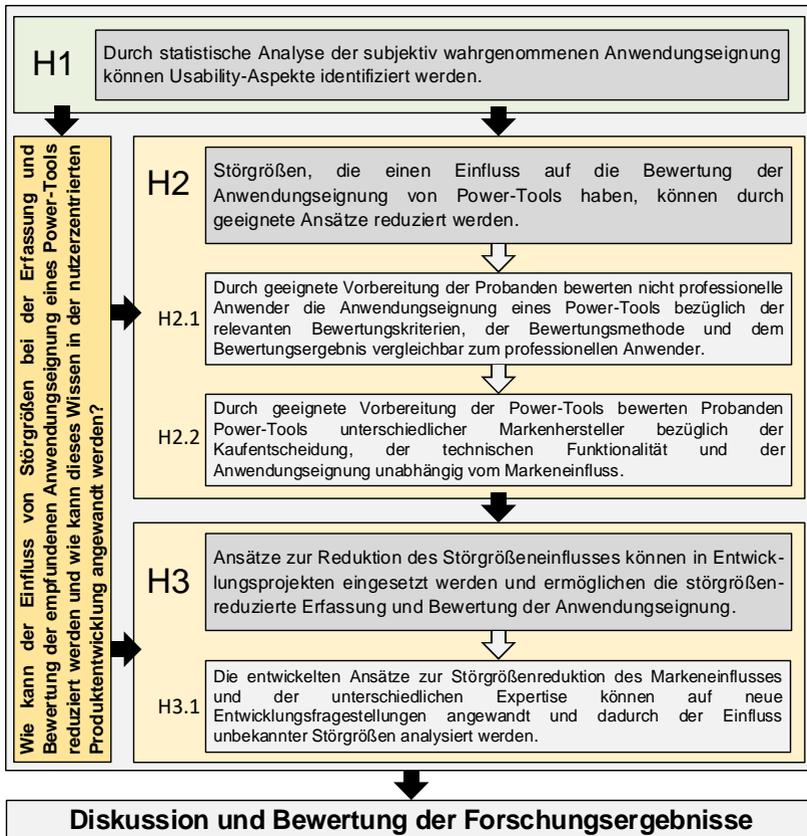


Abbildung 19: Aufbau des Forschungsdesign mit Vorstellung der Hypothesen

Die Überprüfung der einzelnen Hypothesen erfolgt nach dem in Abbildung 20 dargestellten Forschungsvorgehen. Dabei wird zunächst mit denen im Stand der Forschung vorgestellten Methoden eine Vorstudie aufgebaut, innerhalb welcher die Griffgeometrie von Power-Tool unterschiedlicher Hersteller durch Probanden bewertet wird. Innerhalb der Studie müssen durch mehrere Anwender jeweils relevante Anwendungen durchgeführt werden, wobei die Hälfte der Probanden im gewerblichen Gebrauch Power-Tools benutzen und die andere Hälfte Laienanwender sind, welche nur grundlegende Erfahrungen in der Benutzung von Power-Tools haben. Ziel der Vorstudie ist die Identifikation von Usability-Aspekten, welche einen signifikanten Einfluss auf die empfundene

Anwendungseignung haben, wobei untersucht wird, inwieweit mit den bestehenden Forschungsmethoden störungsreduzierte Versuche durchgeführt werden können. Dazu werden folgende Forschungsteilfragen beantwortet:

- Gibt es einen signifikanten Unterschied in der Bewertung von professionellen Power-Tool Anwendern im Vergleich zu nicht professionellen Anwendern und wenn ja, welchen?
- Durch welche Usability-Aspekte kann der empfundene Dis-Komfort von Griffgeometriebewertungen von Power-Tools optimal simuliert werden und wie können diese identifiziert werden?

Als Ergebnis der Studie zeigt sich, dass Usability-Aspekte, welche für die nutzerzentrierte Entwicklung von Power-Tools relevant sind, mit bestehenden Methoden nicht objektiv erfasst werden können, was auf den Einfluss von Störgrößen zurückzuführen ist. Hierbei spielen vor allem die Störgröße der unterschiedlichen Expertise der Anwender, sowie die Störgröße durch den Markeneinfluss eine entscheidende Rolle. Basierend auf diesen Erkenntnissen werden innerhalb der Bearbeitung von Hypothese *H2* Ansätze zur Störgrößenreduktion der unterschiedlichen Expertise der Anwender, sowie des Markeneinflusses entwickelt. Zur Berücksichtigung der Unterschiede in der Expertise werden Schulungskonzepte aufgebaut, welche Laienanwender die professionelle Arbeitsweise, sowie relevante Bewertungskriterien und -methoden näherbringen. Innerhalb der Untersuchung werden folgende Forschungsteilfragen beantwortet:

- Wie können nicht-professionelle Anwender darin geschult werden, Power-Tools professionell zu benutzen?
- Wie können nicht-professionelle Anwender geschult werden, um Power-Tools auf professionelle Art und Weise zu bewerten?
- Hängt die Präferenzstärke der Bewertung von der Professionalität der Arbeitsausführung bzw. der eingesetzten Bewertungsmethode ab?

Zur Analyse des Störgrößeneinflusses der Marke wird eine Blindteststudie mit Akkuschraubern durchgeführt, wobei überprüft wird, inwieweit der Einfluss der Marke auf die Bewertung der Anwendungseignung durch Anonymisierung und durch die aktive Verwendung der Systeme in relevanten Anwendungen reduziert werden kann. Die Untersuchung dient zur Beantwortung folgender Forschungsteilfragen:

- In welchem Ausmaß beeinflusst der Markenname die wahrgenommene Anwendungsqualität bei der Bewertung von Akkuschaubern?
- Reduziert der praktische Einsatz eines Akkuschaubers in realitätsnahen Anwendungen den Markeneinfluss in Bezug auf die Bewertung der wahrgenommenen Anwendungsqualität?
- Ist es möglich, die wahrgenommene Anwendungsqualität eines Akkuschaubers ohne den Einfluss der Marke durch Schwärzen des Power-Tools zu bewerten (Blindtest Studie)?
- Führt die Bereitstellung relevanter Bewertungskriterien in Verbindung mit der Möglichkeit des praktischen Einsatzes eines Akkuschaubers zu einer erhöhten Präzision in der Bewertung?

Basierend auf den Erkenntnissen der Studien werden Reduktionsansätze zur Berücksichtigung des Störgrößeneinflusses der unterschiedlichen Expertise in der Anwendung und des Markeneinflusses abgeleitet. Zur initialen Verifizierung der entwickelten Störgrößenreduktionsansätze werden die Ansätze auf eine neue Entwicklungsfragestellung überführt und deren Anwendbarkeit und Ergebnis beurteilt. Die Verifizierung findet am Beispiel einer Griffgeometriebewertung von Akkuschaubern statt, wobei Ansätze zur Identifikation von unbekanntem Störgrößen und der Aufbereitung von störgrößenbehafteten Versuchsdaten entwickelt werden und folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- Können die entwickelten Forschungsansätze zur Reduktion der Störgrößeneinflüsse (Kapitel 6.1, Kapitel 6.2) auf neue Entwicklungsfragestellungen übertragen werden?
- Wie können erfasste Versuchsdaten zur wahrgenommenen Anwendungseignung auf den Einfluss von unbekanntem Störgrößen hin analysiert werden?
- Wie können störgrößenbeeinflusste Versuchsdaten so aufbereitet werden, dass diese für die Ableitung von objektiven, differenzierten Entwicklungszielen und zur Bewertung von Entwicklungsständen nutzbar sind?

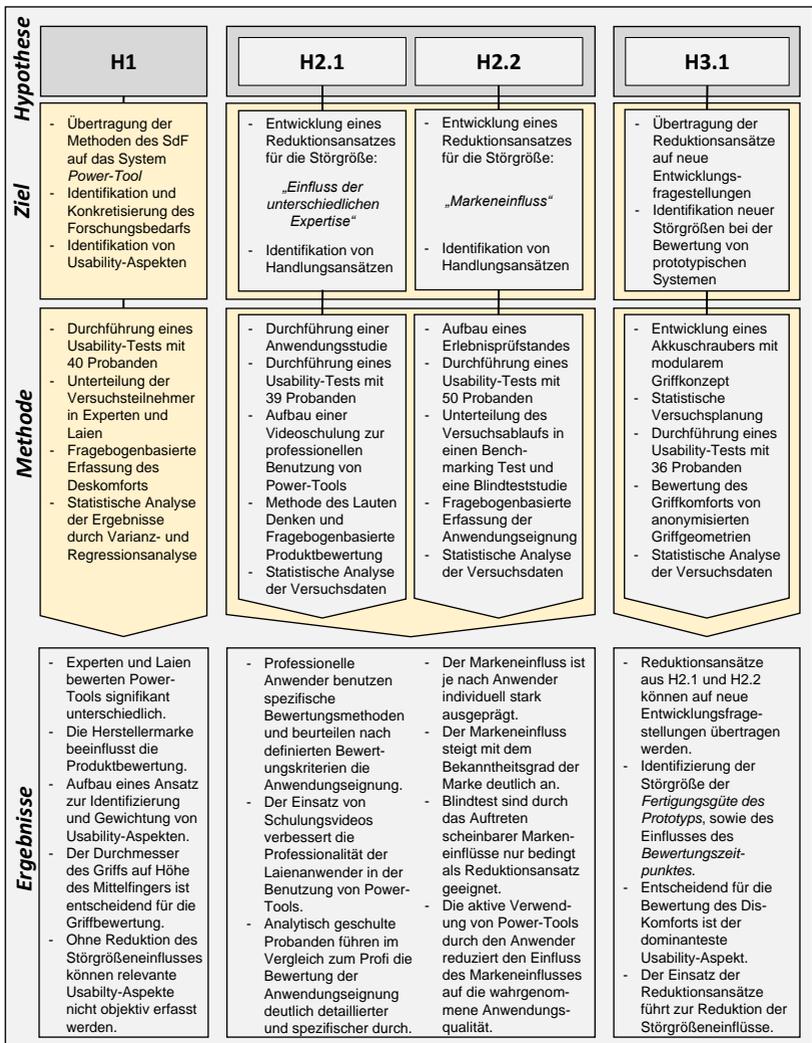


Abbildung 20: Forschungsvorgehen und Ergebnisse

5 Experimentelle Identifikation von Usability-Aspekten

Im dargestellten Stand der Forschung konnte gezeigt werden, dass der Einfluss von Störgrößen auf die Bewertung der Anwendungseignung eines Produkts einen signifikanten Einfluss haben kann. Im Folgenden wird daher eine initiale Studie durchgeführt, innerhalb welcher überprüft wird, wie sich der Einfluss von Störgrößen auf die Bewertung der Anwendungseignung von Power-Tools auswirkt. Dabei wird ein Ansatz zur Identifikation von Usability-Aspekten aufgebaut, wobei der Einfluss der Störgrößen auf die experimentellen Ergebnisse kritisch diskutiert und Forschungspotential für weitere Studien abgeleitet wird.

In der Folgenden Studie wird am Beispiel der *Griffgeometriebewertung von Akkuschraubern* ein Ansatz aufgezeigt, mit welchem es möglich ist, den Einfluss unterschiedlichster Usability-Aspekte zu identifizieren und diese hinsichtlich der jeweiligen Relevanz für den Produktentwicklungsprozess zu bewerten. Die Ergebnisse dieser Untersuchung basieren auf den Arbeiten von Matthiesen und Germann, wobei die Erhebung der Daten innerhalb der Arbeit von Kreissig durchgeführt wurde.²²⁸ Mit der vorliegenden Studie wird die Hypothese H1 überprüft.

Forschungshypothese H1:

Durch statistische Analyse der subjektiv wahrgenommenen Anwendungseignung können Usability-Aspekte identifiziert werden.

5.1 Motivation und Zielsetzung

Als Schnittstelle zwischen dem Anwender und dem Power-Tool hat die Griffgeometrie einen zentralen Stellenwert bei der Entwicklung von nutzeroptimierten Power-Tools. Wie im Stand der Forschung aufgezeigt, gibt es umfangreiche Richtlinien und Sollwerte, wie die Griffgeometrie eines Power-Tools geformt

²²⁸ Kreissig (2017). Unveröffentlichte Bachelorarbeit; Matthiesen und Germann (2018).

sein soll, damit diese unter ergonomischen Aspekten optimal auf den Anwender angepasst ist. Die Unterscheidung der unterschiedlichen Wertigkeit einzelner Usability-Aspekte und Störgrößen und wie diese identifiziert werden können, ist dabei nicht oder kaum Bestandteil bestehender Studien (vgl. Kap. 2.5). Zur Analyse dieser Zusammenhänge wurde ein Experiment aufgebaut, innerhalb dessen ein Ansatz vorgestellt wird, mit welchem die Identifizierung und Gewichtung der Usability-Aspekte erfolgen kann. Neben der Berücksichtigung der Usability-Aspekte wird zusätzlich der Einfluss der Störgröße *Expertise* auf die Bewertung der empfundenen Anwendungseignung untersucht, wodurch der im Stand der Forschung identifizierte Bedarf verifiziert wird. Die folgenden zwei Forschungsfragen werden innerhalb der Untersuchung analysiert:

- Gibt es einen signifikanten Unterschied in der Bewertung von professionellen Power-Tool Anwendern im Vergleich zu nicht professionellen Anwendern und wenn ja, welchen?
- Durch welche Usability-Aspekte kann der empfundene Dis-Komfort von Griffgeometriebewertungen von Power-Tools optimal simuliert werden und wie können diese identifiziert werden?

Ziel dieser Untersuchung ist es, die Bewertung der Anwendungseignung der Griffgeometrie durch den Anwender am Beispiel von Akkuschraubern und Akku-Schlagschraubern unter Berücksichtigung mehrerer anthropometrischer Hand- und Griffgeometrieparameter zu analysieren und vorherzusagen. Zu diesem Zweck wurde ein Versuch aufgebaut, innerhalb welchem 39 Probanden mehrere Anwendungsfälle mit den Power-Tools durchführen und verschiedene Usability-Aspekte des Griffs hinsichtlich der empfundenen Anwendungseignung bewerten. Am Experiment nahmen sowohl professionelle als auch nicht-professionelle Anwender teil. Mit Hilfe einer Varianzanalyse wurde der Einfluss der Expertise betrachtet. Um die relevantesten Usability-Aspekte für die Dis-Komfort-Bewertung der Griffgeometrie zu identifizieren und zu gewichten, wurde eine kategoriale Regressionsanalyse mit Hilfe des Lasso-Modell Ansatzes durchgeführt.

5.2 Versuchsumgebung und Methodenaufbau

5.2.1 Aufbau des Experiments

Zur Durchführung des Experiments wurden Akkuschauber und Schlagschauber von jeweils drei verschiedenen Herstellern verwendet. Für die Akkuschauber kamen 18V Geräte von BOSCH Professionals (B_A), Hilti (H_A) und Makita (M_A) zum Einsatz. Alle Systeme sind für den professionellen Anwender konzipiert und entsprechend für hohe Anforderungen an die Kundenzufriedenheit ausgelegt.

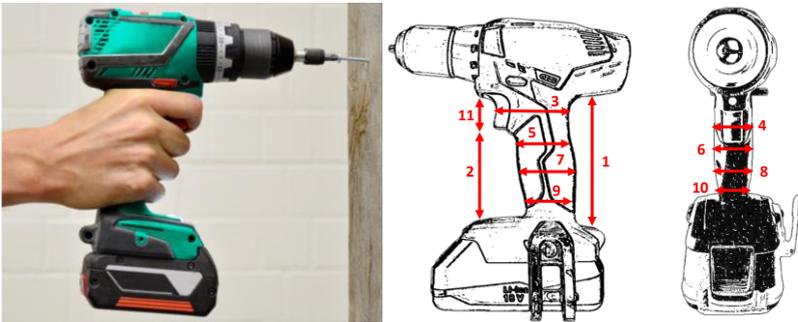


Abbildung 21: Erfasste Abmessungen der Griffgeometrie der verwendeten Akkuschauber

Die im Experiment verwendeten Akkuschauber werden hauptsächlich zum Einschrauben in Holz in aufrechter oder gebückter Körperhaltung mit Schraubendurchmessern von $\varnothing 5 - 8 \text{ mm}$ und einer Schraubenlänge zwischen $50 - 200 \text{ mm}$ benutzt, sowie zum Bohren von Flachstahl mit Bohrerdurchmessern von $\varnothing 12 \text{ mm}$ in gebückter Haltung, sowie zum Bohren in Holz (bis $\varnothing 28 \text{ mm}$) in horizontaler und vertikaler Richtung verwendet. Alle drei Akkuschauber haben einen Pistolengriff mit einem zusätzlich angebrachten Akkupack an der Unterseite. Tabelle 3 zeigt die Griffgeometrieparameter des Griffs der drei Akkuschauber an den in Abbildung 21 gekennzeichnet Stellen. Die ausgewählten Schlagschauber stammen von den drei Herstellern Milwaukee (M_s), Dewalt (D_s) und Hilti (H_s). Alle Systeme sind für professionelle Anwender mit hohen Anforderungen an die Anwendungsqualität konzipiert.

Tabelle 3: Griffgeometrieparameter für Akkuschauber und Schlagschauber²²⁹

Geometrieparameter [mm]	Akkuschauber			Schlagschauber		
	B _A	H _A	M _A	M _S	D _S	H _S
<i>Höhe (Rückseite) (1)</i>	95	102	95	95	93	100
<i>Höhe (Vorderseite) (2)</i>	73	75	75	66	71	72
<i>Umfang am Zeigefinger (3)</i>	151	147	156	158	172	149
<i>Länge am Zeigefinger (3)</i>	60	58	62	63	69	58
<i>Breite am Zeigefinger (4)</i>	34	33	34	34	35	31
<i>Umfang am Mittelfinger (5)</i>	123	132	128	131	134	138
<i>Länge am Mittelfinger (5)</i>	45	46	48	47	47	49
<i>Breite am Mittelfinger (6)</i>	34	36	34	33	35	36
<i>Umfang am Ringfinger (7)</i>	123	125	128	127	134	134
<i>Länge am Ringfinger (7)</i>	45	44	48	46	49	48
<i>Breite am Ringfinger (8)</i>	35	35	34	33	35	35
<i>Umfang am kleinen Finger (9)</i>	113	113	116	119	125	119
<i>Länge am kleinen Finger (9)</i>	37	39	42	40	44	42
<i>Breite am kleinen Finger (10)</i>	34	32	30	33	35	31
<i>Trigger Länge (11)</i>	25	24	23	24	23	27
<i>Trigger Weg</i>	8	8	6	8	9	8

Schlagschauber werden hauptsächlich für Verschraubungsanwendungen auf Baustellen (Stahlkonstruktionen, Brückenbau) eingesetzt.²³⁰ Alle drei Schlagschauber stellen ein maximales Drehmoment von etwa *1000 Nm* zur Verfügung. Die Energieversorgung erfolgt mittels eines 18V-Akkupacks, das an der Unterseite der Pistolengriffe montiert werden kann. Tabelle 3 (rechte Seite) zeigt die Geometrieparameter der Schlagschaubergriffe.

5.2.1.1 Versuchsteilnehmer

37 Männer und zwei Frauen nahmen an dem Experiment teil, was in etwa der Genderverteilung der Handwerker im Deutschen Gewerbe entspricht, welche

²²⁹ Matthiesen und Germann (2018).

²³⁰ Lindqvist und Skogsberg (2007).

bei 10% weiblichen und 90% männlichen Beschäftigten liegt²³¹. Keiner der Teilnehmer gab gesundheitliche Einschränkungen oder Muskelerkrankungen an. Das Durchschnittsalter der Probanden betrug 27,3 Jahre (*min.* = 21, *max.* = 56 / *s* = 7,9 Jahre), 38 der Teilnehmer waren Rechtshänder. Das subjektiv wahrgenommene Erfahrungsniveau beim Einsatz von Power-Tools wurde von den Teilnehmern auf einer 5-stufigen Likert-Skala (keine - wenig - mittel - viel - sehr viel) insgesamt auf einem mittleren Niveau von 2,86 (*s* = 1,13) bewertet. 20 Teilnehmer waren professionelle Testanwender eines Power-Tool Herstellers, die im Rahmen ihrer professionellen Testaktivitäten Akkuschauber (*mittleres Erfahrungsniveau* = 3,3 / *s* = 0,82) und Schlagschauber (*mittleres Erfahrungsniveau* = 2,56 / *s* = 0,88) verwenden. Die anderen 19 Teilnehmer verwenden Power-Tools in der Regel mehr als einmal pro Woche außerhalb einer professionellen Tätigkeit, aber im Rahmen ihrer Bewertungsaktivitäten innerhalb des IPEK - Power Tool Testcenters (*Akkuschauber: mittleres Erfahrungsniveau* = 3,7 / *s* = 0,94; *Schlagschauber: mittleres Erfahrungsniveau* = 1,63 / *s* = 0,74). Vor Beginn des Experiments erhielten nicht professionelle Anwender eine grundlegende Einweisung in den professionellen Einsatz von Akkuschaubern und Schlagschaubern. Basierend auf den Erkenntnissen von Lindqvist und Skogsberg hängt das Ausmaß, wie Kräfte und Momente während der Anwendung vom Anwender aufgenommen werden können, im Wesentlichen vom Verhältnis zwischen Durchmesser und der Länge des Griffs in Relation zur Handgröße des Anwenders ab²³². Entsprechend wurden die anthropometrischen Handdaten der Probanden als potentiell relevante Usability-Aspekte identifiziert und nach DIN 33402-2 aufgenommen. Sämtliche aufgezeichneten Daten wurden entsprechend der Vorgaben aus DIN 33402-2 der jeweiligen Perzentil-Gruppe zugeordnet, wobei im weiteren Experiment der Einfluss der in die perzentilen Gruppen aufgeteilten Handabmessungen auf die Bewertung der wahrgenommenen Anwendungseignung der Griffgeometrie untersucht werden soll. Die Ergebnisse der Erfassung können Tabelle 4 entnommen werden.²³³

²³¹ Konzept & Markt GmbH (2017).

²³² Lindqvist und Skogsberg (2007).

²³³ DIN 33402-2.

Tabelle 4: Perzentile Häufigkeitsverteilung der anthropometrischen Handdaten der Probanden

Perzentil	Länge des Daumen		Handbreite		Handlänge	
	Häufigkeit	%	Häufigkeit	%	Häufigkeit	%
≤ 5	3	7,7	2	5,1	2	5,1
< 5 ≤ 50	17	43,6	7	20,5	11	28,2
> 50 ≤ 95	16	41,0	25	61,5	23	59,0
> 95	3	7,7	5	12,8	3	7,7
Total	39	100,0	39	100,0	39	100,0

5.2.1.2 Versuchsplanung und Durchführung

Das Experiment gliedert sich in zwei Phasen auf, wobei die erste Phase ohne aktive Benutzung der Systeme durchgeführt wird und in der zweiten Phase die Systeme in ausgewählten Anwendungen getestet werden. In der ersten Phase erhält jeder Teilnehmer drei Power-Tools (Akkuschrauber oder Schlagschrauber) und einen Fragebogen. Durch den Fragebogen werden sechs Items, welche in Tabelle 5 dargestellt sind, abgefragt. Der vollständige Fragebogen findet sich unter Anhang A.

Tabelle 5: Bewertungsbogen zur Griffgeometrie vor aktiver Benutzung der Power-Tools

Q1	Die Länge des Griffs (von oben bis unten) ist...	5 pkt. SD
Q2	Der Griffdurchmesser bezogen auf die einzelnen Finger ist...	5 pkt. SD
Q3	Die Weichheit der 2K Komponente ist...	5 pkt. SD
Q4	Das Einnehmen der optimalen Handposition ist...	5 pkt. SD
Q5	Die Position des Triggers ist...	5 pkt. SD
Q6	Die Form des Triggers ist...	5 pkt. SD

Die Bewertung erfolgte anhand einer 5 stufigen semantischen Differentialskala (SD) von *viel zu klein / weich / etc.* bis *viel zu groß / hart / etc.* Der Aufbau der Vorbenutzungsphase der Akkuschrauber und Schlagschrauber wird in Abbildung 22 dargestellt.



Abbildung 22: Versuchsaufbau der Vorbenutzungsphase zur initialen Bewertung der Griffgeometrie von Power-Tools²³⁴

Für die Bewertung der Anwendungseignung der Griffgeometrie musste jeder Teilnehmer mehrere Testanwendungen durchführen. Aus einer Auswendungsfallstudie wurden verschiedene Testfälle definiert, die den Teilnehmern nach der Vorbenutzungsphase vorgestellt wurden. Für den 18V-Akkuschrauber wurden fünf Testfälle definiert, die als relevant für das Experiment angesehen werden:

- 5-faches Ein- und Ausschrauben von Holzschrauben $\varnothing 6 \times 80 \text{ mm}$ in Fichte-Kreuzrahmen ($80 \times 100 \times 1000 \text{ mm}$) in aufrechter Haltung in der zweiten Gangstufe
- 5-maliges Ein- und Ausschrauben von Holzschrauben $\varnothing 6 \times 80 \text{ mm}$ in Fichte-Kreuzrahmen ($80 \times 100 \times 1000 \text{ mm}$) in vorn übergebeugter Haltung und der zweiten Gangstufe
- 5-maliges Ein- und Ausschrauben von Holzschrauben $\varnothing 8 \times 80 \text{ mm}$ in Fichte-Kreuzrahmen ($80 \times 100 \times 1000 \text{ mm}$) in aufrechter Haltung und der ersten Gangstufe
- 2-maliges Bohren von Flachstahl $t=5\text{mm}$ (S235) mit $\varnothing 6\text{mm}$ HSS-Bohrer in vorn übergebeugter Haltung in der zweiten Gangstufe

²³⁴ Matthiesen und Germann (2018).



Abbildung 23: Durchführung von Testanwendungen mit Akkuschaubern (links und mittig) und Schlagschaubern (rechts) im Power-Tool Testcenter des IPEK

Zur Durchführung der Versuche mit den Schlagschaubern wurde folgende Testanwendung vorgegeben:

- 15-maliges Ein- und Ausschrauben von *M24* Stahlschrauben in eine Einschraubplatte in aufrechter Haltung

Jeder Proband wurde dazu angehalten, alle Testanwendungen in der vorgegebenen Reihenfolge durchzuführen. Auf Grund der lokal gebundenen Verfügbarkeit musste das Experiment mit den professionellen Anwendern in einem separaten Testbereich eines Power-Tool Herstellers durchgeführt werden. Die geschulten, nicht professionellen Anwender führten das Experiment im IPEK - Power-Tool Testcenter am KIT - Karlsruher Institut für Technologie durch. Besonderes Augenmerk wurde darauf gelegt, dass in beiden Versuchsumgebungen die Präsentation der Power-Tools und der Aufbau der Testanwendungen in gleicher Weise durchgeführt wurden. Abbildung 23 zeigt die verschiedenen Testanwendungen für die Akkuschauber und die Schlagschauber. Nach Durchführung der Testanwendung wurden die Probanden dazu aufgefordert, die Griffgeometrie der Power-Tools anhand eines zweiten Fragebogens erneut zu bewerten. Tabelle 6 zeigt die sieben Fragen, welche von den Probanden auf einer 5-stufigen Skala (SD) bewertet wurden. Anhand einer achten Frage wurde der allgemeine Dis-Komfort des Griffs auf einer 7-stufigen Likert-Skala (LS) bewertet, die von *keinem Dis-Komfort* bis zu *sehr starker Dis-Komfort* reicht.

Tabelle 6: Bewertungsbogen zur Griffgeometrie nach aktiver Benutzung der Power-Tools

Q7	Die Druckverteilung auf der Handfläche ist...	5 pkt. SD
Q8	Die Druckverteilung auf den Fingern ist...	5 pkt. SD
Q9	Die Rutschfestigkeit des Griffs ist...	5 pkt. SD
Q10	Die Handhabung des Power-Tools ist...	5 pkt. SD
Q11	Der Triggerweg ist...	5 pkt. SD
Q12	Die nötige Triggerkraft ist...	5 pkt. SD
Q13	Die nötige Einschraubkraft aufzubringen ist...	5 pkt. SD
Q14	Wie hoch ist der Dis-Komfort während der Benutzung des Power-Tools im Allgemeinen	7 pkt. LS

5.2.1.3 Analyse der Versuchsdaten

Sämtliche statistische Auswertungen wurden mit SPSS v. 24 durchgeführt.

Einflüsse durch den unterschiedlichen Grad der Expertise:

Für die eindeutige Bewertung des Einflusses durch den unterschiedlichen Grad der Expertise der Versuchsteilnehmer wurden die beiden Gruppen der professionellen Anwender (p-Anwender) und nicht professionellen Anwender (np-Anwender) analysiert. Dabei erfolgt zunächst die Auswertung bezüglich sämtlicher gestellter Fragen (Q1-Q14). Um Expertise-abhängige Abweichungen in der Auswertung zu analysieren, wird eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Mit Hilfe dieses Ansatzes können Usability-Aspekte, bei welchen die Bewertung der Griffgeometrie signifikant durch den Einfluss der Expertise verändert wird, identifiziert werden. Darüber hinaus werden die einzelnen Fragen mit Hilfe des Pearson χ^2 -Tests analysiert, um die Absolut-Werte der Bewertung zwischen p-Anwendern und np-Anwendern zu vergleichen. Weiterhin wird durch Anwendung des Kruskal-Wallis Tests die Differenz der mittleren Bewertung zwischen p-Anwendern und np-Anwender untersucht.

Tabelle 7: Übersicht zu abhängigen und Unabhängigen Variablen der statistischen Untersuchung

Testform	Abhängige Var.	Unabhängige Var.
ANOVA	Q1 – Q14	Expertise des Anwenders
Pearson Chi ²	Q1, Q2 _{index_finger} , Q7, Q8, Q13	Expertise des Anwenders
Kruskal Wallis	Q1, Q2 _{index_finger} , Q7, Q8, Q13	Expertise des Anwenders

Identifizierung relevanter Usability-Aspekte der Griffgeometrie:

Wie in den vorangegangenen Abschnitten zum Aufbau der Versuche bereits vorgestellt, unterscheiden sich sowohl die Dimensionen der verwendeten Griffgeometrien der Power-Tools, als auch die anthropometrischen Charakteristiken der Probanden. Durch den Einsatz einer kategorialen Regression nach dem Lasso Ansatz können sämtliche Parameter der Griffgeometrie und der anthropometrischen Probandendaten hinsichtlich des Bewertungseinflusses analysiert und gewichtet werden. Die Regressionsanalyse wird mit den Bewertungsdaten der Frage Q14 durchgeführt. Durch Analyse der Lasso-Pfade im Schrumpfungmodell können die aussagekräftigsten Usability-Aspekte bezüglich des Dis-Komforts in der Anwendung während der Benutzung der Power-Tools identifiziert und nach Relevanz und Einfluss geordnet werden.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Unterschiede im Bewertungsverhalten im Vergleich zwischen professionellen und nicht professionellen Anwendern

Die Ergebnisse der Varianzanalyse (Tabelle 8) weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den professionellen und nicht professionellen Anwendern innerhalb der fünf Bewertungskategorien Q1, Q2_{index_finger}, Q7, Q8 und Q13 ($p < 0.05$) hin. Dabei steht der F-Wert als Maß für die Signifikanzstärke, der p-Wert für die Irrtumswahrscheinlichkeit und das Partielle Eta² als Maß für die Effektstärke. Anzumerken ist, dass die Voraussetzung der Normalverteilung

nicht erfüllt wird, wobei die Durchführung der ANOVA nach gängiger Meinung relativ robust auf Verletzung dieses Kriteriums reagiert.

Tabelle 8: Varianzanalyse der Bewertungen von professionellen und nicht professionellen Anwendern

ANOVA			
Frage	F	p-Wert	Partielles Eta ²
Q1	8,644	,004**	,070
Q2 _{index_finger}	4,155	,044**	,035
Q2 _{middle_finger}	,630	,429	-
Q2 _{ring_finger}	,156	,694	-
Q2 _{little_finger}	2,454	,120	-
Q3	,145	,704	-
Q4	1,005	,318	-
Q5	,208	,649	-
Q6	,399	,529	-
Q7	5,256	,023**	,044
Q8	11,242	,001**	,089
Q9	,018	,893	-
Q10	1,954	,165	-
Q11	2,112	,149	-
Q12	,211	,647	-
Q13	8,145	,005**	,066
Q14	3,319	,070	-

**zweiseitig signifikant mit $\alpha=0,05$

Durch den Einsatz einer Häufigkeitsverteilungsanalyse bezüglich der Bewertungsergebnisse der p-Anwender wurden die erwarteten Kategorien zur Durchführung des χ^2 -Tests definiert, um anhand dieser Verteilung den Einfluss der Expertise auf die Bewertung zu analysieren. Für alle der zuvor identifizierten Bewertungskategorien bis auf $Q2_{index_finger}$ ($p = 0,065$) konnte die Hypothese, dass der Unterschied zwischen p- und np-Anwendern keinen Einfluss auf das Bewertungsergebnis hat, verworfen werden ($p < 0,001$). Darüber hinaus wurde

der Kruskal-Wallis-Test berechnet, um die Rangfolge der Bewertungen zu analysieren. Es konnten signifikante Unterschiede ($p < 0,041$) für sämtliche zuvor identifizierte Bewertungskategorien festgestellt werden, weshalb die Hypothese, dass keine Unterschiede in der mittleren Bewertung zwischen den professionellen und den nicht professionellen Anwendern bestehen, ebenfalls für diese Kategorien abgelehnt werden kann. Bei den weiteren zwölf Bewertungskategorien konnten keine signifikanten Unterschiede in den Bewertungen aufgrund des Grades der Expertise nachgewiesen werden.

5.3.2 Relevante Usability-Aspekte für die Bewertung der Anwendungseignung einer Power-Tool Griffgeometrie

Die Ergebnisse der kategorialen Regressionsanalyse werden in Abbildung 24 dargestellt, welche die finalen Lasso-Wege des Schrumpfungmodells nach der kategorialen Regressionsanalyse zeigt. Die Lasso-Wege zeigen die Reihenfolge der einzelnen Usability-Aspekte an, deren Einfluss und damit deren Relevanz im Modell nach und nach zu Null wird. Diejenigen Aspekte, deren Einfluss im finalen Schrumpfungmodell nicht auf null gesunken sind, bilden das optimale Vorhersagemodell zur Bewertung des allgemein empfundenen Dis-Komforts ($Q14$) ab. Das Modell wird dabei optimal durch fünf Usability-Aspekte gebildet ($R^2 = 0,256$, $Std. Fehler = 0,117$). Die relevantesten Aspekte der Griffgeometrie sind dabei der Umfang des Griffs auf Höhe des Mittelfingers mit einem starken Effekt ($\beta = 0.339$) und die Länge des Griffs auf Höhe des kleinen Fingers mit einem sehr schwachen Effekt ($\beta = 0.008$). Sämtliche anthropometrischen Aspekte der Hände werden im Modell als relevant identifiziert, wobei die Perzentil Gruppe der Daumenlänge einen eher schwachen Effekt hat ($\beta = -0.089$) und die der Handlänge ($\beta = -0.136$) und der Handbreite ($\beta = 0.100$) einen mittelstarken Effekt auf die Bewertung des Dis-Komforts ausübt.

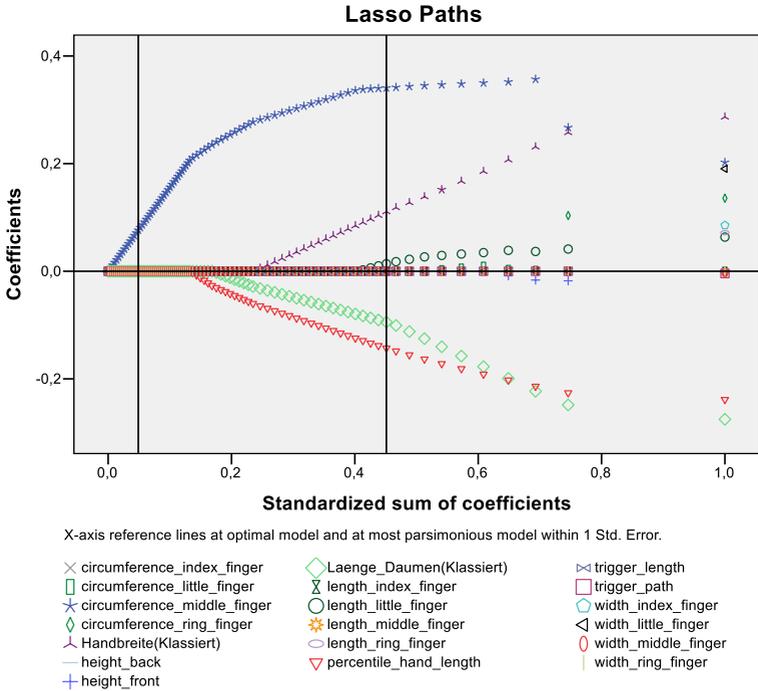


Abbildung 24: Lasso-Wege des finalen Schrumpfungmodells der kategorialen Regressionsanalyse²³⁵

5.4 Diskussion

Die vorgestellten Ergebnisse deuten darauf hin, dass es einen signifikanten Einfluss durch den Grad der Expertise auf die Bewertung der empfundenen Anwendungseignung von Power-Tools gibt. Basierend auf den Ergebnissen kann vermutet werden, dass vor allem Bewertungsaspekte, die sich auf die langjährige Erfahrung des Anwenders stützen, besonders stark durch das un-

²³⁵ Matthiesen und Germann (2018).

terschiedliche Ausmaß der Expertise beeinflusst werden. Die größten Unterschiede zeigen sich hierbei bei der Bewertung der Druckverteilung auf der Handfläche / den Finger während des Einschraubvorgangs (Q7 / Q8) oder bei der Bewertung der erforderlichen Kraft zum Einschrauben (Q13). Mit einem recht kleinen partiellen η^2 -Wert ist der Einfluss mit 4,4 - 8,9% jedoch nicht so hoch, wie es vom Autor erwartet wurde. In weiteren Folgeuntersuchungen wäre es sicherlich sinnvoll, Power-Tools zu untersuchen, bei denen Anwendungen vom Anwender durchgeführt werden müssen, welche deutlich höhere Anforderungen an dessen Fertigkeiten stellen. Darüber hinaus deuten die Auswertungsergebnisse auf signifikanten Bewertungsunterschiede bei der Beurteilung der Griffgröße (Q1, *Partielles η^2 : 7%*) und des Griffumfangs auf Höhe des Zeigefingers (*Q2_{index_finger}, Partielles η^2 : 3,5%*) hin. Diese Abweichungen könnten auf die deutlichen Unterschiede in der Handhabung der Power-Tools zwischen den professionellen und den nicht professionellen Anwendern zurückgeführt werden, welche während der Versuchsdurchführung teilweise offensichtlich waren, wie beispielsweise die unterschiedliche Griffhaltung oder die Körperhaltung beim Arbeiten. Der vermeintliche große Einfluss der richtigen Körperhaltung und Handhabung auf die Bewertung der empfundenen Anwendungseignung sollte daher bei der Implementierung von Trainingskonzepten für nicht professionelle Anwender in weiteren Studien berücksichtigt werden. Des Weiteren zeigen die Ergebnisse des durchgeführten Experiments, dass es durchaus Usability-Aspekte gibt, welche gleichermaßen von professionellen und nicht professionellen Anwendern bewertet werden können, wie beispielsweise die Weichheit des Griffs (Q3) oder die wahrgenommene Rutschfestigkeit (Q9). Gleiches gilt für Aspekte, die sich auf eine allgemeinere Bewertung konzentrieren, wie die Erreichbarkeit der optimalen Handposition (Q4), die Trigger Geometrie/Position (Q5/Q6), die Handhabung des Werkzeugs (Q10) oder der allgemein wahrgenommene Dis-Komfort der Griffgeometrie (Q14). Die Ergebnisse lassen entsprechend darauf schließen, dass durch die Schulung von nicht professionellen Anwendern hinsichtlich der professionellen Benutzung der Power-Tools in der jeweiligen Anwendung allgemeine Usability-Aspekte in vergleichbarer Weise wie der professionelle Anwender bewertet werden können. Einschränkend muss allerdings erwähnt werden, dass eine allgemeine Schulung in der Handhabung der Power-Tools nicht ausreicht, um mit nicht professionellen Anwendern spezifische Usability-Aspekte professionell bewerten zu lassen. Weitere Experimente sollten sich daher auf die Umsetzung neuer Schulungsmethoden konzentrieren, deren Ziel es ist, spezifische Usability-Aspekte auch von nicht professionellen Anwendern bewerten lassen zu können. Weiterhin kam es durch Mehrfachvergleiche in dieser Studie zu dem Problem, dass

signifikante Aussagen aufgrund der Bonferroni-Korrektur nur noch bedingte Aussagekraft haben, wobei diese dem Effekt entgegenwirkt, dass bei steigender Anzahl an bewerteten Fragen die Wahrscheinlichkeit einer zufälligen Signifikanz steigt und daher das Signifikanzniveau angehoben wird. Bei Durchführung weiterer Experimente sollten daher lediglich Usability-Aspekte berücksichtigt werden, die für die jeweilige Hypothesenprüfung unerlässlich sind. Durch dieses Vorgehen können zuverlässigere und dadurch objektivere Beurteilung der empfundenen Anwendungseignung unter konstanten, beobachtbaren Bedingungen erfolgen.

Im Rahmen der Implementierung des Regressionsmodells zur Vorhersage der relevanten Usability-Aspekte hinsichtlich der Bewertung des Dis-Komforts der Griffgeometrie wurde der Einfluss durch die anthropometrischen Benutzereigenschaften analysiert. Wie bereits in mehreren Untersuchungen wie beispielsweise in denen von Sancho-Bru et al. oder Björing et al. festgestellt werden konnte, kann mit den Ergebnissen der vorgestellten Studie gezeigt werden, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Bewertung der Griffgeometrie des Power-Tools und den einzelnen Parametern der Handgrößen der Anwender besteht²³⁶. Je nach Usability-Aspekt variiert der Einfluss allerdings stark in seiner Intensität. Signifikante Korrelationen (teilweise nur für professionelle oder nicht professionelle Nutzer) können für die Aspekte $Q2_{ring_finger}$, $Q11$ (alle Teilnehmer), $Q3$, $Q8$ und $Q13$ (np-Anwender) und $Q2_{index_finger}$ (p-Anwender) nachgewiesen werden. Die stärkste Korrelation kann zwischen dem Aspekt $Q2_{index_finger}$ und $Percentile_thumb_length$ ($r = -0.357$, $p = 0.005$) bzw. mit $Percentile_hand_length$ ($r = -0.345$, $p = 0.007$) festgestellt werden. Durch die Auswertung der Lasso-Wege des Schrumpfungmodells können mehrere Usability-Aspekte identifiziert werden, welche die Bewertung der Griffgeometrie maßgeblich beeinflussen. Dabei kann als relevantester und einflussreichster Usability-Aspekt der Umfang des Griffes auf Höhe des Mittelfingers ($circumference_middle_finger$) ($\beta = 0,339$) identifiziert werden. Im Vergleich zu den Ergebnissen von Sancho-Bru et al. ist dieses Ergebnis durchaus nachvollziehbar, da diese postulieren, dass der Mittelfinger bei der Verwendung von Power-Tools mit Pistolengriff den größten Anteil bei der aufgebachten Greifkraft hat²³⁷. Diese Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass der Umfang des Griffes unter dem Finger mit den höchsten Greifkräften auch den subjektiv empfundenen Eindruck der Anwendungseignung am meisten beeinflusst. Weiterhin kann die

²³⁶ Björing et al. (1999); Sancho-Bru et al. (2003).

²³⁷ Sancho-Bru et al. (2003).

mit der Korrelationsanalyse aufgezeigte Annahme, dass anthropometrische Merkmale der Handgrößen des Anwenders bei der Bewertung von Power-Tools als relevante Usability-Aspekte berücksichtigt werden sollten, durch die kategoriale Regressionsanalyse unterstützt werden.

5.5 Zwischenfazit zur experimentellen Identifikation von Usability-Aspekten

Aufgrund der durchgeführten Untersuchung können folgende Erkenntnisse und Einschränkungen festgehalten werden, welche zur Beantwortung der Forschungshypothese H1 genutzt werden:

Durch statistische Analyse der subjektiv wahrgenommenen Anwendungseignung können Usability-Aspekte identifiziert werden.

- Die Beurteilung der empfundenen Anwendungseignung einer Griffgeometrie wird signifikant durch die anthropometrischen Handabmessungen des Anwenders beeinflusst.
- Der Umfang des Handgriffs auf Höhe des Mittelfingers ist bei der Beurteilung der Anwendungseignung des Griffkomforts von Akkuschaubern und Schlagschraubern der relevanteste und einflussreichste Usability-Aspekt.
- Der Grad der Expertise in der professionellen Benutzung von Power-Tools hat einen signifikanten Einfluss auf die Bewertung der empfundenen Anwendungseignung, vor allem dann, wenn spezifischere Usability-Aspekte wie bspw. die Grifflänge oder die Druckverteilung auf den Fingern bewertet werden sollen.

Die durchgeführte Vorstudie kann dazu genutzt werden, neue Forschungspotentiale aufzuzeigen, wobei klar ersichtlich wird, dass mit den Methoden des aktuellen Standes der Forschung deutliche Defizite bei der störgrößenreduzierten Erfassung und Bewertung der Anwendungseignung auftreten. Im Folgenden werden daher die wichtigsten Einschränkungen aufgezeigt, wobei diese den Forschungsbedarf dieser Arbeit verdeutlichen:

- Durch eine einfache Einweisung in die grundlegende Benutzung von Power-Tools können nicht professionelle Anwender nicht in die Lage

versetzt werden, spezifische Anwendungsaufgaben professionell durchzuführen und diese objektiv zu bewerten.

- Schulungsansätze sollten sich auf die Vermittlung von Bewertungskriterien und Methoden konzentrieren, die in der Regel nur durch langjährige Erfahrung erlernt werden.
- Durch Störgrößen wie beispielsweise den verschiedenen Marken der Power-Tools und die stark unterschiedliche Expertise in der Anwendung zwischen den Anwendern, sowie eventuelle Einflüsse durch die unterschiedliche Balance und Haptik der Systeme und die verschiedenen Versuchsstandorte, können die Erkenntnisse nur bedingt dazu genutzt werden, gültige Aussagen für die Ableitung von anwenderoptimierten Entwicklungszielen zu treffen.

6 Experimentelle Berücksichtigung von Störgrößen

Motiviert aus den in Kapitel 5 identifizierten Defiziten bei der Durchführung von Laborstudien mit Power-Tools und dem im Stand der Forschung aufgezeigten starken Einfluss durch den unterschiedlichen Grad der *Expertise in der Anwendung* des Anwenders und dem Einfluss durch die *Marke* auf die Benutzung und Bewertung eines Power-Tools, werden im Folgenden Ansätze vorgestellt, mit welchen diese bekannten Störgrößen berücksichtigt bzw. reduziert werden können.

6.1 Ansatz zur Berücksichtigung der Störgröße: Expertise

Die experimentelle Untersuchung zur Reduzierung des Einflusses durch die Expertise wird am Beispiel „*Bewertung der Anwendungseignung von Trockenbauschraubern*“ durchgeführt, wobei eine spezielle Vorbereitung der Probanden durch methodische Schulungskonzepte erfolgt, die zum Erlernen und Bewerten der professionellen Arbeitsweise von Trockenbauschraubern verhelfen sollen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung basieren auf den Arbeiten von Germann, Jahnke et al. und Jahnke. Mit der experimentellen Untersuchung wird die Forschungshypothese H2.1 analysiert.²³⁸

Forschungshypothese H2.1:

Durch geeignete Vorbereitung der Probanden bewerten nicht professionelle Anwender die Anwendungseignung eines Power-Tools bezüglich der relevanten Bewertungskriterien, der Bewertungsmethode und dem Bewertungsergebnis vergleichbar zum professionellen Anwender.

²³⁸ Germann, Jahnke et al. (2019); Jahnke (2018). Unveröffentlichte Masterarbeit.

6.1.1 Motivation und Zielsetzung

In Kapitel 2.4.1 wurde umfassend das Problem der unterschiedlichen Expertise in der Anwendung vorgestellt, welche einen signifikanten Effekt auf die Bewertung der Anwendungseignung eines Power-Tools hat. Nicht professionelle Arbeiter verfügen dabei meist nicht über das Wissen der relevanten Bewertungskriterien und -methoden, anhand derer ein professioneller Arbeiter ein Power-Tool bewertet. Sollen mit Hilfe von nicht-professionellen Anwendern neue Entwicklungspotenziale identifiziert werden, werden daher Ansätze benötigt, durch welche der nicht professionelle Anwender dieses fehlende Wissen zu relevanten Bewertungskriterien und den eingesetzten Bewertungsmethoden erlernt, bevor die Anwendungseignung bewertet wird. Zur Entwicklung neuer Ansätze wurde daher ein Experiment durchgeführt, das die folgenden Problemstellungen untersucht:

- Wie können nicht-professionelle Anwender darin geschult werden, Power-Tools professionell zu benutzen?
- Wie können nicht-professionelle Anwender geschult werden, um Power-Tools auf professionelle Art und Weise zu bewerten?
- Hängt die Präferenzstärke der Bewertung von der Professionalität der Arbeitsausführung bzw. der eingesetzten Bewertungsmethode ab?

Um diese Fragen zu bearbeiten, ist die Untersuchung in zwei Phasen unterteilt. In der ersten Phase wurde eine Anwendungsfallstudie durchgeführt. Acht professionelle Trockenbau Anwender wurden bei ihrer täglichen Arbeit auf Baustellen beobachtet und befragt. Durch diesen Ansatz wurden verschiedene durchgeführte Anwendungen, sowie spezifische professionelle Arbeitsmethoden erfasst. Mit zwei geschwärzten Trockenbauschraubern konnten spezielle Bewertungskriterien, sowie Bewertungsansätze der Fachleute identifiziert werden. Mit Hilfe dieses Wissens wurden mehrere Trainingsprogramme entwickelt. In der zweiten Phase wurde ein Experiment durchgeführt, bei dem die Auswirkungen der Trainingsmethoden auf nicht professionelle Anwender analysiert wurden. Dazu wurden 39 nicht professionelle Probanden in drei Versuchsgruppen eingeteilt (10 ohne Trainingsprogramm, 20 mit grundlegendem Trainingsprogramm, neun mit optimierten Trainingsprogramm). Jede Gruppe musste eine Reihe von definierten Anwendungen unter realitätsnahen Laborbedingungen mit den beiden geschwärzten Trockenbauschraubern durchführen. Während der Anwendung mussten die Probanden die Anwendungseignung der Trockenbauschrauber bewerten, während ihre Vorgehensweise bei der Benutzung

und Bewertung analysiert wurden. Die Auswertung des Experiments erfolgte durch den Einsatz von Varianz- und Regressionsanalysen, sowie durch den Chi^2 -Test.

6.1.2 Versuchsumgebung und Methodenaufbau

6.1.2.1 Aufbau des Experiments:

Um ein Experiment durchzuführen, das die Analyse von professionellen und nicht-professionellen Anwendern von Power-Tools ermöglicht, wurde ein Power-Tool gewählt, das speziell für den professionellen Einsatz entwickelt wurde. Magazinierete Trockenbauschrauber sind Power-Tools, die für die professionelle Montage von Trockenbauplatten im Innenausbau von Gebäuden konzipiert sind. Aufgrund dieser speziellen Anwendung haben nicht-professionelle Anwender im Allgemeinen wenig bis keine Vorkenntnisse im Umgang mit diesen Geräten.

Tabelle 9: Systemdaten und geometrische Unterschiede von Trockenbauschraubern

	Bosch GSR 6- 45 TE	Keyang ASD- 5K
Leistung	701 W	710 W
Leerlaufdrehzahl	0-4500 rpm	0-5000 rpm
Gewicht (inklusive Magazin)	1.87 kg	2.04 kg
Gesamtlänge*	410 mm	420 mm
Max. Drehmoment	12 Nm	9.5 Nm
Schalldruckpegel	79 db(A)	83 db(A)
Schalleistungspegel	90db(A)	94 db(A)
Vibrationsemissionslevel	2.5 m/s ²	2.5 m/s ²
Schwerpunktlage (Abstand zur hinteren Kante)*	120 mm	130 mm
Griffbreite auf Höhe des Triggers*	55 mm	50 mm

*Daten basieren auf eigenen Messungen

Zwei magazinierete Trockenbauschrauber der deutschen Marke Bosch Professional und der koreanischen Marke Keyang Electric Machinery wurden für die Versuchsdurchführung ausgewählt (Abbildung 25). Der GSR 6-45 TE von

Bosch bietet 701 W, eine maximale Leerlaufdrehzahl von 4500 U/min und ein maximales Drehmoment von 12 Nm. Keyangs ASD-5K liefert 710 W mit bis zu 5000 U/min Leerlaufdrehzahl und 9,5 Nm maximalem Drehmoment. Relevante Systemdaten sind in Tabelle 9 ersichtlich. Weitere Unterschiede ergeben sich in der Gehäuse- und Griffgeometrie. Beide Systeme wurden geschwärzt, um den Einfluss der etikettierten Marken zu vermeiden bzw. zu reduzieren (vgl. Kapitel 2.4.2). Um eine experimentelle Studie durchführen zu können, die die Untersuchung von professionellen und nicht professionellen Trockenbauern unter beobachtbaren Bedingungen ermöglicht, müssen die relevanten Anwendungen von Trockenbauschraubern und die Bewertungskriterien von Facharbeitern bekannt sein. Daher wurde eine vorgeschaltete Anwendungsstudie durchgeführt, um relevante Anwendungen und Arbeitsmethoden von professionellen Anwendern zu identifizieren.



Abbildung 25: geschwärzte, magazinierte Trockenbauschrauber²³⁹

Anwendungsfallstudie an Trockenbauern:

Im Rahmen der Anwendungsfallstudie wurden acht gewerblich tätige Arbeiter im Trockenbau hinsichtlich ihres professionellen Einsatzes mit magazinierten Trockenbauschraubern untersucht. Die Analyse fand innerhalb der realen Anwendungen auf Baustellen statt. Im Rahmen der Durchführung der Anwendungsfallstudie wurde die Beantwortung von drei Fragestellungen verfolgt:

- Was sind relevante Anwendungen und Teilaufgaben für den Einsatz von Trockenbauschraubern?
- Wie arbeitet der professionelle Anwender mit einem Trockenbauschrauber?

²³⁹ Germann und Jahnke et al. (2019).

- Was sind die wichtigsten Kriterien bei der Bewertung eines Trockenbauschraubers aus der Sicht eines Profis?

Die Untersuchung wurde in zwei Teile gegliedert. Im ersten Teil wurden die Anwender nach ihren Erfahrungen mit Trockenbauschraubern (Erfahrung in Jahren: $\emptyset = 12,1$, $min. = 4$, $max. = 28$), ihrer Händigkeit (*7 rechts*, *1 links*) und der Häufigkeit von durchgeführten Anwendungen befragt. Darüber hinaus mussten die Fachleute die Anwendungseignung der geschwärzten Trockenbauschrauber bewerten, ohne sie an das Stromnetz anzuschließen, indem sie die aus Anwendersicht wichtigen Schlüsselkriterien auswerten. Im zweiten Teil der Anwendungsfallstudie führten die professionellen Anwender mehrere Anwendungen mit beiden bereitgestellten Geräten durch. Während der Nutzung wurden die Benutzer mit Hilfe mehrerer Kameras aus verschiedenen Perspektiven analysiert, um relevante Aspekte über die Anwendungsausführung und die Arbeitsmethode zu identifizieren. Nach Ausführung der Anwendungen wurde eine erneute Bewertung der Anwendungseignung der geschwärzten Trockenbauschrauber durchgeführt, wobei besonders positive wie auch negative Aspekte genau erklärt werden.

Drei Hauptanwendungen für den Einsatz eines Trockenbauschraubers wurden in der Anwendungsstudie beobachtet bzw. durch die Anwender erwähnt. Dazu gehören die Verschraubung von Bad- und Fassadenverkleidungen und die Befestigung von Gipskartonplatten an Aluminiumprofilen für den Bau von Trennwänden im Innenausbau. Die Befestigung der Gipskartonplatten wurde mit Abstand am häufigsten durchgeführt. Daher konzentrierte sich die Analyse auf diese Anwendung und es wurden Teilaktivitäten festgelegt. Die häufigsten Teilaktivitäten eines professionellen Anwenders bei der Befestigung von Gipskartonplatten sind in Abbildung 26 zu sehen: Befestigung in kniender Haltung (links), in aufrechter Haltung (mittig) und in Überkopfhaltung mit gestrecktem Führungsarm (rechts). Die Gipskartonplatten wurden auf einer Aluminium-U-Profilkonstruktion (CW-Profile für den vertikalen / UW-Profile für den horizontalen Anschluss) mit Magazinschrauben montiert.



Abbildung 26: Teilaktivitäten der Anwendung „Befestigen von Gipskartonplatten“²⁴⁰

Während des Einsatzes konnten mehrere spezifische Arbeits- und Bewertungsmethoden mit einem Trockenbauschrauber beobachtet werden:

- Das Gerät wird immer mit einer Hand bedient. Die Führungshand befindet sich in der Verlängerung der Griffachse. Der Trigger wird durch Mittel-, Ring- und kleinen Finger oder nur mit Ring- und kleinem Finger betätigt. Mit der anderen Hand werden die Gipskartonplatten vorjustiert.
- Die Prüfung von Gewicht und Gewichtsverteilung erfolgt durch wiederholtes, kurzes vertikales Schwenken des Geräts in der Führungshand.
- Das Gerät wird durch schnelles, kraftvolles vertikales Drücken des Magazins bis zum Anschlag gegen die Wand und stets mit maximaler Drehzahl betrieben.

²⁴⁰ Germann und Jahnke et al. (2019).

- Die Arbeitsgeschwindigkeit ist hoch, wobei pro Sekunde etwa eine Schraube gesetzt wird. Einstellungen am Gerät (Drehrichtung, Einschraubtiefe) müssen daher vorab genau vorgenommen werden, um Nachbesserungen zu vermeiden.

Für die Identifizierung von Schlüsselkriterien für die Beurteilung eines Trockenbauschraubers aus professioneller Sicht wurden die Handwerker gebeten, die beiden geschwärzten Geräte spontan vor der Benutzung und nach dem praktischen Einsatz zu bewerten. Für keines der bereitgestellten Geräte war das Bewertungsergebnis hinsichtlich der empfundenen Anwendungseignung eindeutig besser oder schlechter, aber es konnten allgemeine Schlüsselbewertungskriterien für den professionellen Anwender erfasst werden, die bei einer professionellen Bewertung zwingend berücksichtigt werden müssen:

- Gesamtmasse / Gewichtsverteilung
- Griffergonomie
- Zugänglichkeit der Bedienelemente
- Funktionstüchtigkeit des Magazins (inkl. Einfädeln der Streifen)
- Erforderlicher Anpressdruck
- Mögliche Arbeitsgeschwindigkeit / Leistung des Gerätes

Die zur Verfügung gestellte maximale Leistung des Trockenbauschraubers war für die Handwerker das wichtigste Kriterium, wobei diese hauptsächlich auf Grund der Anlaufgeschwindigkeit und der maximalen Einschraubgeschwindigkeit der Geräte beurteilt wurde. Zudem wurde festgestellt, dass, obwohl die Marke der beiden Geräte anonymisiert war, die meisten Probanden versuchten, die Marke zu erraten. Eine Beeinflussung der subjektiv empfundenen Anwendungseignung auf Grund einer assoziierten Marke ist also durchaus möglich, unabhängig davon, ob die Vermutung bzgl. der assoziierten Marke richtig oder falsch war (vgl. Kap. 2.4.2).

6.1.2.2 Versuchsteilnehmer

An der experimentellen Studie nahmen 39 Probanden teil, wobei es sich um Maschinenbau-Studenten zwischen dem zweiten und vierten Studienjahr handelte. Innerhalb der Stichprobe gab es 34 männliche und fünf weibliche Teilnehmer, 38 Probanden waren im Alter zwischen 18 und 25 Jahren und einer zwischen 25 und 40 Jahren. Keiner der Probanden litt unter Muskelerkrankungen oder anderen gesundheitlichen Einschränkungen. 35 der Probanden waren Rechtshänder. Die geschätzte Häufigkeit des Einsatzes von Power-Tools

wurde von den Probanden auf einer 5-stufigen Likert-Skala von täglich bis jährlich bewertet. Elf Probanden schätzten die Häufigkeit auf wöchentlich, 22 auf monatlich und sechs auf jährlich. Keiner der Teilnehmer hatte Vorkenntnisse im Umgang mit Trockenbauschraubern. Für die Durchführung des Experiments wurden die Teilnehmer in drei Gruppen eingeteilt. Eine Referenzgruppe bestehend aus zehn Probanden ohne Schulungsprogramm, einer grundlegend geschulten Gruppe mit 20 Probanden und einer erweitert geschulten Gruppe mit neun Probanden. Die Zusammensetzung der Gruppen war zufällig. Ziel des Trainingsprogramms war es, den professionellen Einsatz eines Trockenbauschraubers zu vermitteln und den Probanden die in der Anwendungsfallstudie identifizierten, relevanten Bewertungskriterien zu präsentieren. Entsprechend wurden den drei Probandengruppen verschiedene Schulungsvideos zur Verfügung gestellt, die die wichtigsten Themen vorstellen. Innerhalb des Videos für die Probanden ohne Training wurden nur Sicherheitsunterweisungen und Grundlagen zur Bedienung vorgestellt. In den Trainingsvideos wurde der erste Teil so gestaltet, dass er den professionellen Einsatz eines Trockenbauschraubers erklärt. Mehrere Anwendungsszenen von Fachkräften wurden zusammengeschnitten, wobei die Probanden auf die wesentlichen Details hingewiesen wurden. Abbildung 27 zeigt einige Teilszenen aus dem Basisschulungsvideo. Im zweiten Teil wurden den Probanden durch einen Kriterienkatalog wichtige Kriterien für die Bewertung eines Trockenbauschraubers aus professioneller Sicht vorgestellt. Während das Basistrainingsvideo lediglich auf verschiedene Anwendungen und Schlüsselkriterien bei der Bewertung eines Trockenbauschraubers ausgelegt wurde, wurde das erweiterte Trainingsprogramm zusätzlich nach didaktischen Lehransätzen konzipiert. Daher blieb zwar der Inhalt in weiten Teilen identisch, jedoch wurde die Struktur des Videos verbessert, genaue Definitionen vorgenommen und mögliche Fehler präventiv aufgezeigt. Zusätzlich wurden die Probanden motiviert, die im Video erklärten Verfahren direkt zu testen, wobei die wichtigsten Schlüsselkriterien visuell gewichtet dargestellt wurden. Darüber hinaus wurde den Probanden während der Anwendungsphase des Experiments eine verkürzte, stummgeschaltete Version des Videos auf einem Tablet-Computer als Gedankenstütze präsentiert.

Vor Beginn des Experiments erhielt jeder Teilnehmer eine Sicherheitseinweisung über die Verwendung eines Trockenbauschraubers, die zu Beginn jedes Schulungsfilms eingeführt wurde.



Abbildung 27: Teilszenen aus dem Basis-Trainingsvideo: (1) Einziehen der Magazinstreifen (2) Montage von Gipskartonplatten (3) Verwendung von Trockenbauschraubern (4) einnehmen der richtigen Handposition (5) Prüfung der Gewichtsverteilung²⁴¹

6.1.2.3 Versuchsplanung und Durchführung

Das Experiment wurde im Power-Tool Testcenter am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) durchgeführt. In Abhängigkeit von der zugeteilten Gruppe wurde jedem Probanden das passende Schulungsvideo vorgespielt. Neben den Benutzungs- und Bewertungsansätzen vermittelt das Video den Probanden den allgemeinen Ablauf des Experiments. Jeder Versuch ist in zwei Teile gegliedert. Im ersten Teil mussten die Probanden die beiden geschwärzten Trockenbauschrauber bewerten, ohne diese an das Stromnetz anzuschließen. Dabei wurde je nach Schulungsgruppe ein Kriterienkatalog erstellt, der eine Auswahl von Bewertungskriterien vorgibt. Die Probanden wurden ermutigt, während der Studie die Think Aloud-Methode²⁴² anzuwenden und ihre Bewer-

²⁴¹ Germann und Jahnke et al. (2019).

²⁴² Vgl. Van Someren et al. (1994).

tungsideen laut zu äußern. Nach fünf Minuten wurden den Probanden zwei Fragebögen (einer für jedes Gerät) vorgelegt, die sie auf einer 5-stufigen, semantischen Differentialskala mit der zusätzlichen Möglichkeit der Stimmenthaltung (Q1-Q6) bewerten mussten, wie in Tabelle 10 dargestellt. Der vollständige Fragebogen kann unter Anhang B eingesehen werden. Nach der Bewertung der stromlosen Geräte wurde den Probanden die Möglichkeit gegeben, die Trockenbauschrauber in der praktischen Anwendung zu testen. Der Reihenfolge und der Ablauf der Studie kann in Abbildung 28 nachvollzogen werden.

- Reihenfolge und Ablauf der Studie**
- Vorbereitung der Probanden:
 - Vorstellung des Schulungsvideos
 - Bereitstellung der Studienmaterialien
 - Durchführung der stromlosen Bewertung:
 - initialen Inbetriebnahme
 - Bewertung durch Think-Aloud Technik
 - Beantwortung der Fragen Q1 – Q6
 - Durchführung der praktischen Anwendung:
 - Benennung des **Start-** und **Vergleichsgeräts** durch Versuchsleiter (randomisiert)
 - Benutzung der Trockenbauschrauber
 - Verwendung nach Versuchsschema (1-36)
 - Beantwortung der Fragen Q7 – Q11



Abbildung 28: Benutzungsreihenfolge und Ablauf der Bewertungen der magazinier-ten Trockenbauschrauber²⁴³

Die in der Anwendungsfallstudie als relevant identifizierte Anwendung „Befestigung von Gipskartonplatten auf Aluminiumprofilen“ wurde daher im Labor durch folgende Teilaktivitäten abgebildet:

²⁴³ Jahnke (2018).

- Befestigung einer Gipskartonplatte ($2m \times 1,5m$) mit neun Schrauben $3,9 \times 35 \text{ mm}$ mit Doppelgewinde, beschichtet mit schwarzem Phosphor (EN 14566, Klasse 48) in Bodennähe (mit und ohne Eckenbearbeitung).
- Befestigung einer Gipskartonplatte ($2m \times 1,5m$) mit neun Schrauben $3,9 \times 35 \text{ mm}$ mit Doppelgewinde, beschichtet mit schwarzem Phosphor (EN 14566, Klasse 48) in Überkopfhaltung (mit und ohne Eckenbearbeitung).

Die Gipskartonplatten wurden von den Probanden mit den magazinierten Trockenbauschraubern befestigt. Um die empfundene Anwendungseignung der beiden Geräte innerhalb der Anwendungen zu vergleichen, wurden zwei CW-Profile beidseitig direkt nebeneinander montiert und durch je eine Vorrichtung fixiert, wie in Abbildung 29 dargestellt. Die Probanden mussten mit der Montage der unteren Gipskartonplatten beginnen, indem sie diese mit neun Schrauben aus dem ersten Gerät befestigten. Anschließend wurde das Gerät gewechselt und die gleiche Gipskartonplatte wurde mit weiteren neun Schrauben an den inneren CW-Profilen befestigt. Entsprechend wurde die obere Gipskartonplatte mit beiden Trockenbauschraubern befestigt. Die Reihenfolge der Vorgänge und die Wahl des beginnenden Gerätes wurden vom Versuchsleiter festgelegt und die Geräte bei jedem Probanden getauscht. Nach der aktiven Benutzung der beiden Trockenbauschrauber in der Anwendung mussten die Probanden die empfundene Anwendungseignung der beiden Geräte bewerten. Für diesen Zweck wurde der zweite Teil des Fragebogens, bestehend aus fünf 5-stufigen semantischen Differentialskalenfragen (Q7-Q11) mit der zusätzlichen Möglichkeit der Enthaltung, den Probanden vorgestellt (Tabelle 10). Basierend auf der geforderten Reliabilität und Validität bei der Erfassung der empfundenen Anwendungseignung des Trockenbauschraubers wurde der Fragebogenkonstruktion besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Die allgemeine Struktur basiert dabei auf dem Fragebogendesign früherer Studien von Kuijt-Evers et al. und Matthiesen und Germann, wobei die Bewertungsparameter an die Erfassung relevanter Bewertungskriterien von Trockenbauschraubern angepasst wurden²⁴⁴. Aus den Ergebnissen der Anwendungsfallstudie wurden entsprechend die Bewertungsparameter für den Fragebogen ermittelt. In diesem Zusammenhang konnte der Interviewer je nach Fragestellung signifikante Unterschiede in den Reaktionen der professionellen Anwender feststellen. Während

²⁴⁴ Kuijt-Evers et al. (2005); Matthiesen und Germann (2018).

auf einige allgemeine Fragen kaum eine Antwort gegeben wurde, waren die Experten viel aufgeschlossener und interessierter an Fragen, die sich speziell auf den Trockenbau bezogen. So wurden Fragen, die die Spezialisten ambitioniert beantwortet hatten, in den Fragebogen aufgenommen.



Abbildung 29 Montage von Gipskartonplatten auf CW-Profilen im Power-Tool Test-center des KIT²⁴⁵

Darüber hinaus wurden nicht professionelle Mitarbeiter des Power-Tool Test-center des KITs, die nicht in das Hauptexperiment einbezogen waren, in mehreren Vorversuchen nach ihrem Verständnis zu jeder Frage des Fragebogens befragt. Nach der Test-Retest-Methode wurde dieser Prozess wiederholt, bis jede Frage klar verstanden wurde und die Reliabilität des Fragebogens damit

²⁴⁵ Germann und Jahnke et al. (2019).

angenommen werden kann²⁴⁶. Um eine valide Umsetzung des Fragebogens zu gewährleisten, fordern Hornke et al. in ihren Schriften, dass jedes Experiment einen definierten Zweck, messbare empirische Evidenz und theoretische Ableitungen zur Bestimmung der Gültigkeit haben muss²⁴⁷. Da das Ziel des Experiments darin bestand, herauszufinden, ob das jeweilige Erfahrungslevel des Anwenders im Umgang mit Trockenbauschraubern sich unterschiedlich auf die Bewertung auswirkt, wurde der gesamte Test so konzipiert, dass die definierten Erfahrungsaspekte (Arbeitsmethoden, Bewertungskriterien) objektiv gemessen werden können. Aus Sicht des Autors ermöglicht dieser Ansatz eine möglichst valide Testausführung.

Tabelle 10: Fragebogen zur Evaluierung der Anwendungseignung von Trockenbauschraubern

Q1	Der erste Gesamteindruck des Gerätes ist...	5 pkt. SD
Q2	Die Lage des Gerätegriffs in der Hand ist...	5 pkt. SD
Q3	Die Erreichbarkeit des Triggers ist...	5 pkt. SD
Q4	Die Gesamtmasse des Gerätes ist...	5 pkt. SD
Q5	Die Schwerpunktlage des Gerätes ist...	5 pkt. SD
Q6	Das Einfädeln der magazinierten Schraubenstreifen ist...	5 pkt. SD
Q7	Die Druckverteilung auf der Handfläche ist...	5 pkt. SD
Q8	Die Einschraubgeschwindigkeit ist...	5 pkt. SD
Q9	Der erforderliche Kraftaufwand in der Anwendung ist...	5 pkt. SD
Q10	Das Anlaufverhalten des Gerätes ist...	5 pkt. SD
Q11	Der abschließende Gesamteindruck des Gerätes ist...	5 pkt. SD

Analyse der Versuchsdaten

Alle statistischen Analysen wurden mit SPSS v. 24 durchgeführt.

Bewertung des professionellen Einsatzes eines Trockenbauschraubers:

Für die Beurteilung des professionellen Einsatzes eines Trockenbauschraubers in Abhängigkeit von den verschiedenen Trainingsmethoden wurden alle Versuche gefilmt und analysiert. Aus der Anwendungsstudie konnten Erkenntnisse

²⁴⁶ Berekoven et al. (2009).

²⁴⁷ Hornke et al. (2011).

gesammelt werden, welche gezeigt haben, dass der professionelle Einsatz mit Trockenbauschraubern von der *richtigen Handposition am Griff*, der richtigen Vorgehensweise bei der Auswertung der *Gesamtmasse / Massenverteilung* und der *Arbeitsgeschwindigkeit* während des Einsatzes abhängt. Für jeden dieser Aspekte werden Kriterien für eine nicht professionelle, eine teilweise professionelle und eine professionelle Nutzung definiert. Auszugsweise werden an dieser Stelle die Ergebnisse der Handpositionierung vorgestellt, die anhand folgender Kriterien unterschieden wird:

- Nicht professionell (*np*): Das Gerät wird kontinuierlich mit zwei Händen bedient oder an der Unterseite des Griffs gehalten.
- Teilweise professionell (*tp*): Das Gerät wird abwechselnd korrekt oder falsch bzw. kontinuierlich am Ende des Griffs gehalten, wobei der Zeigefinger über den Abzug gespreizt wird.
- Professionell (*p*): Das Gerät wird mit einer Hand gehalten, wobei die Handmulde an der vorgesehenen Vertiefung oder knapp darunterliegt. Der Trigger wird mit Mittel-, Ring- und kleinem Finger oder nur mit Ring- und kleinem Finger betätigt.

Die Evaluationsergebnisse werden mit Hilfe einer linearen Regressionsanalyse hinsichtlich des Einflusses der verschiedenen Schulungsansätze (keine Schulung (*kS*), basis Schulung (*bS*) und erweiterer Schulung (*eS*)) im Vergleich zur Arbeitsmethode der professionellen Anwender untersucht (Tabelle 11).

Tabelle 11: Versuchsvariablen zur Analyse der Professionalität im Einsatz

Testform	Abhängige Var.	Unabhängige Var.
Lineare Regressionsanalyse	Professionalität des Arbeitsmethode (<i>np, tp, p</i>)	Schulungsmodell (<i>kS, bS, eS</i>)

Berücksichtigung relevanter Bewertungskriterien bei der Anwendungsausführung:

Die Hypothese, dass die Schulung im professionellen Umgang mit einem Power-Tool zu einer verstärkten Berücksichtigung wichtiger Bewertungskriterien durch Laien führt, wurde untersucht. Bewertungskriterien zur Untersu-

chung dieser Zusammenhänge werden dabei aus den Ergebnissen der Anwendungsfallstudie extrahiert. Die wichtigsten Bewertungskriterien für Trockenbauschrauber sind in Abschnitt 6.1.2.1 (*Anwendungsfallstudie* an Trockenbauschraubern) aufgeführt. Allgemeine Bewertungskriterien für die Bewertung von Power-Tools sind z.B.: Verarbeitungsqualität, Zusatzfunktionen, Gebrauchstauglichkeit des Magazins, Design und Kabelqualität. Durch Analyse der Filmaufnahmen der Versuche wurden die bewerteten Schlüsselkriterien gezählt. Ein Schlüsselkriterium gilt als bewertet, wenn die Versuchsperson mündlich deutlich macht, dass sie nach den jeweiligen Kriterien testet oder über das Ergebnis eines solchen Tests berichtet.

Die Bewertungsergebnisse wurden mit dem Pearson Chi²-Test im Hinblick auf den Einfluss der verschiedenen Schulungsansätze im Vergleich zu den angegebenen Bewertungskriterien der professionellen Anwender untersucht (Tabelle 12).

Tabelle 12: Versuchsvariablen zur Analyse der Berücksichtigung relevanter Bewertungskriterien

Testform	Abhängige Var.	Unabhängige Var.
Pearson Chi ² -Test	Anzahl der bewerteten Schlüsselkriterien	Schulungsmodell (kS, bS, eS)

Einfluss auf die Präferenzstärke in Abhängigkeit der professionellen Benutzung:

Laut Suján hängt eine objektive Bewertung eines Systems von der Kenntnis der relevanten Bewertungskriterien ab²⁴⁸. Fehlen diese Kriterien, hat der Bewertende Probleme, sich auf eine bestimmte Bewertung festzulegen. Daher sind die Fragen Q2-Q10 mit den professionellen Einsatzkriterien verknüpft, wobei eine Unterscheidung der Bewertung mit Hilfe der jeweiligen bewerteten Präferenzstärke durchgeführt wird. Die Berechnung der Präferenzstärke erfolgt durch Bestimmung der betragsmäßigen Differenz zwischen den beiden Testgeräten. Für die Auswertung der *Handposition* werden die Fragen Q2, Q3 und Q7 verwendet. Die Auswertung der *Gesamtmasse und der Massenverteilung*

²⁴⁸ Suján (1985).

erfolgt durch die Fragen Q4 und Q5. Die *Arbeitsgeschwindigkeit* kann mit den Fragen Q8 - Q10 ausgewertet werden. Mit Hilfe einer Korrelationsanalyse und einer einfaktoriellen Varianzanalyse wird untersucht, ob der professionelle Einsatz eines Trockenbauschraubers einen wesentlichen Einfluss auf die Präferenzstärke des Bedieners hat.

Tabelle 13: Versuchsvariablen zur Analyse der Präferenzstärke in Abhängigkeit der Professionalität

Testform	Abhängige Var.	Unabhängige Var.
Korrelationsanalyse	Betragsmäßige Differenz der Bewertungspräferenz	Schulungsmodell (kS, bS, eS)
ANOVA	Betragsmäßige Differenz der Bewertungspräferenz	Schulungsmodell (kS, bS, eS)

6.1.3 Ergebnisse

6.1.3.1 Professioneller Einsatz von Trockenbauschraubern durch nicht professionelle Anwender

Mit Hilfe der Anwendungsfallanalyse können Aussagen über die Professionalität der Testausführung getroffen werden. Daher wurden Aspekte für den professionellen Einsatz eines Trockenbauschraubers untersucht. Tabelle 14 zeigt die Ergebnisse für die Aspekte *Handposition*, *Gesamtmasse / Massenverteilung* und der *Arbeitsgeschwindigkeit*, während der stromlosen Testphase und der zweiten Testphase mit praktischer Benutzung. Jeder Aspekt ist unterteilt in eine nicht professionelle (np), teilweise professionelle (tp) und professionelle (p) Arbeitsausführung in Abhängigkeit von keiner Schulung (kS), Basisschulung (bS) und erweiterter Schulung (eS), wobei jeder Proband während der Arbeitsausführung studiert wurde und dessen Vorgehen zu den drei Professionalitätsgruppen zugeordnet und addiert wurde.

Tabelle 14: Merkmale der professionellen Arbeitsweise in Abhängigkeit von der Trainingsmethode

Nr.	Aspekt	Schulung	Arbeitsausführung			
			np	tp	p	n _{gesamt}
(1)	<i>Handposition</i> <i>stromlose Benutzungsphase</i>	kS	9	1	0	10
		bS	4	8	8	20
		eS	0	0	9	9
(2)	<i>Handposition</i> <i>Praktische Benutzungsphase</i>	kS	9	1	0	10
		bS	4	8	8	20
		eS	0	1	8	9
(3)	<i>Gesamtmasse / Massenverteilung</i>	kS	8	2	0	10
		bS	6	11	3	20
		eS	2	3	4	9
(4)	<i>Arbeitsgeschwindigkeit</i>	kS	2	4	4	10
		bS	4	7	9	20
		eS	1	3	5	9

Durch den Einsatz einer linearen Regressionsanalyse kann die quantitative Verteilung der beobachteten Arbeitsausführungen in Abhängigkeit von den Trainingsmethoden analysiert werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 zu sehen, wobei R^2 für das Bestimmtheitsmaß (bzw. die Modellgüte) steht und β für den Regressionskoeffizienten, welche die Steigung der Modellgerade vorgibt.

Tabelle 15: Regressionsanalyse der charakteristischen Arbeitsweise

Aspekt	Model			ANOVA	
	R^2	β	p-Wert	F	p-Wert
(1)	,584	-,764	,000**	51,87	,000**
(2)	,240	-,490	,002**	11,71	,002**
(3)	,534	-,731	,000**	42,44	,000**
(4)	,013	-,112	,497	0,47	,497

** zweiseitig signifikant mit $\alpha=0,05$

Die Annahme, dass die Trainingsmethode keinen signifikanten Einfluss auf den Arbeitsansatz hat, kann für die *Handposition* in der stromlosen Benutzungsphase ($R^2 = 0,584$, $p_{(1)} = 0,000$, $\beta_{(1)} = -0,764$) und innerhalb der praktischen Benutzungsphase ($R^2 = 0,240$, $p_{(2)} = 0,002$, $\beta_{(2)} = -0,490$) abgelehnt werden. Gleiches gilt für den Aspekt der *Gesamtmasse und der Massenverteilung*, wobei ein signifikanter ($R^2 = 0,534$, $p_{(3)} = 0,000$, $\beta_{(3)} = -0,731$) Einfluss erkennbar ist. Für das Attribut der *Arbeitsgeschwindigkeit* ($R^2 = 0,013$, $p_{(4)} = 0,497$, $\beta_{(4)} = -0,112$) kann kein signifikanter Einfluss gefunden werden.

6.1.3.2 Professionelle Bewertung von Trockenbauschraubern durch nicht professionelle Anwender

Mit Hilfe des Pearson χ^2 -Tests wurde die Bewertung der relevanten Schlüsselkriterien in Abhängigkeit der Schulungsmethode untersucht. Zu diesem Zweck wurden die von den Probanden während des Experiments genannten Bewertungskriterien mit den zuvor definierten (und je nach Schulung zur Verfügung gestellten) Schlüsselkriterien verglichen, gezählt und in Abhängigkeit der jeweils durchgeführten Schulung eingeordnet (bewertet / nicht bewertet). Die Ergebnisse sind in Tabelle 16 für die Trainingsmethoden keine Schulung (kS), Basisschulung (bS) und erweiterte Schulung (eS) dargestellt.

Tabelle 16: Bewertete Schlüsselkriterien in Abhängigkeit der Schulungsmethode

Nr.	Schlüsselkriterium	Schulung	nicht bewertet	bewertet
(5)	<i>Gesamtmasse</i>	kS	2	8
		bS	2	18
		eS	1	8
(6)	<i>Massenverteilung</i>	kS	9	1
		bS	9	11
		eS	1	8
(7)	<i>Griffergonomie</i>	kS	2	8
		bS	3	17
		eS	0	9
(8)	<i>Erreichbarkeit der Bedienelemente</i>	kS	10	0
		bS	9	11
		eS	3	6
(9)	<i>Funktionalität des Magazins</i>	kS	1	9
		bS	7	13
		eS	0	9
(10)	<i>Nötiger Kraftaufwand</i>	kS	8	2
		bS	14	6
		eS	5	4

Die Ergebnisse des Pearson χ^2 -Tests sind in Tabelle 17 dargestellt. Zu jedem berechneten Pearson χ^2 Wert kann der Tabelle der p-Wert und der Kramers V Wert entnommen werden. Aus dem p-Wert lässt sich dabei schließen, ob ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Bewertung der Schlüsselkriterien und der eingesetzten Trainingsmethode ablesbar ist. Der Kramers V Wert gibt zusätzlich die Möglichkeit zur Beurteilung des Effekts der Trainingsmethode auf das Bewertungsverhalten der Probanden. Basierend auf den Ergebnissen kann die Annahme, dass kein Zusammenhang zwischen der Trainingsmethode und der Anzahl der relevanten bewerteten Schlüsselkriterien besteht, für die Bewertung der *Massenverteilung* ($\chi^2 = 12,027$, $p_{(6)} = 0,002$, Kramers $V = 0,555$) und der *Erreichbarkeit der Bedienelemente* ($\chi^2 = 10,735$,

$p_{(8)} = 0.005$, $Kramers V = 0,525$) jeweils mit einem mittelstarken Effekt abgelehnt werden. Darüber hinaus ist das Signifikanzniveau für die *Funktionalität des Magazins* nahezu erreicht ($\chi^2 = 5.575$, $p_{(9)} = 0,062$, $Kramers V = 0,378$) und weist auf eine Korrelation zwischen der Schulungsmethode und den bewerteten Schlüsselkriterien hin. Die weitere Interpretation der Ergebnisse erfolgt im Unterkapitel der Diskussion.

Tabelle 17: Pearson Chi²-Test – Bewertete Schlüsselkriterien

Schlüsselkriterien	Pearson Chi ²			Kramers V
	Wert	df	p-Wert	Wert
(5) <i>Gesamtmasse</i>	,627	2	,731	-
(6) <i>Massenverteilung</i>	12,027	2	,002**	,555
(7) <i>Griffergonomie</i>	1,870	2	,393	-
(8) <i>Erreichbarkeit der Bedienelemente</i>	10,735	2	,005**	,525
(9) <i>Funktionalität des Magazins</i>	5,575	2	,062	,378
(10) <i>Nötiger Kraftaufwand</i>	1,340	2	,512	-

**zweiseitig signifikant mit $\alpha=0,05$

Neben dem Einfluss der Schulungsmethoden auf die Bewertung der Schlüsselkriterien wurde der Einfluss auf die Bewertung von allgemeinen Kriterien untersucht. Zu diesem Zweck wurde die prozentuale relative Häufigkeit der bewerteten Kriterien berechnet. Die Ergebnisse für die prozentuale relative Häufigkeit, in Abhängigkeit von der Trainingsmethode für die Schlüsselkriterien und die allgemeinen Kriterien, werden in Abbildung 30 dargestellt.

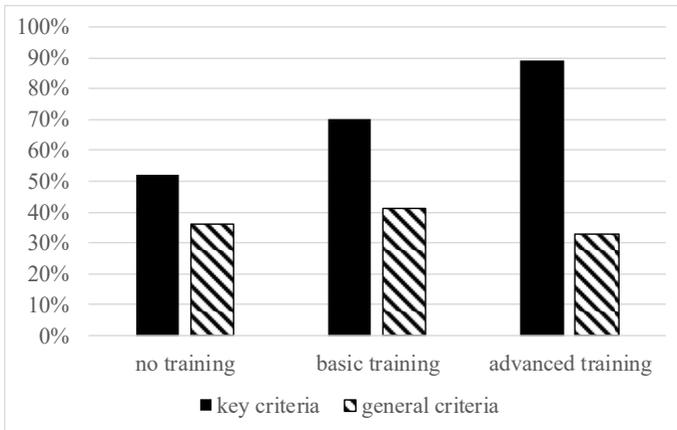


Abbildung 30: Prozentuale relative Häufigkeit der bewerteten Schlüsselkriterien und allgemeinen Kriterien in Abhängigkeit von der Schulungsmethode²⁴⁹

6.1.3.3 Einfluss der professionellen Nutzung auf die Präferenzstärke bei der Bewertung

Mittels einer zusätzlich durchgeführten Korrelationsanalyse wurde der Zusammenhang zwischen der Präferenzstärke der Bewertung und dem unterschiedlichen Grad an Professionalität in der Anwendung (nicht professionell, teilweise professionell, professionell) untersucht. Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse deuten auf eine signifikante Korrelation der Präferenzstärke von Q2, Q3 und Q7 ($r_{Q2,(1)} = -0,361$, $p_{Q2,(1)} = 0,024$; $r_{Q3,(1)} = -0,410$, $p_{Q3,(1)} = 0,012$; $r_{Q7,(1)} = 0,410$, $p_{Q7,(1)} = 0,012$) mit der Professionalität der *Handposition* am Griff in der stromlosen Benutzungsphase hin. Für die *Handposition* in der praktischen Benutzungsphase wurde eine signifikante Korrelation mit Q3 und Q7 gefunden ($r_{Q3,(2)} = -0,348$, $p_{Q3,(2)} = 0,035$; $r_{Q7,(2)} = 0,348$, $p_{Q7,(2)} = 0,035$). Eine signifikante Korrelation kann weder zwischen der Frage Q4 oder Q5 und dem Aspekt der *Gesamtmasse / Massenverteilung* noch der Frage Q8 und der *Arbeitsgeschwindigkeit* festgestellt werden. Ein vergleichbares Ergebnis kann durch die Varianzanalyse erzielt werden, welche in Tabelle 18 dargestellt wird. Die Varianzanalyse zeigt eine signifikante Beeinflussung der Präferenzstärke

²⁴⁹ Germann und Jahnke et al. (2019).

durch den Grad der Professionalität der *Handposition* in der stromlosen Benutzungsphase ($p_{Q2,(1)} = 0.000$, *partielles Eta*² = 0.588; $p_{Q3,(1)} = 0.000$, *partielles Eta*² = 0.588) und in der praktischen Benutzungsphase ($p_{Q3,(2)} = 0.055$, *partielles Eta*² = 0.135).

Tabelle 18: Auswertung der Varianzanalyse (ANOVA) zur Analyse des Einflusses der Professionalität in der Anwendung auf die Präferenzstärke der Bewertung

Nr.	Aspekt	Frage	F-Wert	p-Wert	partielles Eta ²
(1)	<i>Handposition</i> <i>stromlose Benutzungsphase</i>	Q2	2,799	,074	,135
		Q3	48,584	,000**	,588
		Q7	48,584	,000**	,588
(2)	<i>Handposition</i> <i>Praktische Benutzungsphase</i>	Q2	1,537	,229	-
		Q3	3,152	,055	,135
		Q7	2,658	,085	,135
(3)	<i>Gesamtmasse / Gewichtsverteilung</i>	Q4	1,500	,237	-
		Q5	,294	,748	-
		Q8	,414	,664	-
(4)	<i>Arbeitsgeschwindigkeit</i>	Q9	,408	,668	-
		Q10	,364	,697	-

**zweiseitig signifikant mit $\alpha=0,05$

6.1.4 Diskussion

Die professionelle Benutzung eines Power-Tools ist für eine objektive Bewertung der Anwendungseignung unerlässlich²⁵⁰. Wenn also nicht professionelle Anwender die Anwendungseignung eines Power-Tools professionell bewerten sollen, müssen die Arbeitsweise und Ergebnisse vergleichbar sein. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine Minderheit der nicht professionellen Anwender ohne Einweisung in der professionellen Benutzung in der Lage ist, professionell mit einem Trockenbauschrauber zu arbeiten. Durch die Analyse der professionellen Anwendung wurden relevante Arbeitsmethoden identifiziert und Schulungsprogramme erstellt. Der Einsatz der Schulungsmethoden führte zu einer deutlichen Erhöhung der Fähigkeit zur professionellen Benutzung von

²⁵⁰ J-H Lin et al. (2007).

Trockenbauschrauben. In Abhängigkeit vom jeweiligen Schulungsaspekt kann die Wirkung der Schulung deutlich unterschiedlich ausfallen. Für den Aspekt *der richtigen Handposition* und der Evaluation der *Gesamtmasse bzw. der Gewichtsverteilung* ist ein signifikanter und mittelstarker bis starker Einfluss der Schulungsmethode auf die Arbeitsausführung erkennbar. Insbesondere Aspekte, die auf einer korrekten Arbeitshaltung beruhen, wie z.B. der richtigen Handposition oder die Bewegungssequenz zur Überprüfung der Massenverteilung, können effizient geschult werden. Arbeitsaspekte, die auf stärker automatisierten Bewegungen beruhen, welche im Normalfall durch ausgeglichenes Training erlangt werden, wie beispielsweise der Aspekt der hohen Arbeitsgeschwindigkeit, konnten durch die Schulung nicht wesentlich beeinflusst werden. Die von Malinowska-Borowska und Zieliński, sowie Oh und Radwin durchgeführten Studien, die erhebliche Unterschiede in der Kraftanstrengung zwischen erfahrenen und unerfahrenen Anwender aufwiesen, scheinen die Ergebnisse dieser Studie zu bestätigen, da der richtige Grad der Kraftanstrengung auch stark von der Intuition und dem Grad der Automatisierung der Nutzer abhängt²⁵¹. Darüber hinaus stützen Untersuchungen von Brill et al., Matthiesen und Germann und J-H Lin et al. diese Annahmen²⁵². Um die Untersuchung dieser Ergebnisse fortzusetzen, wurden die Probanden in eine Gruppe ohne Erfahrung im Umgang mit Power-Tools ($n = 13$) und eine Gruppe mit guten Erfahrungen ($n = 16$) unterteilt. Die Gruppe der erfahrenen Benutzer besteht aus Anwendern, die im normalen Testmodus des Power-Tool Testcenters am KIT arbeiten. Mit dem Pearson Chi²-Test wurde der Einfluss der Erfahrung auf die *Arbeitsgeschwindigkeit* mit dem Trockenbauschrauber analysiert. Die Ergebnisse deuten auf einen signifikanten ($\chi^2 = 6.531, p = 0.043, \phi = 0.475$) und deutlichen Einfluss der Nutzungserfahrung auf den Aspekt der *Arbeitsgeschwindigkeit* hin. Ein vorhandener Erfahrungsschatz könnte daher helfen, sich schneller mit einer professionellen Arbeitsweise vertraut zu machen. Weitere Untersuchungen sollten durchgeführt werden, um diese Annahme zu belegen.

Neben der professionellen Arbeitsweise basiert eine objektive Bewertung eines Power-Tools auch auf der Bewertung der relevanten, richtigen Kriterien. Die Kenntnis und die jeweilige Bewertung dieser Kriterien sind dabei von zentraler Bedeutung für die Produktentwicklung und können dazu genutzt werden, die Anwendungseignung für den professionellen Anwender zu erhöhen. Entspre-

²⁵¹ Malinowska-Borowska und Zieliński (2013); Oh und Radwin (1993).

²⁵² Brill et al. (2010); J-H Lin et al. (2007); Matthiesen und Germann (2018).

chend wurde der Einfluss von Schulungsmethoden auf die Bewertung relevanter Schlüsselkriterien untersucht. Ein signifikanter Einfluss auf die Prüfung der *Massenverteilung*, die *Erreichbarkeit der Bedienelemente* und nahezu auf die *Funktionalität des Magazins* konnte jeweils mit mittelstarker Wirkung nachgewiesen werden. Durch Berechnung der prozentualen relativen Häufigkeit in Abhängigkeit der Schulungsmethode konnte gezeigt werden, dass die Schulung von nicht professionellen Anwendern zu einer häufigeren Bewertung der relevanten Schlüsselkriterien bei steigendem Schulungseinsatz führt. Darüber hinaus ist die Anzahl der bewerteten allgemeinen Aspekte nicht durch die Bewertung der Schlüsselkriterien gesunken, sondern bleibt konstant. Dies deutet darauf hin, dass die Schulung von nicht professionellen Anwendern zu einer umfassenderen und detaillierteren Bewertung eines Power-Tools führt. Diese Ergebnisse könnten insbesondere bei dem Problem helfen, welches innerhalb der Anwendungsfallstudien auftrat, in denen professionelle Anwender nicht in der Lage waren, ihre professionelle Arbeitsweise und die relevanten Bewertungskriterien ausreichend genau auf Grund von Sprachproblemen und fehlender analytischer Schulung zu beurteilen. Hierbei wurde wiederholt beobachtet, dass professionelle Anwender keine differenzierte Skalenbewertung durchführten und lediglich zwischen sehr gut und sehr schlecht unterschieden, bzw. keine Unterschiede feststellen konnten. Zusätzliche Bewertungsaspekte neben den abgefragten wurden selten bis nie genannt. Durch den Einsatz von geschulten, nicht professionellen Anwendern mit analytisch geschultem Hintergrund konnten umfassendere und detailliertere Auswertungen erzielt werden. Die aufgedeckten Erkenntnisse sind aufgrund des hohen Detaillierungsgrades besonders geeignet, um Optimierungspotenziale für die Produktentwicklung von Power-Tools aufzudecken. So konnten beispielsweise Fehlfunktionen des Schraubenmagazins des Trockenbauschraubers von Keyang identifiziert werden, wobei die Nachführung der Schrauben nicht vollständig durchgeführt wurde. Weiterhin wurde die Position des Drehrichtungsgebers des Trockenbauschraubers von Keyang moniert, da dieser häufig während dem Betrieb versehentlich betätigt wurde.

Da die professionellen Anwender die Anwendungseignung der zur Verfügung gestellten Trockenbauschrauber nicht ausreichend differenziert beurteilen konnten, wurde die Präferenzstärke der Anwender für die Bewertung der Geräte in Abhängigkeit vom professionellen Einsatz der Power-Tools untersucht. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der professionelle Einsatz des Trockenbauschraubers insbesondere die Präferenzstärke für die Fragen zum Griff

des Trockenbauschraubers in der stromlosen und in der praktischen Benutzungsphase beeinflusst. Diese Ergebnisse passen zur Untersuchung von Dianat et al., innerhalb welcher signifikante Unterschiede in der Bewertung des Griffs des Power-Tools in Korrelation mit der Griffgeometrie beobachtet werden konnten²⁵³. Eine Änderung der Geometrie des Griffs durch eine falsche Griffhaltung würde daher zu veränderten Bewertungsergebnissen führen. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse mit den Untersuchungen von Duffy verglichen, innerhalb welcher signifikante Unterschiede zwischen professionellen und nicht professionellen Nutzern bezüglich des wahrgenommenen Dis-Komforts festgestellt wurden²⁵⁴. Duffy führt diese Beziehung darauf zurück, inwieweit sich der Benutzer an das verwendete Power-Tool anpasst. Eine falsche Verwendung eines Griffs würde entsprechend den wahrgenommenen Dis-Komfort und die Präferenzstärke beeinflussen. Die These, dass eine objektive Beurteilung eines Power-Tools wesentlich vom professionellen Einsatz abhängt, scheint daher für die Beurteilung des Griffs eines Trockenbauschraubers plausibel. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Präferenzstärke in Abhängigkeit von der *Gesamtmasse*, der *Massenverteilung* oder der *Arbeitsgeschwindigkeit* konnte nicht festgestellt werden. Ein Grund dafür könnte die fehlende langjährige Erfahrung im Umgang mit den Trockenbauschraubern sein, wobei dem Probanden das Kriterium für eine gute oder schlechte Spezifikation fehlt, was zu den Untersuchungen von Brill et al. und Spielholz et al. passen würde²⁵⁵. Eine mögliche Verbesserung der Schulung könnte daher in der Bereitstellung eines besonders geeigneten Gerätes im Vergleich zu einem ungeeigneten sein. Zur Untersuchung dieser Annahme sollten weitere Studien durchgeführt werden.

Für die objektive Auswertung des Schulungserfolgs, wurde beim Aufbau des Experiments darauf geachtet ein Versuchssystem zu bewerten, welches eine möglichst unabhängige Bewertung des Schulungserfolgs ohne den Einfluss von vorhandenen Erfahrungen zulässt. Da Trockenbauschrauber fast ausschließlich von Profis eingesetzt werden und der nicht professionelle Anwender daher wenig oder gar keine Vorkenntnisse in deren Anwendung hat, wurden Trockenbauschrauber als Testsystem gewählt. Aufgrund dieser besonderen Konstellation können die Ergebnisse jedoch nur bedingt auf den Einsatz anderer Power-Tools übertragen werden, wobei zwischen Power-Tools unterschied-

²⁵³ Dianat et al. (2015).

²⁵⁴ Duffy (2011).

²⁵⁵ Brill et al. (2010); Spielholz et al. (2001).

den wird, deren Gebrauch eher naheliegend ist und Geräten, welche sehr spezialisiert im Gebrauch sind. Diese Studie kann daher als ein Beispiel für eine sehr spezialisierte Anwendung, welche dem Laien nicht bekannt ist, gesehen werden. Darüber hinaus sollte der Einfluss bestehender Erfahrungen mit anderen Systemen in weiteren Studien berücksichtigt werden. Wie die ergänzende Analyse zu den bestehenden Erfahrungen mit anderen Power-Tools zeigt, verändert sich das Nutzungsverhalten der Probanden signifikant, wodurch die Aussagen verzerrt werden können. Gleichzeitig kann dieser Effekt aber auch gezielt genutzt werden, um Testpersonen viel schneller in die Lage zu versetzen, mit unbekanntem Power-Tools professionell zu arbeiten. Weitere Studien sind erforderlich, um die Effektstärke und Übertragbarkeit dieses Phänomens zu überprüfen. Um das Experiment zu optimieren, können weitere Studien mit professionellen und nicht professionellen Anwendern vollständig im Power-Tool Testcenter des KIT durchgeführt werden. Dies würde es professionellen und nicht professionellen Anwendern ermöglichen, das Versuchsgerät unter den gleichen Bedingungen zu bewerten, was die Objektivität des gesamten Versuchsaufbaus erhöhen würde.

6.1.5 Zwischenfazit zum Aufbau des Reduktionsansatzes zur Berücksichtigung der Störgröße Expertise

Die Validierung von Power-Tools erfordert eine möglichst objektive Bewertung der empfundenen Anwendungseignung, um sicherzustellen, dass das Produkt bei der Ausführung der jeweiligen Anwendung explizit zu den Bedürfnissen des Benutzers passt. Die Erfassung der Anwendungseignung eines Power-Tools sollte daher unter Laborbedingungen, in welchen relevante Anwendungen durchgeführt und Power-Tools nach wichtigen Bewertungskriterien bewertet werden können, durchgeführt werden. Durch dieses Vorgehen kann der Einfluss von Störgrößen weitestgehend vermieden werden. Um die Kenntnisse über relevante Anwendungen, Arbeitsmethoden und wichtige Bewertungskriterien zu erlangen, wurden Anwendungsfallstudien durchgeführt und Schulungsmethoden für nicht professionelle Anwender von Power-Tools entwickelt. Durch die Schulung von 39 Probanden mit unterschiedlichen Schulungsansätzen konnten Usability-Aspekte aus der Arbeitshaltung, der Bewertung und der Bildung von Präferenzen analysiert werden, die beim Aufbau von Ansätzen zur objektiven Bewertung von Power-Tools genutzt werden können. Die Untersuchungen stützen die These, dass geschulte Laienanwender in der Lage sind,

professioneller mit einem Power-Tool zu arbeiten, wenn spezifische Schulungsmethoden für Arbeitsvorgänge und der Evaluation zur Verfügung gestellt werden. Eine signifikante Steigerung der professionellen Arbeitsweise konnte bei Aspekten festgestellt werden, die sich auf die allgemeine Verwendung der Geräte beziehen, wie beispielsweise der richtigen Handposition. Dabei führt die Schulung zu einem professionelleren Einsatz und einer erhöhten Präferenzstärke in der Auswertung. Darüber hinaus führt der Einsatz analytisch geschulter Probanden zu einer wesentlich detaillierteren und spezifischeren Bewertung der Anwendungseignung der Power-Tools im Vergleich zur Bewertung durch die Fachkräfte auf der Baustelle. Durch den Einsatz von Laien, die Power-Tools professionell einsetzen und bewerten können, ist die gezielte Identifikation von Optimierungspotentialen für eine nutzerorientierte Produktentwicklung möglich. Weiterhin unterstützt die Untersuchung die Tatsache, dass die wahrgenommene Anwendungseignung eines Power-Tools wesentlich von der Berufserfahrung im Umgang mit den Power-Tools eines Anwenders abhängt. Die Benutzererfahrung definiert sich in diesem Zusammenhang aus den Kriterien der professionellen Arbeitsweise, den relevanten Schlüsselkriterien für die Bewertung und der langjährigen Berufserfahrung im Umgang mit Power-Tools.

Die durchgeführten Untersuchungen führen zu Erkenntnissen, welche zur Beantwortung folgender Forschungshypothese H2.1 genutzt werden können:

Durch geeignete Vorbereitung der Probanden bewerten nicht professionelle Anwender die Anwendungseignung eines Power-Tools bezüglich der relevanten Bewertungskriterien, der Bewertungsmethode und dem Bewertungsergebnis vergleichbar zum professionellen Anwender.

- Professionelle Anwender benutzen zur Beurteilung der Anwendungsqualität eines Power-Tools spezifische Bewertungsmethoden und führen die Bewertung anhand definierter Bewertungskriterien durch.
- Der Einsatz von Schulungsvideos kann dazu benutzt werden, nicht professionelle Laienanwender auf die professionelle Benutzung von Power-Tools vorzubereiten, damit deren Professionalität im Umgang ansteigt.
- Schulungsaspekte, welche die allgemeine Verwendung des Power-Tools näherbringen, führen zu einer signifikanten Verbesserung des professionellen Umgangs durch Laienanwender.

- Durch den Einsatz von analytisch geschulten Probanden kann die Bewertung der Anwendungsqualität eines Power-Tools deutlich detaillierter und spezifischer durchgeführt werden, was dabei unterstützen kann, neue Optimierungspotentiale aufzudecken.
- Die wahrgenommene Anwendungseignung eines Power-Tools hängt im Wesentlichen von den Kriterien der professionellen Arbeitsweise, der Kenntnis relevanter Schlüsselkriterien für die Bewertung und der langjährigen Berufserfahrung im Umgang mit Power-Tools ab.

6.2 Ansatz zur Berücksichtigung der Störgröße: Markeneinfluss

Zur Analyse des Einflusses der Marke wurde ein Experiment am Beispiel „Bewertung der Anwendungseignung von Akkuschaubern“ aufgebaut. Innerhalb der Untersuchung wurden Akkuschauber von gewerblichen Anwendern hinsichtlich der empfundenen Anwendungseignung beurteilt, wobei die Systeme in der Variation *mit original gelabelten Markennamen* und *anonymisiert, geschwärzt* den Probanden zur Bewertung vorgelegt wurden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung basieren auf den Arbeiten von Germann et al. und Kurth. Mit den experimentellen Untersuchungen wird die Forschungshypothese H2.2 analysiert.²⁵⁶

Forschungshypothese H2.2:

Durch geeignete Vorbereitung der Power-Tools bewerten Probanden Power-Tools unterschiedlicher Markenhersteller bezüglich der Kaufentscheidung, der technischen Funktionalität und der Anwendungseignung unabhängig vom Markeneinfluss

6.2.1 Motivation und Zielsetzung

Wie im Stand der Forschung erarbeitet, hat der Markenname eines Power-Tools einen signifikanten Einfluss auf die empfundene Anwendungsqualität, welche vom Anwender subjektiv wahrgenommen wird. Je nach bestehenden

²⁵⁶ Germann et al. (2018); Kurth (2018). Unveröffentlichte Masterarbeit.

Erfahrungen und Expertise in der Produktbenutzung, können Bewertungen stark beeinflusst und objektive Aussage zur Produktqualität nicht erfasst werden. Identifizierte Usability-Aspekte werden dabei von den Einflüssen der Marke überlagert, was dazu führt, dass aus den erfassten Bewertungen der empfundenen Anwendungseignung Entwicklungsziele definiert werden, welche nicht optimal zu den tatsächlich benötigten Anforderungen passen²⁵⁷. Infolgedessen können Produkte nicht optimal für den Anwender entwickelt werden und die wahrgenommene Anwendungsqualität sinkt²⁵⁸. Um diesem Problem zu begegnen, befasst sich dieses Kapitel mit der Entwicklung von Ansätzen zur Reduzierung des Einflusses der Störgröße der Marke auf die Bewertung der empfundenen Anwendungseignung. Der Ansatz wird am Beispiel der Bewertung der wahrgenommenen Anwendungsqualität von Akkuschaubern entwickelt. Mit den Ergebnissen können neue Ansätze für eine beeinflussungsreduzierte Produktbewertung identifiziert werden, welche für die nutzerzentrierte Produktentwicklung genutzt werden können. Motiviert durch die Ansätze von Hoch und Ha und Kujala und Miron-Shatz, welche postulieren, dass eine Reduzierung des Markeneinflusses mit einer aktiven Nutzung des Systems verbunden ist, werden innerhalb dieser experimentellen Studie die folgenden Forschungsfragen analysiert:²⁵⁹

- In welchem Ausmaß beeinflusst der Markenname die wahrgenommene Anwendungsqualität bei der Bewertung von Akkuschaubern?
- Reduziert der praktische Einsatz eines Akkuschaubers in realitätsnahen Anwendungen den Markeneinfluss in Bezug auf die Bewertung der wahrgenommenen Anwendungsqualität?
- Ist es möglich, die wahrgenommene Anwendungsqualität eines Akkuschaubers ohne den Einfluss der Marke durch Schwärzen des Power-Tools zu bewerten (Blindtest Studie)?
- Führt die Bereitstellung relevanter Bewertungskriterien in Verbindung mit der Möglichkeit des praktischen Einsatzes eines Akkuschaubers zu einer erhöhten Präzision in der Bewertung?

Im Rahmen des Experiments wurden 50 Probanden (Handwerker und ambitionierte Heimwerker (DIY-Kunden)) in einem Baumarkt befragt und dabei meh-

²⁵⁷ Vedder und Carey (2005).

²⁵⁸ Spielholz et al. (2001).

²⁵⁹ Hoch und Ha (1986); Kujala und Miron-Shatz (2015).

rere Anwendungen mit drei verschiedenen 10,8 Volt Akkuschaubern durchgeführt. Für die Durchführung der Anwendungstests wurde ein Prüfstand entwickelt, der es den Probanden ermöglicht, praktische Erfahrungen mit den Power-Tools zu sammeln. Die Hersteller der Geräte wurden so gewählt, dass eine der Marken über eine sehr hohe Bekanntheit verfügt, eine mit mittlerer Bekanntheit und eine mit kaum vorhandener Bekanntheit. Sämtliche Akkuschauber, die im Experiment eingesetzt wurden, sind für den professionellen Anwender konzipiert. Die Probandengruppe wurde in zwei gleich große Gruppen (25/25) aufgeteilt, die gebeten wurden, die Anwendungsqualität der Akkuschauber basierend auf ihren ersten spontanen Eindruck und nach der Möglichkeit der praktischen Anwendung zu bewerten. Dabei führte die erste Gruppe das Experiment mit den original gelabelten Power-Tools durch, während die zweite Gruppe einen Blindtest mit anonymisierten Power-Tools durchführte. Um den Markeneinfluss auf die Bewertung der wahrgenommenen Anwendungsqualität und den Einfluss der praktischen Anwendung auf diesen zu analysieren, werden die gesammelten Daten mittels eines Mann Whitney-U Tests und eines Wilcoxon Tests statistisch untersucht. Darüber hinaus wurde ein gepaarter Stichproben T-Test verwendet, um den Einfluss der praktischen Anwendung auf die Genauigkeit der Bewertungsergebnisse zu analysieren.

6.2.2 Versuchsumgebung und Methodenaufbau

6.2.2.1 Aufbau des Experiments

Für die Durchführung des Experiments wurden Akkuschauber von drei verschiedenen Herstellern ausgewählt. Hierbei wurden Power-Tools der Marken BOSCH Professional, Hitachi und J.C. Schwarz benutzt. Die Auswahl der Werkzeuge erfolgte nach ihrer potenziellen Beliebtheit beim Anwender auf Basis der Ergebnisse der Marktforschungsstudie der Konzept & Markt GmbH, sowie der Verfügbarkeit im Baumarkt, in dem das Experiment durchgeführt wurde. Tabelle 19 zeigt die Ergebnisse der Studie, in der 1200 Handwerker nach dem Bekanntheitsgrad verschiedener Herstellermarken, sowie der jeweiligen Sympathie und der persönlichen Einsatzhäufigkeit von Power-Tools dieser Marken gefragt wurden²⁶⁰. Die Ergebnisse der Studie werden genutzt, um die für die Studie ausgewählten Power-Tools hinsichtlich der Beliebtheit und dem potentiellen Einfluss der Marke einzuordnen. Power-Tools von BOSCH erzielten dabei

²⁶⁰ Konzept & Markt GmbH (2017).

in allen drei Befragungskategorien die höchsten Werte hinsichtlich der Bekanntheit, Sympathie und Einsatzhäufigkeit. Leider wurde die Marke Hitachi in der Studie nicht bewertet, basierend auf der Erfahrung des Autors wird aber davon ausgegangen, dass die Befragungsergebnisse etwa auf dem Niveau von Matabo und Makita liegen müssten.

Tabelle 19: Von Anwendern wahrgenommene Bekanntheit, Sympathie und Einsatzqualität hinsichtlich unterschiedliche Hersteller von Power-Tools²⁶¹

Hersteller	Bekanntheit	Sympathie	Einsatz
Bosch	86%	60%	70%
Hilti	84%	63%	55%
Makita	78%	55%	56%
Metabo	76%	43%	42%
Festool	52%	29%	24%
Fein	50%	28%	24%
Mafell	22%	11%	8%
Rodcraft	12%	6%	3%

Zur Durchführung des Experiments wurde der Akkuschauber *GSR 10.8-2-LI von BOSCH Professional* als potenziell bekanntestes Power-Tool in der Studie aufgenommen. Von Hitachi wurde der *DS 10 DAL* als durchschnittlich bekannte Marke ausgewählt. Als unbekannte Marke wurde der Akkuschauber von J.C. Schwarz *JAS 10.8* verwendet, der zur Hausmarke des Baumarktes gehört. Aufgrund der Neueinführung der Marke im Mai 2017 ist die Marke J.C. Schwarz zum Zeitpunkt der durchgeführten Studie weitgehend unbekannt. Jeder der verwendeten Akkuschauber wird von einem 10,8V Elektromotor angetrieben und wird für den professionellen Anwender hergestellt und beworben. Alle Geräte sind auf hohe Kundenanforderungen ausgelegt und liegen im vergleichbaren Preissegment (~100,00€). Gewicht und Ausstattung der Geräte sind gleichwertig (950g - 1000g). Ein Schnellspannbohrfutter (Ø10mm), ein Drehmomentvorwählring, ein Gangwahlschalter, ein Schalter zur Wahl der Drehrichtung und eine LED-Lampe zur Beleuchtung der Arbeitsfläche werden von allen Geräten gleichermaßen bereitgestellt. Die Akkuschauber von BOSCH und J.C. Schwarz haben einen integrierten Akkupack im Pistolengriff, während der

²⁶¹ Konzept & Markt GmbH (2017).

Hitachi einen externen Akkupack an der Unterseite des Griffs hat. Außerdem sind die Geräte von BOSCH und J.C. Schwarz mit einer Ladekontroll-LED ausgestattet, die bei Hitachi fehlt. Die drei Akkuschauber, die während des Experiments verwendet wurden, sind in Abbildung 31 zu sehen.



Abbildung 31: Eingesetzte Akkuschauber in original gelabelter und anonymisierter Form²⁶²

Akkuboehrschauber dieser Leistungsklasse werden hauptsächlich zur Befestigung von Schrauben und zum Bohren in aufrechter, gebückter oder über Kopf Haltung in Materialien wie Holz, Metall, Keramik (beispielsweise Fliesen auf Mauerwerk) oder Kunststoff eingesetzt. Der maximale Bohrdurchmesser für Stahl beträgt bis zu \varnothing 10 mm, für Holz bis zu \varnothing 15 mm. Um das Experiment in einem Baumarkt durchführen zu können, wurde ein Prüfstand entwickelt. Der Prüfstand wurde so konzipiert, dass Probanden die Möglichkeit haben, die Ak-

²⁶² Germann et al. (2018).

kuschrauben unter realen Bedingungen in verschiedenen relevanten Anwendungen einzusetzen, die aus früheren Studien von Matthiesen und Germann ausgewählt wurden²⁶³.

Drei als relevant identifizierte Anwendung wurden ausgewählt, um auf dem Prüfstand abgebildet zu werden:

- Einschrauben von Holzschrauben mit Durchmesser $\varnothing 5 \times 50 \text{ mm} / \varnothing 6 \times 80 \text{ mm}$ in Fichte Kreuzrahmen ($80 \times 100 \times 1000 \text{ mm}$) in aufrechter und vorn übergebeugter Haltung
- Bohren von Flachstahl ($d = 10 \text{ mm}$, (S235)) mit $\varnothing 4 - 10 \text{ mm}$ HSS Bohrer in vorn übergebeugter Haltung
- Bohren von Fichte Kreuzrahmen ($80 \times 100 \times 1000 \text{ mm}$) mit $\varnothing 6 - 15 \text{ mm}$ Holzbohrer in aufrechter oder vorn übergebeugter Haltung

Aus Aluminiumnutprofilen wurde eine Tischkonstruktion aufgebaut, an welcher die horizontale Befestigung von Holzbalken auf Schulter- und Hüfthöhe ermöglicht wird. Zusätzlich wurde eine 10 mm dicke Stahlplatte in die Grundplatte des Prüfstandes integriert, um die Durchführung von Stahlbohranwendungen zu ermöglichen. Der Aufbau des Prüfstandes im Baumarkt ist in Abbildung 32 dargestellt.

²⁶³ Matthiesen und Germann (2018).



Abbildung 32: Aufbau des Prüfstandes innerhalb des Baumarkts²⁶⁴

6.2.2.2 Versuchsteilnehmer

Die Studie wurde an vier Tagen in einem Baumarkt innerhalb von zwei Wochen durchgeführt (erste Woche: Dienstag und Samstag; zweite Woche: Freitag und Samstag). Als Versuchsteilnehmer dienten Kunden aus dem Tagesgeschäft des Baumarkts, welche auf freiwilliger Basis für das Experiment angeworben wurden. An dem Experiment nahmen 48 Männer und 2 Frauen teil. 10 % der Teilnehmer waren zwischen 18 und 25 Jahren alt, 24 % zwischen 26 und 40 Jahren, 50 % zwischen 41 und 60 Jahren und 16 % zwischen 61 und 80 Jahren. Bei der Rekrutierung der Teilnehmer lag der Schwerpunkt der Auswahl auf aktiven oder pensionierten gewerblichen Handwerkern. Potenzielle Teilnehmer wurden vor dem Studienbeginn hinsichtlich ihrer Erfahrungen im Umgang mit Akkuschraubern befragt. 22 % der Teilnehmer gaben an, täglich Akkuschrauber zu verwenden, 38 % gaben an, sie wöchentlich, 36 % monatlich und 4 %

²⁶⁴ Germann et al. (2018).

jährlich zu verwenden. Wenn ein Proband über zu wenig Erfahrung in der Anwendung verfügte (beispielweise die Funktionsweise der Drehmomenteinstellung nicht kannte), wurden die Probanden von der Studie ausgeschlossen. Die Versuchsdurchführung zur Bewertung der Anwendungsqualität der Akkuschauber dauerte zwischen 15-20 Minuten pro Proband.

6.2.2.3 Versuchsplanung und Durchführung

Die Probanden wurden in zwei Gruppen mit jeweils 25 Teilnehmern aufgeteilt. In der ersten Gruppe wurde mit den original gelabelten Power-Tools gearbeitet, die andere Gruppe führte einen Blindtest mit anonymisierten, geschwärzten Akkuschaubern durch. Der Blindtest wurde innerhalb der ersten Woche der Studie durchgeführt, der Test mit den Originalgeräten innerhalb der zweiten. Das Experiment selbst wurde in zwei verschiedene Phasen gegliedert:

- (1) Keine Benutzung der Akkuschauber im praktischen Einsatz mit nur optischer und haptischer Auswertung und Leerlaufprüfung, im Folgenden als *initiale Testphase* bezeichnet.
- (2) Praktischer Einsatz der Geräte in realitätsnahen Anwendungsfällen auf dem Prüfstand. Freie Wahl der Werkzeuge und Werkstücke. Im Folgenden als *praktische Testphase* bezeichnet.

Zu Beginn des Experiments wurde den Probanden das Versuchsszenario wie folgt vorgestellt:

"Sie benötigen einen neuen Akkuschauber für Ihre gewerbliche Tätigkeit. Wir möchten Sie bitten, die drei vor Ihnen liegenden Geräte hinsichtlich der Ihnen vorgelegten Kriterien zu bewerten. Alle drei Geräte sind 10,8 V Akkuschauber in der gleichen Preisklasse. Alle drei Geräte werden von den jeweiligen Herstellern als Power-Tools für den professionellen Einsatz verkauft."

Zu Beginn der initialen Testphase wurden die Probanden gebeten, spontan die wahrgenommene Anwendungsqualität (Tabelle 20, Q0) der drei Akkuschauber auf einer 13-stufigen semantischen Differentialskala (SD) mit Hilfe des deutschen Schulnotensystems von sehr gut / Note 1 bis mangelhaft / Note 5 (1, 1-, 2+, 2, 2-, 2-, 3+ 3, 3-, 4-, 4+, 4-, 5+, 5) zu bewerten. Die Skala wurde gewählt, um die Bewertung für die Probanden intuitiver zu gestalten, da innerhalb von Vorstudien Probleme bei den Probanden mit gängigen Standardsystemen festgestellt wurden. Die initiale Testphase war so aufgebaut, dass die Probanden

die Akkuschauber wie in einem typischen Baumarkt verwenden konnten (im Leerlauf testen, Haptik und Gewicht spüren, etc.), aber diese nicht auf dem Prüfstand einsetzen durften. Die Reihenfolge in welcher die Akkuschauber bewertet wurden, konnte frei gewählt werden (randomisiert) und es wurde keine zeitliche Begrenzung festgelegt. Nach Abschluss der Durchführung der spontanen Bewertung der Anwendungsqualität in der initialen Testphase wurde die initiale Testphase beendet und die praktische Testphase eingeleitet. Jedem Probanden wurden drei Fragebögen ausgehändigt, einer für jeden Akkuschauber. Mit Hilfe der Fragebögen wurden neun Fragen bewertet, welche in Tabelle 20 dargestellt sind, der vollständige Fragebogen kann unter Anhang C eingesehen werden.

Tabelle 20: Vorgelegter Fragebogen während der Testphase

Initiale Testphase:		
Q0	Bewerten Sie die Anwendungsqualität der Geräte spontan anhand von Schulnoten	12 pkt. SD
Praktische Testphase		
Q1	Ich denke, dass das Gerät gut in der Hand liegt	5 pkt. LS
Q2	Ich kann sämtliche Bedienelemente erreichen	5 pkt. LS
Q3	Ich denke, dass das Gerät hochwertig verarbeitet ist	5 pkt. LS
Q4	Ich kann das Bohrfutter leicht bedienen und den Werkzeugwechsel ohne Probleme durchführen	5 pkt. LS
Q5	Ich kann die Drehmomenten Einstellung gut bedienen	5 pkt. LS
Q6	Ich kann den Gangwechsel ohne Probleme durchführen	5 pkt. LS
Q7	Ich finde die Performance des Geräts gut	5 pkt. LS
Q8	Die Gesamtmasse des Geräts ist...	5 pkt. SD
Q9	Bewerten Sie die Anwendungsqualität der Geräte abschließend anhand von Schulnoten	12 pkt. SD

Die Bewertung von Q1 bis Q7 erfolgte auf einer zustimmungsbasierten fünfstufigen Likert-Skala (LS) von *Ich stimme gar nicht zu* bis *Ich stimme vollständig zu*. Frage Q8 wird auf einer 5-stufigen semantischen Differentialskala (SD) von *viel zu niedrig* bis *viel zu hoch* bewertet. Zum Abschluss des Experiments wurden die Probanden erneut gebeten, die wahrgenommene Anwendungsqualität der Akkuschauber auf einer 13-stufigen Notenskala zu bewerten. Während der

Beantwortung des Fragebogens in der praktischen Testphase wurden die Probanden ermutigt, die Akkuschauber auf dem Prüfstand in den unterschiedlichen Anwendungen zu verwenden. Den Teilnehmern wurde weder eine Reihenfolge noch eine zeitliche Begrenzung vorgegeben. Abgeleitet aus den Erkenntnissen von Germann et al. (2019), wurde den Probanden durch die Fragen Q1 - Q8 relevante Bewertungskriterien vorgegeben, um eine objektivere Bewertung der Anwendungsqualität zu erzielen. Darüber hinaus wurden die Fragen dazu genutzt, die Probanden zur praktischen Benutzung der Akkuschauber in den verschiedenen Anwendungen auf dem Prüfstand zu animieren. Der Aufbau der Fragen aus dem Fragebogen orientiert sich am Aufbau früherer Studien von Kuijt-Evers et al. und (2018)²⁶⁵. Darüber hinaus wurde eine Vorstudie mit neun Probanden im Power-Tool Testcenter des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) durchgeführt. Die Reliabilität des Versuchs wurde durch Anwendung der Test-Retest Methode sichergestellt. Dabei wurde jeder Proband aus der Vorstudie mit dem Fragebogen konfrontiert und nach dem Verständnis jedes Items gefragt. In Abhängigkeit des erreichten Verständnisses wurde die Formulierung der Fragen so lange angepasst, bis ein eindeutiges Verständnis bei den Probanden vorlag²⁶⁶. Zur Auswertung des Experiments wurden lediglich die Bewertungen der wahrgenommenen Anwendungsqualität aus der initialen Testphase (Q0) und aus der praktischen Testphase (Q9) verwendet.

Vor Durchführung jedes Versuchsdurchlaufs wurde jeder Akkuschauber vollständig aufgeladen, um einen vergleichbaren Akkuladestatus zu gewährleisten. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 33 dargestellt.

²⁶⁵ Kuijt-Evers et al. (2005); Matthiesen und Germann (2018).

²⁶⁶ Berekoven et al. (2009).



Abbildung 33: Experimentaler Versuchsaufbau zur Beurteilung der Anwendungsqualität von original gelabelten Akkuschraubern²⁶⁷

Während der praktischen Testphase konnten die Probanden verschiedene Holzschrauben in die Holzbalken ein- und ausschrauben. Des Weiteren konnten neben normalen Holzbohrern mit $\varnothing 6 \text{ mm}$ bis $\varnothing 15 \text{ mm}$ auch Forstnerbohrer mit $\varnothing 25 \text{ mm}$ eingesetzt werden, wobei die Geräte im Überlastbereich betrieben wurden. Zusätzlich konnten die Probanden Stahlbohrer mit $\varnothing 4 \text{ mm}$ oder $\varnothing 8 \text{ mm}$ verwenden. Jeder Teilnehmer konnte die Einsatzdauer der Akkuschauber frei wählen, wurde aber ermutigt, sie lange genug zu verwenden, um sich einen guten Eindruck von ihrer Anwendungsqualität zu verschaffen.

6.2.2.4 Analyse der Versuchsdaten

Sämtliche statistischen Analysen wurden mit SPSS v. 24 durchgeführt.

²⁶⁷ Germann et al. (2018).

Einfluss der Marke auf die Bewertung der Anwendungsqualität:

Für eine eindeutige Beurteilung des Markeneinflusses auf die Bewertung der Anwendungsqualität wurden die beiden Gruppen der original gelabelten und anonymisierten Akkuschauber analysiert. Die mittleren Bewertungen der wahrgenommenen Anwendungsqualität bezüglich der spontan bewerteten Power-Tools in der initialen Testphase und der Bewertung der praktischen Testphase der Power-Tools wurden hierbei berechnet (Q0 und Q9). Mit Hilfe des Mann-Whitney U-Tests werden Unterschiede zwischen den mittleren Bewertungen der original gelabelten und der anonymisierten Geräte in der initialen und der praktischen Testphase entsprechend Tabelle 21 untersucht. Auf Basis der Ergebnisse können Rückschlüsse auf die Einflussstärke der Marke auf die Bewertung der wahrgenommenen Anwendungsqualität von Akkuschaubern gezogen werden.

Tabelle 21: Versuchsvariablen zur Analyse des Markeneinflusses in der initialen und der praktischen Testphase

Testform	Abhängige Var.	Unabhängige Var.
Mann-Whitney-U-Test	Mittlere Bewertung von Q0	Sichtbarkeit der Marke (anonymisiert / original gelabelt)
Mann-Whitney-U-Test	Mittlere Bewertung von Q9	Sichtbarkeit der Marke (anonymisiert / original gelabelt)

Analyse des Markeneinflusses in Abhängigkeit der praktischen Benutzung der Power-Tools:

Um den Einfluss der praktischen Benutzung durch den Anwender hinsichtlich eines Effekts auf die durch die Marke beeinflusste Bewertung der Anwendungsqualität zu analysieren, werden die Bewertungsergebnisse aus der initialen Testphase mit denen aus der praktischen Testphase verglichen. Dabei wird die durchschnittliche Bewertung der wahrgenommenen Anwendungsqualität vor und nach der Nutzung für jedes der original gelabelten und anonymisierten Power-Tools verglichen. Im Fokus der Untersuchung steht hierbei die These, dass der praktische Einsatz des Akkuschaubers den Einfluss der Marke auf die Gesamtbewertung der wahrgenommenen Anwendungsqualität verringert. Es wird daher erwartet, dass die Bewertungsergebnisse der original gelabelten Geräte nach der praktischen Testphase sich den Bewertungsergebnissen der

geschwärzten Geräte annähern. Um die Standardabweichungen und Varianzen der Bewertungen zu analysieren, werden neben den Medianen der Bewertungsergebnisse auch deren Streubreite innerhalb von Boxplots dargestellt. Darüber hinaus wurden die absoluten Bewertungsabstände zwischen den Akkuschaubern von J.C. Schwarz, BOSCH und Hitachi hinsichtlich der beiden Einsatzphasen analysiert. Es werden hierzu in beiden Testphasen für die originalen und die anonymisierten Geräte die Differenzen zwischen den mittleren Bewertungen unter den drei Marken berechnet. Dieses Verfahren ermöglicht es, den subjektiv wahrgenommenen Unterschied zwischen den Marken unabhängig von einer konkreten Punktbewertung zu analysieren. Die einzelnen Differenzen werden gemittelt und die Unterschiede zwischen der initialen und praktischen Testphase verglichen, indem ein *signed Rank Test* nach Wilcoxon durchgeführt wird und die Differenzen auf statistische Signifikanz und Effektstärke hin überprüft werden. Um zu analysieren, ob sich der praktische Einsatz auf die Präzision der Bewertung auswirkt, wurden des Weiteren die Streubreiten der anonymisierten und original gelabelten Geräte analysiert, wobei ein gepaarter Stichproben T-Test verwendet wird. Zur Übersicht der durchgeführten statistischen Untersuchung, gibt Tabelle 24 einen Überblick.

Tabelle 22: Versuchsvariablen zur Analyse des Einflusses der praktischen Benutzung auf den Markeneinfluss

Testform	Abhängige Var.	Unabhängige Var.
Signed Rank Test nach Wilcoxon	Bewertungsdifferenzen zwischen den Geräten	Bewertungszeitpunkt (spontan / nach praktischer Anwendung)
Gepaarter Stichproben T-Test	Streubreite der Bewertungen	Bewertungszeitpunkt (spontan / nach praktischer Anwendung)

6.2.3 Ergebnisse

6.2.3.1 Einfluss der Marke auf die wahrgenommene Anwendungsqualität

Die Ergebnisse des Mann-Whitney U-Test in Tabelle 23 lassen Unterschiede zwischen den Bewertungen (Bw) der original gelabelten und der anonymisierten Power-Tools erkennen. Dies gilt sowohl für die Bewertungen der initialen als auch für die der praktischen Testphase.

Tabelle 23: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests für den Unterschied zwischen anonymisierten und original gelabelten Akkuschaubern

Frage	Original gelabeled		Anonymisiert		U-Test	
	Bw.	s	Bw.	s	Z	p-Wert
$Q0_B$	9,72	2,26	6,92	2,91	-3,482	,000**
$Q0_H$	8,60	2,06	7,52	2,87	-1,234	,217
$Q0_{JC}$	7,00	2,58	8,56	1,94	-2,183	,029**
$Q9_B$	9,88	1,54	8,28	2,11	-2,675	,007**
$Q9_H$	8,04	2,44	7,8	2,45	-0,460	,646
$Q9_{JC}$	8,00	1,92	8,96	1,70	-1,936	,053

**zweiseitig signifikant mit $\alpha=0,05$

Der original gelabelte Akkuschauber der Marke BOSCH wurde im Vergleich zum anonymisierten Gerät besser bewertet ($Bw_{Q0B_Org} = 9,72$ / $Bw_{Q0B_anonym} = 6,92$; $Bw_{Q9B_Org} = 9,88$ / $Bw_{Q9B_anonym} = 8,28$). Die Annahme, dass kein signifikanter Einfluss der Marke auf die Bewertung der wahrgenommenen Anwendungsqualität vorliegt, kann mit einem Signifikanzwert von $p < 0,001$ und einem starken Effekt ($r = 0,492$) ($Q0_B$, vor Gebrauch) bzw. $p = 0,007$ mit einem mittleren Effekt ($r = 0,378$) ($Q9_B$, nach Gebrauch) abgelehnt werden. Im Gegensatz dazu wurde das original gelabelte Gerät von J.C. Schwarz schlechter als das anonymisierte bewertet ($Bw_{Q0JC_Org} = 7,00$ / $Bw_{Q0JC_anonym} = 8,56$; $Bw_{Q9JC_Org} = 8,00$ / $Bw_{Q9JC_anonym} = 8,96$). Es konnte ein signifikanter Unterschied für die spontane ($p = 0,029$, $r = -0,309$) Bewertung $Q0_{JC}$ mit einem mittelstarken Effekt und ein nahezu signifikanter Unterschied für die Bewertung nach der praktischen Testphase $Q9_{JC}$ ($p = 0,053$, $r = -0,274$) festgestellt werden, was für die Ablehnung der Hypothese, dass der Markeneinfluss keinen Effekt auf die Bewertung der wahrgenommenen Anwendungsqualität hat, spricht. Weder vor ($Q0_H$) noch nach ($Q9_H$) der praktischen Verwendung konnte ein signifikanter Unterschied in der Bewertung zwischen dem original gelabelten Hitachi und dem anonymisierten Gerät festgestellt werden.

6.2.3.2 Effekt der praktischen Benutzung auf die Bewertung der Anwendungsqualität

Die Ergebnisse für die Bewertung der original gelabelten und anonymisierten Akkuschauber in Abhängigkeit vom praktischen Einsatz sind in Abbildung 34 einschließlich der Fehlerbalken der Standardabweichung dargestellt.

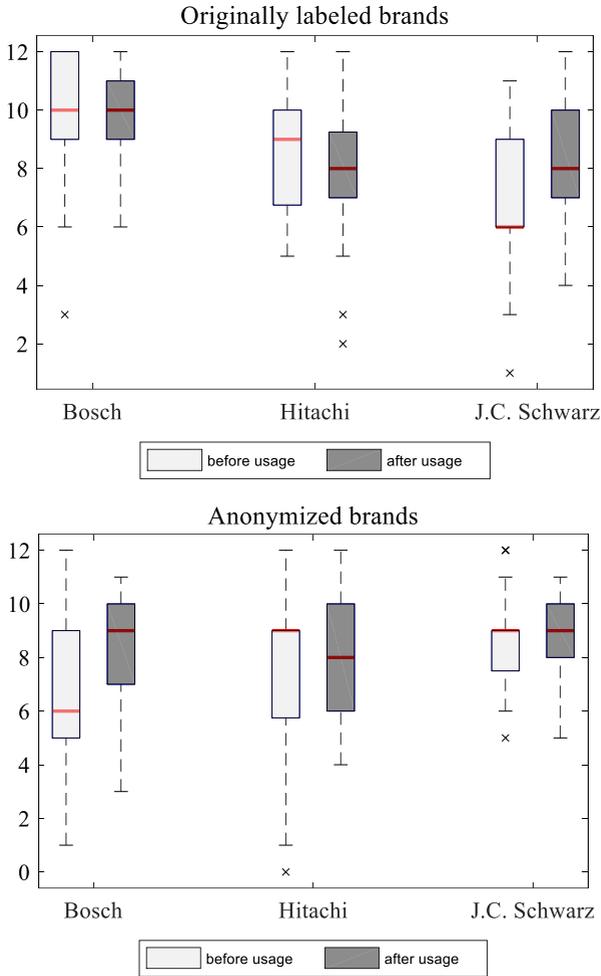


Abbildung 34: Ergebnisse für die Bewertung der Anwendungsqualität der Akkuschauber für die initiale und praktische Testphase²⁶⁸

²⁶⁸ Germann et al. (2018).

Die Standardabweichung für die anonymisierten Akkuschauber ist größer als die Abweichung der original gelabelten Akkuschauber. Tendenziell fällt auf, dass die Standardabweichungen nach der praktischen Benutzung eher geringer sind.

Auf Grund der Ergebnisse des Shapiro-Wilk-Tests kann davon ausgegangen werden, dass die Hypothese, dass für die Bewertungsergebnisse keine Normalverteilung zu erwarten ist, nach dem praktischen Einsatz nicht mehr abgelehnt werden (Tabelle 24).

Tabelle 24: Shapiro-Wilk Test zur Analyse der Standardabweichung auf Normalverteilung

	Original gelabelt			Anonymisiert		
	Statistik	df	Sig.	Statistik	df	Sig.
$Q0_B$,849	25	,002	,935	25	,113
$Q0_H$,926	25	,070	,940	25	,148
$Q0_{JC}$,945	25	,194	,876	25	,006
$Q9_B$,921	25	,055	,919	25	,048
$Q9_H$,939	25	,140	,943	25	,177
$Q9_{JC}$,956	25	,348	,897	25	,016

Dies gilt insbesondere für die Tests mit den original gelabelten Geräten, wobei der Signifikanzwert nach dem Gebrauch in fast allen Fällen ansteigt. Mit dem signed rank Test nach Wilcoxon wurde die Veränderung des Bewertungsabstandes zwischen der Marke J.C. Schwarz und den beiden bekannteren Marken von BOSCH ($diff_{(J.C./B)}$) und Hitachi ($diff_{(J.C./H)}$) sowie die Differenz von Bosch und Hitachi ($diff_{(B./H)}$) zwischen der Bewertung während der initialen Testphase und der praktischen Testphase analysiert. Darüber hinaus wurde der Test für die original gelabelten und die anonymisierten Geräte durchgeführt. Der Wilcoxon-Test zeigt sowohl eine signifikante Veränderung des Bewertungsabstandes bei Bewertung der Originalgeräte ($diff_{(J.C./B)}$: $p = 0,044$, $r = -0,343$; $diff_{(J.C./H)}$: $p = 0,002$, $r = -0,599$), als auch für die anonymisierten Geräte ($diff_{(B./H)}$: $p = 0,032$, $r = 0,369$). Für die original gelabelten Akkuschauber unterscheiden sich die Bewertungsabstände der wahrgenommenen Anwendungsqualität der Marke J.C. Schwarz zwischen der ersten und zweiten Testphase im Vergleich zu den anderen Geräten deutlich. Die Bewertungsabstände der anonymisierten Geräte unterscheiden sich deutlich weniger, wobei ein signifikanter Zusammenhang lediglich für den Bewertungsabstand zwischen dem

J.C. Schwarz und dem Hitachi gefunden werden kann. Sämtliche Ergebnisse des Wilcoxon-Tests sind in Tabelle 25 abgebildet.

Tabelle 25: Ergebnisse des Wilcoxon signed rank Test für die Bewertungsdifferenzen der Akkuschauber zwischen der initialen und praktischen Testphase

Frage	Bw.	Z	p-Wert
Original gelabelt			
$Q9_{diff}(J.C./B)$ vs. $Q0_{diff}(J.C./B)$	-,84	-1,713	,044*
$Q9_{diff}(J.C./H)$ vs. $Q0_{diff}(J.C./H)$	-1,56	-2,993	,002*
$Q9_{diff}(B/H)$ vs. $Q0_{diff}(B/H)$,72	-1,385	,166
Anonymisiert			
$Q9_{diff}(J.C./B)$ vs. $Q0_{diff}(J.C./B)$	-,96	-1,377	,085
$Q9_{diff}(J.C./H)$ vs. $Q0_{diff}(J.C./H)$	-,12	-,572	,284
$Q9_{diff}(B/H)$ vs. $Q0_{diff}(B/H)$	1,08	-1,847	,032*

* einseitig signifikant mit $\alpha=0,05$

Um den Einfluss der praktischen Benutzung auf die Veränderung der Bewertungspräzision zu untersuchen, wurde die Standard-Abweichung der Bewertung der anonymisierten und original gelabelten Geräte zu den beiden Testphasen berechnet (Tabelle 26).

Tabelle 26: Veränderung der Standard-Abweichung durch den praktischen Einsatz

		Standard-Abweichung	
Marke		Initiale Testphase	Praktische Testphase
		Q0	Q9
<i>Anonym</i>	<i>Bosch</i>	2,91	2,11
	<i>Hitachi</i>	2,87	2,45
	<i>J.C. Schwarz</i>	1,94	1,70
<i>Original</i>	<i>Bosch</i>	2,26	1,54
	<i>Hitachi</i>	2,06	2,44
	<i>J.C. Schwarz</i>	2,25	1,92

Die Ergebnisse zeigen, dass in fünf von sechs Fällen die Standardabweichung durch die praktische Benutzung der Geräte geringer wird. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde mit Hilfe eines gepaarten T-Tests die Hypothese geprüft, dass durch die praktische Benutzung der Akkuschauber in relevanten Anwendungen die Präzision der Bewertung ansteigt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung können Tabelle 27 entnommen werden, im Datensatz befanden sich keine Ausreißer.

Tabelle 27: Untersuchung des reduzierenden Einflusses der praktischen Benutzung auf die Präzision der Bewertung

Frage	Bw.	s	t	d _r	Sig.	Cohen d _z
Q0-Q9	,36	,42	2,08	5	,046*	0,86

*einseitig signifikant mit $\alpha=0,05$

Die Ergebnisse des gepaarten T-Test zeigen, dass sich durch die praktische Benutzung der Akkuschauber die Präzision der Bewertungen signifikant verbessert, wobei sich die Veränderung mit einem sehr starken Effekt auf die Ergebnisse auswirkt ($p = 0,046$, $Cohen\ d_z = 0,86$).

6.2.4 Diskussion

Ziel der durchgeführten experimentellen Studie war es, Ansätze zu erforschen, mit Hilfe derer die Identifizierung von Entwicklungszielen unabhängig vom Einfluss der Störgröße des Markeneinflusses erfolgen kann, um anwenderoptimierte Power-Tools zu entwickeln. Daher wurde der Einfluss der Störgröße des Markeneinflusses auf die Produktbewertung am Beispiel von Akkuschaubern untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass es einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Bekanntheitsgrad einer Marke und der wahrgenommenen Anwendungsqualität eines Akkuschaubers gibt. Wie erwartet, verleitet der sehr bekannte Markenname BOSCH Professionals die meisten Probanden dazu, die Anwendungsqualität der Akkuschauber außerordentlich hoch zu bewerten, selbst wenn keine genaue Analyse der Qualität durchgeführt oder diese in der Verwendung beurteilt wurde. Im Gegensatz dazu wurde der meist unbekannte Akkuschauber von J.C. Schwarz von den Teilnehmern teilweise ignoriert oder eine Benutzung nicht für nötig erachtet und schlechter bewertet. Die Marke Hitachi war den Probanden weitestgehend bekannt, führte aber größtenteils nicht zu dem teilweise extremen positiv unterstützenden oder ablehnenden Verhalten der Probanden während der Auswertung. Die Analyse der Bewertung

vor der tatsächlichen Nutzung unterstützt diese Annahme und kann eine signifikante und starke Korrelation zwischen dem Markennamen BOSCH und dem Einfluss auf die Bewertung der Anwendungsqualität nachweisen, wobei der unbekannte Akkuschauber von J.C. Schwarz signifikant schlechter bewertet wird, was anhand der Daten mit einem mittelstarken Effekt auf den Markennamen zurückgeführt werden kann. Eine signifikante Beeinflussung der wahrgenommenen Anwendungsqualität durch den Markennamen von Hitachi konnte nicht nachgewiesen werden. Dies spricht dafür, dass mit zunehmender Markenbekanntheit der positive Einfluss auf die wahrgenommene Anwendungsqualität zunimmt, selbst wenn die Anwendungsqualität objektiv betrachtet nicht besser ist als die von anderen Herstellern. Diese Erkenntnisse passen zu den Untersuchungen von Kuijt-Evers et al. und bestätigen die Vermutung, dass ein professionelles Aussehen oder in diesem Fall das positive, professionelle Image einer Marke, den erwarteten Komfort eines Handwerkzeugs (welcher einen großen Einfluss auf die wahrgenommene Anwendungseignung hat) signifikant beeinflusst²⁶⁹. Dabei ist zu beachten, dass die Nichtbekanntheit einer Marke nicht nur zu weniger positiven Bewertungen führt, sondern zu einer im Vergleich schlechter wahrgenommenen Anwendungsqualität als diese objektiv ist. Dies wird besonders deutlich, wenn die prozentuale Abweichung zwischen der spontanen Bewertung des original gelabelten und dem geschwärzten Gerät berechnet wird. Die Bewertung des originalen BOSCH-Akkuschaubers ist um durchschnittlich 30,8% höher als dessen geschwärzte Version (siehe Tabelle 23). Die Bewertungen des Markengeräts von Hitachi sind 11,8% besser, aber das original gelabelte Gerät von J.C. Schwarz wird spontan um 17,2% schlechter bewertet als dessen geschwärzte Version. Die Erkenntnisse machen im Vergleich mit den Arbeiten von Ting und Chen durchaus Sinn, wobei diese feststellen, dass es keinen linearen Zusammenhang zwischen dem Markeneinfluss und der wahrgenommenen Qualität eines Power-Tools zu geben scheint, was bedeutet, dass ein sehr bekanntes oder vollkommen unbekanntes Power-Tool überproportional vom Effekt des Markeneinflusses beeinflusst wird als ein wenig bekanntes Gerät²⁷⁰. Weiterhin passen auch die Ergebnisse von Alba und Williams, sowie Gordon et al. zu diesen Erkenntnissen, welche zum verstärkenden Einfluss des Markeneinflusses in Abhängigkeit des Bekanntheitsgrades in positiver und negativer Richtung postulieren²⁷¹. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die gesammelten Daten zur spontan wahrgenommenen

²⁶⁹ Kuijt-Evers et al. (2005).

²⁷⁰ Ting und Chen (2002).

²⁷¹ Alba und Williams (2013); Gordon et al. (1993).

Anwendungsqualität von Akkuschaubern, stark durch den Markennamen des Herstellers beeinflusst werden. Entwicklungsziele die auf Basis solcher Daten abgeleitet werden, stellen also ein Defizit im Hinblick auf eine anwenderoptimierte Produktentwicklung dar und können für diese nur bedingt genutzt werden.

Wie im Stand der Forschung aufgezeigt, kann der praktische Einsatz eines Systems zu einem erheblichen Einfluss auf die wahrgenommene Anwendungsqualität führen²⁷². Daher wurde im zweiten Teil des Experiments der Einfluss durch den praktischen Einsatz auf die Bewertung der Anwendungsqualität der Akkuschauber untersucht. Innerhalb des Experiments wurden gezielt Zusatzfragen (Q1-Q8) gestellt, wodurch dem Probanden relevante Bewertungskriterien aus professioneller Sicht aufgezeigt worden sind und dieser sich einen umfassenden Eindruck der Anwendungsqualität bilden konnte. Die praktische Testphase der Probanden wurde durch dieses Vorgehen mit dem Ziel, eine umfassendere und unvoreingenommene Bewertung zu erhalten, geführt²⁷³. Die Auswertung der Bewertungsdaten der praktischen Testphase zeigen, dass die Bewertung der wahrgenommenen Anwendungsqualität signifikant und teilweise stark durch den praktischen Einsatz und den bereitgestellten Bewertungskriterien der Akkuschauber beeinflusst wird (Tabelle 25). Hierbei fällt auf, dass die Bewertungsunterschiede zwischen dem bekannten und dem unbekanntem Markengerät durch den praktischen Einsatz der Akkuschauber deutlich geringer werden. Der Einsatz der drei Akkuschauber in der Praxis führt, im Vergleich zur spontanen Beurteilung, zu einer deutlich besseren Bewertung des Akkuschaubers von J.C. Schwarz im Vergleich zum Gerät von BOSCH, was sich mit einem mittelstarken Effekt in den Bewertungsergebnissen widerspiegelt. Auch die Bewertungsdifferenz des Hitachi Geräts zum J.C. Schwarz wird signifikant und stark durch den praktischen Einsatz beeinflusst und wird insgesamt deutlich geringer. Die Kombination aus der Bereitstellung einer Anwendungsumgebung mit den zusätzlichen Hinweisen auf relevante Bewertungskriterien führte entsprechend zu einem stark veränderten Bewertungsverhalten der Probanden. Dieser Effekt soll im Folgenden genauer für jede der drei Marken diskutiert werden. Während der praktische Einsatz einen starken Einfluss auf die unbekanntete Marke J.C. Schwarz hat, was zu einer 12% höheren Bewertung der Anwendungsqualität führt, bleiben die Bewertungen für das Gerät

²⁷² Kujala und Miron-Shatz (2015).

²⁷³ Germann und Jahnke et al. (2019).

von BOSCH mehr oder weniger konstant (+1,9%) (siehe Abbildung 34). Entsprechend können zwei Thesen aufgestellt werden. Zum einen kann es sein, dass die erwartete hohe Anwendungsqualität des BOSCH Akkuschauber im Einsatz nachgewiesen wurde und der Anwender seinen ersten Eindruck bestätigt sieht. Zum anderen wäre es denkbar, dass der praktische Einsatz den Einfluss von sehr positiv wahrgenommenen Marken nicht reduzieren kann. Ein Aspekt der tendenziell für die erste der beiden Thesen spricht, ist die Tatsache, dass das relativ bekannte Gerät von Hitachi nach dem Gebrauch um 6,7% schlechter bewertet wurde. Der positive erste Eindruck der Probanden wurde im praktischen Einsatz nicht zufriedenstellend bestätigt, was durch die Probanden entsprechend in der Bewertung festgehalten wurde. Zusammenfassend kann daraus geschlossen werden, dass die Marke eines Power-Tools ein Qualitätsversprechen beim Kunden auslöst, welches zunächst bestätigt werden muss, um weiterhin das erwartete Qualitätsniveau zu halten. Ein Markenversprechen reicht entsprechend nicht aus, um im Wettbewerb auf Dauer zu überstehen. Weitere Studien sollten durchgeführt werden, um einen klaren Nachweis für diese Indikatoren zu finden. Werden im Weiteren die Bewertungsdifferenzen bei der Bewertung anonymisierter Geräte betrachtet, wird der Einfluss der praktischen Anwendung auf die Bewertung der Anwendungsqualität noch deutlicher. Während der Einfluss durch die sichtbar gekennzeichnete Marke vermieden wird, wird das BOSCH Gerät hinsichtlich der spontan wahrgenommenen Anwendungsqualität deutlich schlechter bewertet ($Q_{0B} - \text{gelabelt}: 9,72; Q_{0B} - \text{anonymisiert}: 6,92$) (Tabelle 23). Eine mögliche Erklärung für diesen Effekt könnte die Tatsache sein, dass einige der Probanden versucht haben, herauszufinden, welche Marken sich hinter den geschwärzten Akkuschaubern verbergen. Dies führte zu einem scheinbaren Markeneinfluss, da einige der Probanden die Power-Tools unter Berücksichtigung einer selbst definierten, teilweise falschen Herstellermarke beurteilten. Interessanter Weise war es möglich, mit Hilfe der praktischen Anwendung diesen Effekt teilweise zu kompensieren, so dass die Bewertung der anonymisierten und der original gelabelten Akkuschauber nach der praktischen Anwendung deutlich näher zusammenlagen ($Q_{9B} - \text{gekennzeichnet}: 9,88; Q_{9B} - \text{anonymisiert}: 8,28$). Noch deutlicher kann diese Kompensation bei den Geräten von J.C. Schwarz und Hitachi gesehen werden. Während der J.C. Schwarz in der initialen Testphase mit 7,0 / 8,0 Punkten ($Q_{0JC} - \text{gelabelt} / \text{anonymisiert}$) bewertet wurde, liegen die Bewertungen nach der praktischen Testphase Q_{9JC} mit 8,56 / 8,96 Punkten ($Q_{9JC} - \text{gelabelt} / \text{anonymisiert}$) deutlich näher zusammen. Gleiches gilt für den Hitachi mit 8,60 / 7,52 Punkten ($Q_{0H} - \text{gelabelt} / \text{anonymisiert}$) in der initialen

Testphase zu 8,04 / 7,80 Punkten (*Q9_H - gelabelt / anonymisiert*) nach der praktischen Testphase. Die Bewertungen nach der praktischen Nutzungsphase nähern sich für die original gelabelten und die anonymisierten Geräte entsprechend an und legen die Vermutung nahe, dass die praktische Benutzung eines Power-Tools dem Ziel einer objektiven Bewertung der Anwendungsqualität förderlich ist, was durchaus zu den Erkenntnissen von Kujjt-Evers et al. und Hoch und Ha passt²⁷⁴. Um diese Erkenntnisse mit weiteren Indizien zu stützen, wurden die Standardabweichungen der Bewertungen vor und nach der Nutzung verglichen, um zu analysieren, ob der praktische Einsatz einen Einfluss auf die Präzision der Bewertungen hat, also die Bewertungsergebnisse der Probanden untereinander weniger streuen (Tabelle 27). Entsprechend wurde die Hypothese getestet, dass der Anwender durch die praktische Benutzung eines Akkuschraubers eher in der Lage ist, unvoreingenommen zu bewerten und dadurch die Standardabweichung der Bewertung geringer wird, als sie es vor der Benutzung war. Aus dem Ergebnis lässt sich ein allgemeiner Zusammenhang zwischen der praktischen Benutzung und einer erhöhten Präzision in der Bewertung erahnen. Hierbei kann ein signifikanter Einfluss nachgewiesen werden, welcher sich mit einem sehr starken Effekt auf die Bewertungen auswirkt. Auf Grund der kleinen Stichprobengröße ist allerdings die Ableitung eines allgemein gültigen Zusammenhanges nicht möglich. Weitere Forschungsarbeiten sollten sich dabei vor allem auf den Aspekt der Stichprobengröße, der Gruppengröße der Probanden und der Dauer der praktischen Anwendung konzentrieren, um diesen Effekt umfassender zu analysieren. Im Falle der Bewertung von Mobiltelefonen geben Kujala und Miron-Shatz in diesem Zusammenhang etwa an, dass ein Nutzer mindestens fünf Tage Zeit benötigt, um den Einfluss einer erwarteten Qualität zu reduzieren²⁷⁵. Untersuchungen zum Grad des Bewertungseinflusses auf die wahrgenommene Anwendungsqualität in Abhängigkeit der Einsatzdauer wären daher interessant, um die grundlegenden Anforderungen zur störgrößenreduzierten Bewertung von Power-Tools zu erfassen.

Um die Gültigkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse dieses Experiments einzuschätzen, müssen diverse Einschränkungen getroffen werden. Um das Ziel der quantitativen Erfassung des Markeneinflusses zu erreichen, musste mit Akkuschraubern gearbeitet werden, welche möglichst nicht dem Markeneinfluss unterliegen. Etablierten Ansätzen in diesem Zusammenhang folgend, wurde

²⁷⁴ Hoch und Ha (1986); Kujjt-Evers et al. (2005).

²⁷⁵ Kujala und Miron-Shatz (2015).

daher die Methode des Blindtests angewandt, wobei die Akkuschauber geschwärzt wurden, um so einen wesentlichen Einfluss der Marke durch Firmenlogos und Farben zu reduzieren. Eine vollständige Vermeidung des Markeneinflusses, durch beispielsweise charakteristische Gehäuseformen, konnte nicht erreicht werden. Weiterhin führte dieses Vorgehen zu einer zwangsläufigen Beeinflussung der Oberfläche der Geräte (unterschiedliche Haptik, weniger Rauheit, etc.), was einen Einfluss auf die Bewertung der wahrgenommenen Anwendungsqualität haben kann. Darüber hinaus kann nach den Ergebnissen von Jacoby et al. eine Schwärzung von Systemen zu einer Veränderung des Bewertungsverhaltens der Probanden führen. In diesem Experiment konnte der Autor den Impuls der Probanden identifizieren, den tatsächlichen Hersteller der anonymisierten Akkuschauber herauszufinden. Nur drei von 25 Probanden konnten einen der drei Akkubohrer richtig erkennen, wobei diese in ihrer Annahme durch den Versuchsleiter nicht bestätigt wurden. Deutlich mehr der Teilnehmer gingen allerdings von einer falschen Marke hinter dem geschwärzten Akkuschauber aus. Dies kann aus Sicht des Autors zu einem falschen Markeneinfluss und einer Verfälschung der Ergebnisse führen. In weiteren Studien sollte daher die Durchführung eines Blindtests überdacht werden. Darüber hinaus ist, wie in Abbildung 34 zu sehen, die Standardabweichung der Bewertungsergebnisse für die wahrgenommene Anwendungsqualität relativ groß. Insbesondere in der initialen Testphase kann kaum von einer Normalverteilung der Ergebnisse gesprochen werden. Dies ändert sich durch den praktischen Einsatz und eine Normalverteilung der Daten wird erreicht. Die Ergebnisse der initialen Testphase des vorgestellten Experiments sollten daher mit einer größeren Testgruppe in Folgestudien zusätzlich verifiziert werden.

6.2.5 Zwischenfazit zum Aufbau des Reduktionsansatzes zur Berücksichtigung der Störgröße Markeneinfluss

Wenn ein Produkt den Anforderungen des Anwenders entsprechen soll, muss es über eine hohe wahrgenommene Anwendungsqualität verfügen²⁷⁶. Um eine hohe wahrgenommene Anwendungsqualität zu erreichen, müssen unterschiedlichste Usability-Aspekte berücksichtigt werden, wobei diese durch die Umgebung, das bewertete System und den Eigenschaften des Anwenders beeinflusst werden. Die konkrete Ausprägung eines Usability-Aspekts ist weiterhin durch viele Störgrößen beeinflusst, welche berücksichtigt werden müssen,

²⁷⁶ Päivinen und Heinimaa (2009).

um eine objektive, beeinflussungsreduzierte Bewertung zu gewährleisten. Als eine bekannte und wichtige Störgröße wurde der Einfluss der Marke auf die Bewertung der wahrgenommenen Anwendungsqualität von Power-Tools untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass der Markenname einen signifikanten Einfluss auf die Bewertung der wahrgenommenen Anwendungsqualität eines Akkuschraubers hat. Dabei steigt die wahrgenommene Anwendungsqualität mit dem Bekanntheitsgrad der Marke deutlich an. Während sich eine hohe Bekanntheit der Marke stark positiv auf die Bewertung der Anwendungsqualität auswirkt, führt ein geringer Bekanntheitsgrad zu einer deutlich schlechteren Bewertung der Anwendungsqualität und das unabhängig von der objektiven Anwendungsqualität des Power-Tools. Mit dem Ziel, diesen Einfluss auf die Anwendungsqualität zu reduzieren, wurde der Einfluss des praktischen Einsatzes eines Power-Tools in unterschiedlichen Anwendungen auf den Effekt des Markeneinflusses untersucht. Die Ergebnisse deuten auf eine signifikante Verringerung des Markeneinflusses durch den praktischen Einsatz eines Power-Tools hin. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass eine einfache Schwärzung der Geräte nicht zum Verschwinden des Markeneinflusses führt. Das wiederholt detektierte Verhalten, dass Probanden eine vermutete Marke bei der Bewertung der Anwendungsqualität berücksichtigten, führte zu einem scheinbaren Markeneinfluss, welcher die Bewertungen verzerrte. Darüber hinaus konnte durch die Analyse der Standardabweichungen der Bewertungen an Indizien gezeigt werden, dass durch den praktischen Einsatz der Akkuschauber der Einfluss der Marke auf die Bewertung reduziert werden konnte.

Aus den Ergebnissen dieses Experiments lassen sich Anforderungen und Hinweise ableiten, mit Hilfe derer Entwicklungsziele für Power-Tools ohne den Einfluss der Störgröße der Marke identifiziert werden können und einen Beitrag zur Beantwortung folgender Forschungshypothese H2.2 leisten:

Durch geeignete Vorbereitung der Power-Tools bewerten Probanden Power-Tools unterschiedlicher Markenhersteller bezüglich der Kaufentscheidung, der technischen Funktionalität und der Anwendungseignung unabhängig vom Markeneinfluss

- Bewertungsergebnisse der wahrgenommenen Anwendungsqualität, welche innerhalb von spontanen Produktbewertungen erfasst werden, sind nicht geeignet, um anwenderoptimierte Entwicklungsziele abzuleiten.

- Der Markeneinfluss auf die wahrgenommene Anwendungsqualität steigt mit dem Bekanntheitsgrad deutlich an, wobei sehr bekannte Power-Tools deutlich positiv und nicht bekannte deutlich negativ beeinflusst werden.
- Die aktive Verwendung von Power-Tools durch den Anwender in Kombination mit der Bereitstellung von relevanten Bewertungskriterien, reduziert den Einfluss des Markeneinflusses auf die wahrgenommene Anwendungsqualität.
- Der Einfluss der Marke auf die wahrgenommene Anwendungsqualität ist individuell abhängig vom jeweiligen Anwender und streut entsprechend stark. Durch die Möglichkeit, Power-Tools in relevanten Anwendungen einzusetzen, kann die Varianz der Bewertungen reduziert werden, wodurch mit kleineren Probandenzahlen valide Aussagen erzielt werden können.
- Wenn der Einfluss der Marke auf die Bewertung der Anwenderqualität reduziert werden soll, ist ein einfacher Blindtest aufgrund eines scheinbaren Markeneinflusses nur bedingt geeignet.
- Durch Durchführung einer strukturierten Bewertung und der Bereitstellung von relevanten Bewertungskriterien scheint sich die Präzision der subjektiven Anwenderbewertung zu verbessern.

7 Anwendung der Forschungsansätze und Identifikation neuer Störgrößen

In den vorherigen Kapiteln wurden unterschiedliche Ansätze entwickelt, mit denen zum einen der Einfluss von Störgrößen berücksichtigt bzw. reduziert werden kann und zum anderen die Identifizierung relevanter Usability-Aspekte erfolgen soll. Zur Bewertung dieser Ansätze und zum Aufzeigen einer Methodik zur Identifikation neuer Störgrößen werden im Folgenden die Ansätze auf eine neue Entwicklungsfragestellung übertragen.

7.1 Anwendung der Ansätze zur Reduzierung des Störgrößeneinflusses

Die Anwendbarkeit der entwickelten Ansätze zur Berücksichtigung bekannter Störgrößen für die nutzerzentrierte Produktentwicklung von Power-Tools wird innerhalb eines Experiments am Beispiel des Entwicklungsprojektes „*Griffgeometrieoptimierung eines Akkuschraubers*“ gezeigt. Zur Berücksichtigung des Markeneinflusses kommt dabei ein neu entwickelter Akkuschrauber zum Einsatz, bei welchem die Griffschalen modular ausgetauscht und variiert werden können. Erfasst wird innerhalb der Versuche die empfundene Anwendungseignung der Griffgeometrie, welche von geschulten, nicht professionellen Anwendern beurteilt wird. Auf Grund der Berücksichtigung der bekannten Störgrößen der unterschiedlichen Expertise in der Anwendung und des Markeneinflusses mit Hilfe der entwickelten Reduktionsansätze bietet das Experiment die Möglichkeit, die Ergebnisse der wahrgenommenen Anwendungseignung hinsichtlich des Einflusses noch unbekannter Störgrößen zu analysieren. Die Ergebnisse dieser experimentellen Untersuchung basieren auf den Arbeiten von Germann, Ribadeneira et al., Kolling und Ribadeneira²⁷⁷, wobei die Forschungshypothese H3.1 analysiert wird:

²⁷⁷ Germann, Ribadeneira et al. (2019); Kolling (2018). Unveröffentlichte Bachelorarbeit; Ribadeneira (2019). Unveröffentlichte Bachelorarbeit.

Forschungshypothese H3.1:

Die entwickelten Ansätze zur Störgrößenreduktion des Markeneinflusses und der unterschiedlichen Expertise können auf neue Entwicklungsfragestellungen angewandt und dadurch der Einfluss unbekannter Störgrößen analysiert werden.

7.1.1 Motivation und Zielsetzung

Innerhalb der initialen Studie aus Kapitel 5 wurde ein Ansatz vorgestellt, welcher den Entwickler von Power-Tools bei der Identifizierung relevanter Usability-Aspekte unterstützt. Die Studienergebnisse zeigen großes Potential hinsichtlich der Identifizierung relevanter Usability-Aspekte, erreichen jedoch nur eine relativ geringe Modellgüte. Dabei kann an den Ergebnissen erkannt werden, dass eine wesentliche Beeinträchtigung dieser Güte auf den Einfluss von Störgrößen und sich jeweils unterscheidenden Geräten (Marke, Haptik, Balance, Schwerpunkt, Gesamtmasse, etc.) zurückzuführen ist, welche mit aktuellen Ansätzen aus dem Stand der Forschung nicht oder unzureichend berücksichtigt werden können. Basierend auf dieser Datenbasis wird daher die Ableitung valider Aussagen bezüglich definierter Entwicklungszielgrößen kritisch gesehen. In Kapitel 6 wurde das Problem des Störgrößeneinflusses auf die Bewertungsergebnisse beleuchtet, wobei ein Ansatz zu *Reduzierung des Einflusses durch den unterschiedlichen Grad der Expertise in der Anwendung* (Kapitel 6.1) und ein Ansatz zur *Reduzierung des Störgrößeneinflusses durch die Marke* (Kapitel 6.2) aufgebaut wurde. Durch Anwendung der Ansätze auf neue Entwicklungsfragestellungen wird das Ziel verfolgt, die wahrgenommene Anwendungseignung von Power-Tools mit reduziertem Einfluss von bekannten Störgrößen zu erfassen, was den Entwickler dabei unterstützt, benutzeroptimierte Entwicklungszielgrößen zu identifizieren. Problematisch hierbei ist die Tatsache, dass neben den bekannten Störgrößen, für welche Reduktionsansätze entwickelt wurden, weitere, unbekannte Störgrößen die Bewertung der wahrgenommenen Anwendungseignung signifikant beeinflussen können. Anstatt die relevanten Usability-Aspekte zu identifizieren und diese zu optimieren, kann es dazu kommen, dass falsche Schlussfolgerungen gezogen werden. Zur Veranschaulichung dieses Problems stellt Abbildung 35 die Zusammenhänge zwischen Usability-Aspekten, Störgrößen und dem Einfluss von Reduktionsansätzen auf die wahrgenommene Anwendungseignung am Beispiel der Entwicklungsfragestellung „*Griffgeometrieoptimierung eines Akkuschraubers*“ vor.

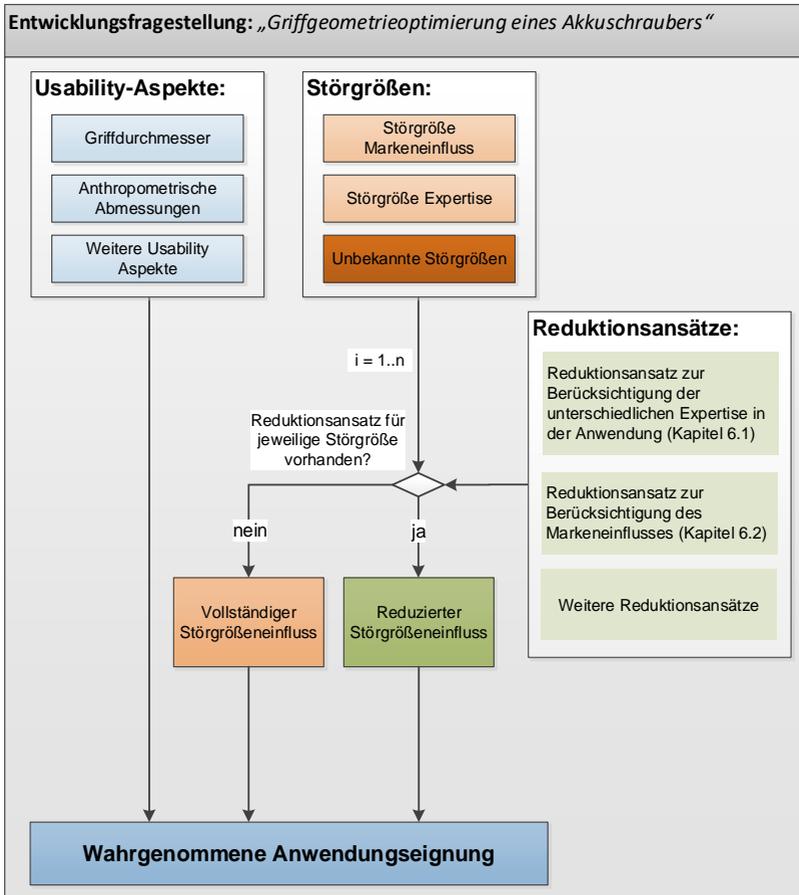


Abbildung 35: Einflüsse von Usability-Aspekten, Störgrößen und Reduktionsansätzen auf die wahrgenommene Anwendungseignung

Mit dem Ziel, die Anwendbarkeit der entwickelten Reduktionsansätze zu zeigen und Ansätze aufzubauen, um erfasste Daten zur wahrgenommenen Anwendungseignung hinsichtlich des Einflusses unbekannter Störgrößen zu analysieren, wurde ein Experiment aufgebaut, innerhalb welchem die Beantwortung folgender Fragestellungen erfolgt:

- Können die entwickelten Forschungsansätze zur Reduktion der Störgrößeneinflüsse (Kapitel 6.1, Kapitel 6.2) auf neue Entwicklungsfragestellungen übertragen werden?
- Wie können erfasste Versuchsdaten zur wahrgenommenen Anwendungseignung auf den Einfluss von unbekanntem Störgrößen hin analysiert werden?
- Wie können störgrößenbeeinflusste Versuchsdaten so aufbereitet werden, dass diese für die Ableitung von objektiven, differenzierten Entwicklungszielen und zur Bewertung von Entwicklungsständen nutzbar sind?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde eine Studie durchgeführt, innerhalb welcher unterschiedliche Griffgeometrien von Akkuschaubern von nicht professionellen Probanden bewertet wurden. Zur Berücksichtigung des Einflusses durch die Marke und der unterschiedlichen Handhabung zwischen den Herstellern wurde ein Akkuschauber mit modular austauschbaren Griffschalen entwickelt, welcher eine Versuchsdurchführung unter gleichbleibenden Randbedingungen und die Einstellbarkeit einzelner Griffgeometrieparameter erlaubt. Die Berücksichtigung des Störgrößeneinflusses durch den unterschiedlichen Grad der Expertise in der Anwendung erfolgte durch eine Schulung von 37 nicht professionellen Probanden im professionellen Umgang mit Akkuschaubern. Jeder Proband bewertete die Griffgeometrie des Akkuschaubers hinsichtlich der wahrgenommenen Anwendungseignung. Den Probanden standen dabei Griffschalen von drei Herstellern zur Verfügung, welche nach den Abmessungen bestehender Akkuschauber aufgebaut und bereits in der vorangegangenen Studie (Kapitel 5) an Originalgeräten bewertet wurden. Innerhalb der Versuchsdurchführung mussten die Probanden mehrere Anwendungsversuche mit dem entwickelten Akkuschauber durchführen. Zur Überprüfung der Übertragbarkeit der in dieser Arbeit entwickelten Reduktionsansätze werden die Versuchsergebnisse hinsichtlich des Schulungserfolgs in der professionellen Verwendung von Akkuschaubern analysiert. Zur Identifikation neuer, unbekannter Störgrößen werden die erfassten Daten zunächst mit Hilfe einer Korrelationsanalyse auf allgemeine Abhängigkeiten untersucht und auf signifikante Beeinflussungen durch Störgrößen durch den Einsatz von Varianzanalysen, Häufigkeitsverteilungen und Boxplot-Diagrammen geprüft. Weiterhin wird für die Aufbereitung von störgrößenbehafteten Versuchsdaten eine Methode zur Reduktion des Einflusses von Störgrößen vorgestellt, welche bei der differenzierten Bewertung von Entwicklungsständen unterstützt.

7.1.2 Versuchsumgebung und Methodenaufbau

7.1.2.1 Aufbau des Experiments

In der im Folgenden vorgestellten Versuchsdurchführung soll im Besonderen der Einfluss bekannter Störgrößen auf die Bewertung der Anwendungseignung vermieden werden. Auf die als besonders relevant identifizierten Störgrößen des *Markeneinflusses* und des unterschiedlichen Grades der *Expertise in der Anwendungsausführung* wurde daher beim Aufbau der Versuche ein besonderer Fokus gelegt. Wie aus den Ergebnissen zur Berücksichtigung des Markeneinflusses hervorgeht (Kapitel 6.2), ist es nur sehr bedingt möglich, eine Bewertung der Anwendungseignung unbeeinflusst durch die Marke vorzunehmen. Da auch eine einfache Schwärzung der Systeme nicht zielführend ist, um den Einfluss vollständig zu reduzieren, wurde der Ansatz des Aufbaus eines markenunabhängigen Akkuschraubers mit modularen Griffschalen gewählt, welcher im Folgenden als *modularer Akkuschrauber* bezeichnet wird.²⁷⁸ Die Besonderheit des entwickelten Akkuschraubers liegt in der Modularität der Griffschale, welche den Einsatz unterschiedlicher Griffgeometrien erlaubt. Durch die Realisierung dieser zusätzlichen Schnittstelle kann ein Experiment zur Beurteilung unterschiedlicher Griffgeometrien von Akkuschraubern durchgeführt werden, ohne das Problem sich ändernder Randbedingungen, wie beispielsweise dem Geräteschwerpunkt, der Bedienelemente oder dem Einschraubverhalten, berücksichtigen zu müssen. Für den Aufbau der modularen Griffgeometrie wurde, basierend auf den geometrischen Maßen eines Akkuschraubers, die Griffkonstruktion soweit angepasst, dass die Möglichkeit von austauschbaren Griffschalen gegeben ist. Mit Hilfe des 3D-Scanners *Handyscan 3D* der Firma Creafom wurden die geometrischen Maße eines Referenz Akkuschraubers erfasst und in ein Flächenmodell überführt (Abbildung 36, links). Basierend auf den Originalabmessungen wurde die Gehäuseschale mittels der CAD Software *Creo 3 Parametrics* im Bereich des Hauptgehäuses rekonstruiert und im Bereich der Griffgeometrie auf minimale Abmessungen reduziert und durch Rippen versteift, wodurch die Modularität zwischen Griffschale und Gehäuseschale ermöglicht wird (Abbildung 36, rechts).

²⁷⁸ Germann und Jahnke et al. (2019).

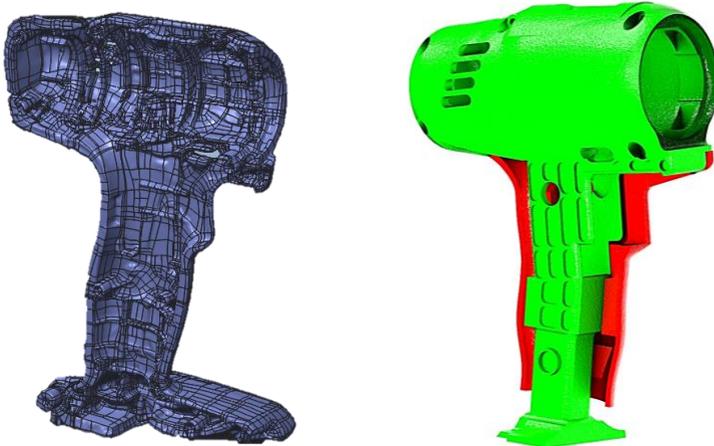


Abbildung 36: Entwicklung des Akkuschaubers mit modularer Griffgeometrie: 3D Flächenmodell (links), angepasste CAD Konstruktion (rechts)²⁷⁹

Innerhalb der Gehäuseschale sind flächige Anschläge vorgesehen, um die nötigen Greif- und Andruckkräfte von den Griffschalen auf das Gehäuse formschlüssig zu übertragen. Die Positionierung der Griffschalen erfolgt über in die Gehäusehälften integrierte Magnete und dazu passende Stahlscheiben in der Griffschale. Die Griffschalen wurden derart konstruiert, dass der Anwender bei der Benutzung des modularen Akkuschaubers möglichst keine ungewöhnlichen Kanten oder Ecken durch die gespaltenen Griffschalen spürt, wodurch ein realistisches Anwendungserlebnis erzeugt werden soll. Die Gehäusehälften und Griffschalen wurden aus dem für Power-Tools üblichen glasfaserverstärkten Kunststoff *PA6 GF30* gefertigt und können in einem für Power-Tools üblichen Rahmen belastet werden. Abbildung 37 zeigt den fertiggestellten modularen Akkuschauber mit vollständig montierter und offener Griffschale. Lateral sind die Griffschalen lediglich über die in den Gehäusehälften eingelassenen Magnete fixiert und können einfach von Hand ausgetauscht werden, sollen aber im Versuch trotzdem ausreichend Halt bieten, um eine vollständig normale Benutzung sicherzustellen.

²⁷⁹ Kolling (2018); Ribadeneira (2019).



Abbildung 37: Aufbau des modularen Akkuschaubers mit vollständig montierter (links) und offener Griffschale (rechts)²⁸⁰

Die Abmessungen der austauschbaren Griffschalen wurden entsprechend der geometrischen Abmessungen der innerhalb von Kapitel 5 bewerteten Akkuschauber gefertigt und an die Randbedingungen des modularen Akkuschaubers angepasst. Durch dieses Vorgehen können die Versuchsergebnisse zur wahrgenommenen Anwendungseignung zwischen den beiden Studien verglichen werden. Die Abmessungen der drei verwendeten Griffschalen sind in Tabelle 28 dargestellt. Die Benennung der Griffschalen richtet sich nach dem jeweiligen Referenzhersteller, von welchem die Maße der Griffschale übernommen wurden und wird im Folgenden mit der Herstellerbenennung und dem Zusatz „Modular“ gekennzeichnet. Alle drei in der Studie von Kapitel 5 verwendeten Akkuschauber haben eine Versorgungsspannung von 18 V und sind für den professionellen Anwender konzipiert. Bei der Wahl des Referenzgeräts des modularen Akkuschaubers wurde darauf geachtet, diese Randbedingungen zu berücksichtigen, damit vergleichbare Anwendungen mit dem Gerät durchgeführt werden können und so die Reliabilität der Studie gegeben ist.

²⁸⁰ Germann und Ribadeneira et al. (2019); Ribadeneira (2019).

Tabelle 28: Abmessungen der Griffschalen für den modularen Akkuschauber basierend auf den Abmessungen der Akkuschauber aus Kapitel 5²⁸¹

Geometrieparameter [mm]	Schalenabmessung		
	Bosch (Modular)	Hilti (Modular)	Makita (Modular)
Höhe (Rückseite) (1)	85	85	85
Höhe (Vorderseite) (2)	60	60	60
Umfang am Zeigefinger (3)	151	147	156
Länge am Zeigefinger (3)	60	58	62
Breite am Zeigefinger (4)	34	33	34
Umfang am Mittelfinger (5)	123	132	128
Länge am Mittelfinger (5)	45	46	48
Breite am Mittelfinger (6)	34	36	34
Umfang am Ringfinger (7)	123	125	128
Länge am Ringfinger (7)	45	44	48
Breite am Ringfinger (8)	35	35	34
Umfang am kleinen Finger (9)	113	113	116
Länge am kleinen Finger (9)	37	39	42
Breite am kleinen Finger (10)	34	32	30
Länge des Triggers (11)	25	25	25



²⁸¹ Germann und Ribadeneira et al. (2019).

Auf Grund der sehr ähnlichen Abmessungen der Griffgeometrien wird davon ausgegangen, dass die Unterschiede in der wahrgenommenen Anwendungseignung relativ gering sind, weshalb die Berücksichtigung des Einflusses von Störgrößen umso wichtiger wird. Ausgehend von den originalen Gerätegriffen lassen sich die geometrischen Unterschiede allerdings eindeutig wahrnehmen, weshalb das Vorgehen als sinnvoll erachtet wird. Im Unterschied zu den originalen Griffgeometrien wurde die Länge der Vorder- und Rückseite, sowie die Triggerlänge von den Abmessungen des Referenzgeräts übernommen und bei allen Griffschalen gleich gehalten.²⁸²

7.1.2.2 Versuchsteilnehmer

Auf Grund des vergleichbaren Versuchsablaufs und der identischen Griffmaße des modularen Akkuschraubers, kann basierend auf den Studienergebnissen von Kapitel 5 die voraussichtlich nötige Probandenzahl bestimmt werden, um statistisch relevante Ergebnisse zu erzielen. Hierbei wurde nach dem Ansatz von Sauro und Lewis die minimal nötige Probandenzahl basierend auf der erwarteten Standardabweichung s , dem gewünschten Konfidenzintervall, sowie der gerade noch akzeptierten Differenz der Ergebnisse d berechnet. In Abhängigkeit des gewählten Konfidenzintervalls wird der t -Wert aus der t -Verteilungstabelle (Anhang E, Tabelle 37) abgelesen. Da der t -Wert indirekt abhängig von der Probandenzahl n ist, erfolgt die Berechnung der nötigen Probandenzahl iterativ (vgl. 2.2.1.4).²⁸³ Mit Hilfe von Gleichung (5) kann die nötige Anzahl der Probanden definiert werden, wobei von einer Standardabweichung von $s = 1,4$, einer kritischen Differenz von $d = 0,4$ und dem Konfidenzintervall von 95% ausgegangen wird.

$$n = \frac{s^2 * t^2}{d^2} \quad (5)$$

$$n_{min} = \frac{1,4^2 * 1,69^2}{0,4^2} = 35 \quad (6)$$

Die Wahl der Werte basiert auf den Ergebnissen der Studie aus Kapitel 5, wobei die mittleren Standardabweichungen \bar{s} und die mittlere Differenz zwischen den

²⁸² Matthiesen und Germann (2018).

²⁸³ Sauro und Lewis (2012).

Bewertungen \bar{d} sowohl für die professionellen als auch für die nicht professionellen Probanden berechnet wurde. Die Ergebnisse dieser Berechnung können Tabelle 29 entnommen werden.²⁸⁴ Gleichung (6) weist für die eingesetzten Werte eine mindestens benötigte Probandenanzahl von 35 Teilnehmern aus, um davon ausgehen zu können, statistisch relevante Ergebnisse zu erhalten. Entsprechend der kalkulierten Mindestanzahl nahmen 37 Probanden an der experimentellen Untersuchung teil. Acht der Probanden waren weiblich und 29 Probanden männlich. 2,6% der Probanden gaben ein Alter von 14 – 18 Jahren an, 68,4% ein Alter von 18 – 25 und 28,9% waren im Alter zwischen 25 – 40 Jahre. 32 der Probanden waren Rechtshänder, fünf Linkshänder. Keiner der Probanden litt unter gesundheitlichen Einschränkungen. Vor Versuchsbeginn wurde von jedem Probanden die Einsatzhäufigkeit von Akkuschaubern auf einer 5-stufigen Likert Skala von *täglich* bis *nie* bewertet, wobei ein mittleres Erfahrungsniveau von 2,92 ($s = 0,87$) ermittelt wurde, was im Durchschnitt einem monatlichen Einsatz entspricht.

Tabelle 29: Standardabweichung und Bewertungsergebnisse der durchgeführten Studie von Kapitel 5 mit original gelabelten Geräten²⁸⁵

		<i>Akkuschauber</i>				<i>Schlagschauber</i>	
		Hilti	Makita	Bosch	Milwakee	Hilti	Dewalt
<i>professionell</i>	s	1,398	1,197	1,886	0,949	1,337	1,418
	<i>Bw.</i>	2,80	3,10	4,0	3,7	3,7	4,3
	\bar{s}	1,494				1,235	
	\bar{d}	0,60				0,60	
<i>Nicht professionell</i>	s	0,667	1,101	0,943	1,014	1,054	1,225
	<i>Bw.</i>	2,00	2,90	3,00	3,44	4,11	3,67
	\bar{s}	0,904				1,098	
	\bar{d}	0,50				0,56	

Vor Versuchsbeginn wurden in Anlehnung an DIN 33402-2 die anthropometrischen Handdaten der Probanden erfasst, wobei die Handlänge, die Handbreite

²⁸⁴ Matthiesen und Germann (2018).

²⁸⁵ Matthiesen und Germann (2018).

und die Daumenlänge der Probanden erfasst wurde. Die Ergebnisse der anthropometrischen Maße sind in Tabelle 30 jeweils in den nach DIN 33402-2 standardisierten Perzentilen der Männer dargestellt.

Tabelle 30: Perzentile Häufigkeitsverteilung der anthropometrischen Handdaten der Probanden

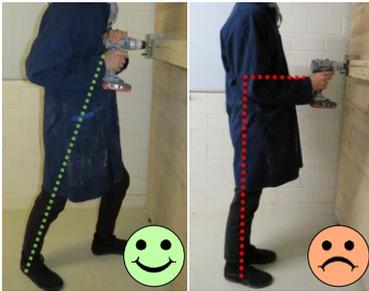
<i>Perzentil</i>	Länge des Daumen		Handbreite		Handlänge	
	<i>Häufigkeit</i>	<i>%</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>%</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>%</i>
≤ 5	2	5,3	6	15,8	5	13,2
< 5 ≤ 50	11	28,9	6	15,8	13	34,2
> 50 ≤ 95	22	57,9	20	52,6	17	44,7
> 95	2	5,3	5	13,2	2	5,3
Total	37	100,0	37	100,0	37	100,0

7.1.2.3 Versuchsplanung und Durchführung

Die Durchführung des Experiments fand im IPEK – Power-Tool Testcenter des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) statt. Vor Versuchsbeginn wurde jedem Probanden ein allgemeiner Fragebogen vorgelegt, innerhalb welchem allgemeine Informationen zum Proband, wie beispielsweise die Erfahrungen im Umgang mit Power-Tools, die Art der eingesetzten Power-Tools, sowie die Händigkeit des Probanden abgefragt wurden. Weiterhin wurden die Abmessungen der Hand erfasst. Der vollständige Fragebogen kann unter Anhang D eingesehen werden. Um den Einfluss der Expertise auf die Bewertung der empfundenen Anwendungseignung zu reduzieren, wurde ein Schulungsvideo entsprechend des Störgrößens Reduktionsansatzes aus Kapitel 6.1 entwickelt. Innerhalb der Schulung werden die professionelle Benutzung und relevante Bewertungsaspekte von Akkuschraubern vorgestellt, wodurch der Einfluss der unterschiedlichen Expertise in der Anwendung auf die Bewertung der Anwendungseignung minimiert werden soll. Weiterhin werden innerhalb des Videos mögliche Fehler in der Benutzung aufgezeigt, sowie die einzelnen Schritte des Versuchssetups erklärt. Abbildung 38 zeigt einige Ausschnitte des Schulungsvideos mit Anmerkungen zur professionellen Arbeitsweise und relevanten Bewertungskriterien von Akkuschraubern.

Professionelle Arbeitsweise

Körperhaltung und Greifform



Bewertungskriterien

Druckverteilung auf der Hand



Abbildung 38: Inhalte des Schulungsvideos zur professionellen Benutzung und Bewertung von Akkuschraubern²⁸⁶

Die eigentliche Versuchsdurchführung des Experiments gliedert sich in zwei Phasen. In der ersten Phase werden dem Proband nacheinander die am modularen Akkuschrauber montierten Griffschalen gereicht und von diesem innerhalb einer spontanen Bewertung, ohne die Geräte praktisch in den Anwendungen zu testen, beurteilt. Während der Bewertung wird der Proband aufgefordert, enganliegende Arbeitshandschuhe zu tragen, um den Einfluss eventueller Formkanten durch die Zweiteilung der Griffschalen zu reduzieren. Die Bewertung der jeweiligen Griffgeometrie erfolgt mittels der Frage Q1 auf einer 7-stufigen Likert-Skala mit zusätzlichen Zwischenstufen entsprechend Abbildung 39. Zur Sicherstellung der Versuchsobjektivität wurden die Schalen für jeden Probanden in einer randomisierten Reihenfolge vorgelegt. Zusätzlich zu der Bewertung der drei Griffschalen wurde ohne das Wissen des Probanden an dritter Stelle die erste Schale erneut gereicht und bewertet.



Abbildung 39: Q1: 7-stufige Skala zur Bewertung des Dis-Komforts der Griffgeometrie²⁸⁷

²⁸⁶ Germann und Ribadeneira et al. (2019).

²⁸⁷ Germann und Ribadeneira et al. (2019).

Durch dieses Vorgehen wird davon ausgegangen, dass die Probanden sich innerhalb der ersten Bewertung an den Versuchsablauf gewöhnen können. Das komplette Versuchssetup wurde entsprechend von jedem Probanden vier Mal durchlaufen. Nach Durchführung der spontanen Bewertungsphase erfolgte innerhalb der zweiten Phase die Bewertung der Griffschalen nach der praktischen Benutzung des modularen Akkuschaubers mit den unterschiedlichen Griffschalen. Entsprechend der Reihenfolge der ersten Phase wurde jeder Proband aufgefordert, die relevanten Anwendungen mit allen montierten Griffschalen durchzuführen. Die Anwendungen sind dabei mit denen der Vorstudie aus Kapitel 5 identisch²⁸⁸:

- 5-faches Ein- und Ausschrauben von Holzschrauben $\varnothing 6 \times 80 \text{ mm}$ in Fichte-Kreuzrahmen ($80 \times 100 \times 1000 \text{ mm}$) in aufrechter Haltung in der zweiten Gangstufe
- 5-maliges Ein- und Ausschrauben von Holzschrauben $\varnothing 6 \times 80 \text{ mm}$ in Fichte-Kreuzrahmen ($80 \times 100 \times 1000 \text{ mm}$) in vorn überbeugter Haltung und der zweiten Gangstufe
- 5-maliges Ein- und Ausschrauben von Holzschrauben $\varnothing 8 \times 80 \text{ mm}$ in Fichte-Kreuzrahmen ($80 \times 100 \times 1000 \text{ mm}$) in aufrechter Haltung und der ersten Gangstufe
- 2-maliges Bohren von Flachstahl $t=5\text{mm}$ (S235) mit $\varnothing 6\text{mm}$ HSS-Bohrer in vorn überbeugter Haltung in der zweiten Gangstufe

Nach der Durchführung der vier vorgegebenen Anwendungen erfolgte für jede Griffschale eine Bewertung der Anwendungseignung mit Hilfe des zweiten Teils des Fragebogens. Basierend auf den Erkenntnissen zur Reduktion des Einflusses der Expertise aus Kapitel 6.1 wurde der Aufbau des Fragebogens dabei so konzipiert, dass zunächst gezielt die aus professioneller Sicht relevanten Schlüsselkriterien bewertet werden, bevor eine erneute abschließende Bewertung des Dis-Komforts der Griffschale durchgeführt wird. Um den Probanden klare Bewertungsrichtlinien vorzugeben, wurde neben den Zielvorgaben im Schulungsvideo eine Übersicht der wichtigsten Schlüsselkriterien mit den jeweiligen Anforderungen vorgelegt. Tabelle 31 zeigt die Fragen, welche den Probanden nach der praktischen Erprobung des modularen Akkuschaubers für jede Griffgeometrie vorgelegt wurden.

²⁸⁸ Matthiesen und Germann (2018).

Tabelle 31: Definierte Schlüsselkriterien zur Bewertung der Anwendungseignung der Griffgeometrie, sowie des insgesamt empfundenen Dis-Komforts

Q2	Die Druckverteilung auf der Handfläche ist...	5 pkt. SD
Q3	Die Druckverteilung auf den Fingern ist...	5 pkt. SD
Q4	Das Handling (räumliche Kontrolle) des Geräts ist...	5 pkt. SD
Q5	Die Erreichbarkeit und Bedienung des Triggers ist...	5 pkt. SD
Q6	Der Griff besitzt unangenehme Formkanten	2 pkt. N
Q1 / Q7	Wie groß ist der Dis-Komfort bei der Benutzung der Geräte?	14 pkt. LS

Frage Q2 – Q5 wird mittels eines 5-stufigen semantischen Differentials (SD) abgefragt (*sehr angenehm / gut – sehr unangenehm / schlecht*), Frage Q6 wird auf einer Nominalskala (N) eingeordnet (*Ja / Nein*) und bietet die zusätzliche Möglichkeit der Freitext Konkretisierung. Frage Q7 ermittelt erneut den insgesamt empfundenen Dis-Komfort bei der Benutzung des modularen Akkuschaubers mittels einer 7 stufigen-Likert Skala mit Zwischenschritten (LS), wie Abbildung 39 zu entnehmen ist.

7.1.2.4 Analyse der Versuchsdaten

Sämtliche statistische Analysen wurden mit SPSS v. 24 durchgeführt.

Übertragbarkeit der Forschungsansätze auf neue Entwicklungsfragestellungen:

Damit die Übertragbarkeit des Reduktionsansatzes zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Expertise in der Anwendung auf neue Entwicklungsfragestellungen bewertet werden kann, wird in Anlehnung an die Forschungsergebnisse von Lee et al. und Rockwell und Marras, welche die Arbeitshaltung der Probanden in den direkten Bezug zum Grad der Expertise des Anwenders bringen, die Arbeitshaltung während der Versuchsdurchführung analysiert²⁸⁹. Hierbei werden stichprobenweise die Arbeitshaltungen der Probanden mit denen im Video vorgegebenen Haltungen verglichen und die Übereinstimmung bewertet. Zusätzlich werden die Probanden nach Ende des Experiments hinsichtlich des wahrgenommenen Schulungserfolgs interviewt.

²⁸⁹ Lee et al. (1997); Rockwell und Marras (1986).

Da der Einfluss der Marke durch den Aufbau des modularen Akkuschraubers vollständig reduziert sein sollte, wird während der Versuchsdurchführung darauf geachtet, ob die Probanden Bezüge zu Herstellermarken herstellen, was das Versuchsergebnis beeinflussen könnte.

Analyse der wahrgenommenen Anwendungseignung hinsichtlich des Einflusses von Störgrößen:

Zur initialen Überprüfung eines Störgrößeneinflusses auf die Bewertungen der wahrgenommenen Anwendungseignung der Griffgeometrie werden die Bewertungsdaten für die drei Griffschalen in Histogrammen geplottet und einer Normalverteilung gegenübergestellt. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich auf Grund der geringen Griffgeometrieunterschiede und den in etwa normalverteilten Handabmessungen der Probanden ebenfalls eine Normalverteilung der Griffschalenbewertungen einstellen muss. Zur Identifizierung potentieller Störgrößen, welche zu Abweichungen der Versuchsergebnisse führen, wird eine Korrelationsanalyse durchgeführt. Zur Quantifizierung des Einflusses von identifizierten Störgrößen auf die Bewertungen werden mit Hilfe von Varianzanalysen, Häufigkeitsverteilungen und Boxplot-Diagrammen die Ergebnisse auf signifikante Zusammenhänge hin überprüft und deren Effektstärke berechnet. Zur besseren Übersicht gibt Tabelle 34 einen Überblick über die durchgeführten statistischen Untersuchungen:

Tabelle 32: Versuchsvariablen zur Analyse von störgrößenbehafteten Ergebnissen der wahrgenommenen Anwendungseignung

Testform	Abhängige Var.	Unabhängige Var.
Korrelationsanalyse	Dis-Komfort Bewertungen	Im Fragebogen spezifizierte Druckstellen und Formkanten
Varianzanalyse	Dis-Komfort Bewertungen	Einfluss von Druckstellen be- rücksichtigt (ja / nein)

Ansatz zur Aufbereitung von störgrößenbeeinflussten Versuchsdaten:

Werden Versuche durchgeführt, bei denen sich im Nachhinein der Einfluss von Störgrößen herausstellt, stellt sich die Frage, inwieweit die Versuchsdaten dennoch zur Ableitung von objektiven, differenzierten Entwicklungszielen und der Bewertung von Entwicklungsständen genutzt werden können. Um einen Ansatz zur Nutzung solcher Versuchsdaten vorzustellen, wird eine Aufbereitung der Daten am Beispiel der Bewertung der Griffschalen gezeigt. Hierbei erfolgt eine Dimensionsreduktion der Bewertung, indem die Bewertungsergebnisse von der erfassten Absolut-Bewertung der einzelnen Griffschalen in eine Relativ-Bewertung umgerechnet werden.

7.1.3 Ergebnisse

7.1.3.1 Übertragbarkeit der Reduktionsansätze auf neue Entwicklungsfragestellungen

Zur Überprüfung der Übertragbarkeit der entwickelten Reduktionsansätze bekannter Störgrößen auf die Entwicklungsfragestellung der Griffgeometrieoptimierung von Akkuschaubern wurde der durch das Schulungsvideo erzielte Lernerfolg beurteilt. Basierend auf den in der Schulung nähergebrachten Kriterien zur professionellen Verwendung des Akkuschaubers in den unterschiedlichen Anwendungen wurden Kriterien zur Bewertung abgeleitet. Eine wesentliche Forderung innerhalb der Schulung war der stabile Stand in Schrittposition, wodurch mit dem Körpergewicht das Gerät deutlich effizienter angepresst werden kann und so ausreichend Vorschubkraft aufgebracht wird, um ein Abrutschen des Bits zu verhindern. Wie in Abbildung 40 auszugsweise ersichtlich, hat der Großteil der Probanden diese Forderung umgesetzt und konnte ohne Probleme mit dem Akkuschauber die Anwendungsfälle durchführen. Ebenso wurde der zweite relevante Schulungshinweis überwiegend korrekt umgesetzt, wobei der Anwender des Akkuschaubers seine zweite Hand zum zusätzlichen Anpressen des Geräts verwenden soll. Die Schulung wurde im Allgemeinen durch die Probanden nach Versuchsdurchführung im Interview als positiv und sinnvoll bewertet.

Die Beurteilung, inwieweit der Einfluss der Marke durch den Aufbau des modularen Akkuschaubers vermieden werden konnte, wird anhand des Probandenfeedbacks durchgeführt. Keiner der Probanden äußerte während der Versuchsdurchführung eine vermutete Marke, weshalb ein Markeneinfluss

weitestgehend ausgeschlossen wird. Der auffallend prototypische Aufbau des modularen Akkuschraubers wurde jedoch von einigen Probanden angemerkt. Aufgrund dessen muss der Einfluss dieses Aspekts auf die Bewertung der Griffschalen weiter untersucht werden.

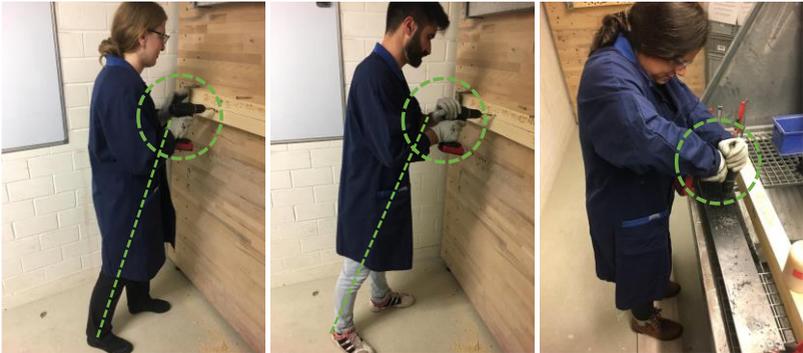


Abbildung 40: Arbeitshaltung von geschulten, nicht professionellen Probanden²⁹⁰

7.1.3.2 Identifikation unbekannter Störgrößen bei der Bewertung der Griffgeometrie

Zur Überprüfung der erfassten Versuchsdaten auf den Einfluss von Störgrößen wird die Verteilung der Dis-Komfort-Bewertungsergebnisse mit einer Normalverteilung verglichen, welche sich bei gegebener Stichprobenanzahl und den geringen Griffgeometrieunterschieden einstellen müsste. Zu diesem Zweck werden die Bewertungsergebnisse der drei Griffschalen des modularen Akkuschraubers in Histogrammen dargestellt und der grafischen Normalverteilung gegenübergestellt. Wie anhand der Griffschalenbewertung in Abbildung 41 ersichtlich, weichen die Bewertungen des Dis-Komforts der Griffschalen deutlich von einer Normalverteilung ab.

²⁹⁰ Germann und Ribadeneira et al. (2019).

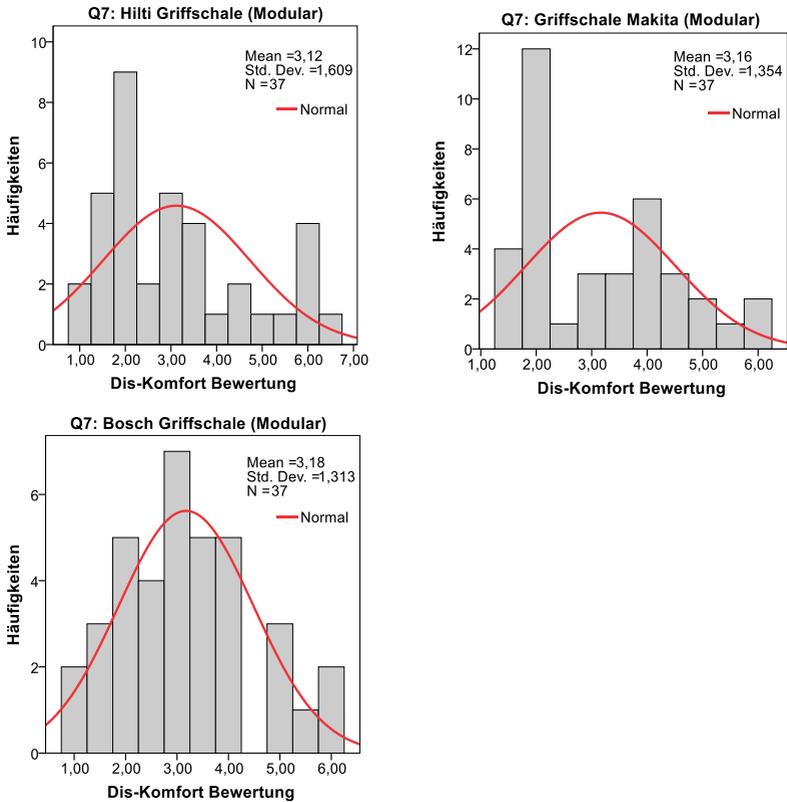


Abbildung 41: Ungefilterte Dis-Komfortbewertung der Griffschale von Makita²⁹¹

Zusätzlich zur grafischen Prüfung auf Normalverteilung werden die Versuchsdaten mit Hilfe eines Shapiro-Wilk Tests auf Normalverteilung geprüft (Tabelle 33). Die Hypothese, dass eine Normalverteilung angenommen werden kann, kann für die Bewertungen der Griffschalen von Hilti_(Modular) ($p = 0,002$) und Makita_(Modular) ($p = 0,002$) abgelehnt werden. Die nahezu signifikanten Versuchsergebnisse der Griffschale von Bosch_(Modular) weisen ebenfalls auf keine Normalverteilung der Versuchsdaten hin ($p = 0,160$).

²⁹¹ Germann und Ribadeneira et al. (2019).

Tabelle 33: Shapiro-Wilk Test zur Analyse der Dis-Komfortbewertung auf Normalverteilung

	Statistik	df	Sig.
Q7 _{Bosch(modular)}	,957	37	,160
Q7 _{Hilti(modular)}	,895	37	,002
Q7 _{Makita(modular)}	,892	37	,002

Die Charakteristika der Histogramme aus Abbildung 41 lassen auf eine Zweiteilung der Bewertungen schließen, wobei ein Bewertungspeak bei etwa 2,0 (*sehr geringer Dis-Komfort*) und ein Peak bei etwa 4,0 (*mäßiger Dis-Komfort*) identifiziert werden kann.

Mit Hilfe einer Rangkorrelationskoeffizienten-Analyse nach Spearman, welche sich für die Analyse von nicht normalverteilten Daten eignet, werden die Daten hinsichtlich möglicher Zusammenhänge analysiert. Hierbei stellt sich der Einfluss von wahrgenommenen Druckstellen auf der Handfläche und den Fingern, bzw. unangenehmen Formkanten der Griffschale als relevant heraus ($r = 0,535$; $p < 0,001$). Weiterhin kann eine deutliche Korrelation zwischen der Gesamtbewertung der Griffschalen und der Reihenfolge der Griffschalenbewertung festgestellt werden ($r = -0,300$; $p < 0,001$). Zur weiteren Analyse des Einflusses durch die wahrgenommenen Druckstellen und Formkanten (im Folgenden unter *Druckstellen* zusammengefasst) wurden die Bewertungsergebnisse mit Hilfe einer Häufigkeitsanalyse analysiert. Dabei wird die Häufigkeit der im Fragebogen angemerkten Druckstellen auf der Handfläche und den Fingern (Q2 bzw. Q3) und die in Frage Q6 wahrgenommenen Formkanten (Frage Q6) im Vergleich zum Gesamtumfang der Stichprobe aufgezeigt (Tabelle 34). Vor allem die Nennung von negativen Druckstellen *zwischen dem Daumen und dem Zeigefinger* tritt in durchschnittlich 19,3 % aller Bewertungen auf. Zusammengefasst werden in 44,8 % aller Bewertungen ein oder mehrere Druckstellen oder Formkanten negativ wahrgenommen. Die Ergebnisse der Häufigkeitsanalyse weisen auf eine relevante Beeinflussung der Bewertungsergebnisse der Griffgeometrie durch den Einfluss der wahrgenommenen Druckstellen hin. Die beanstandeten Druckstellen können dabei Geometrieabweichungen zugeordnet werden, welche auf Grund der prototypischen Bauweise entstanden sind. Hierbei ist vor allem die Teilung der Griffschalen, die unvollständige Rundung unterhalb des Triggers und der Übergang zwischen Griffschale und Restgehäues als kritisch anzusehen.

Tabelle 34: Analyse der Griffgeometriebewertungen hinsichtlich wahrgenommener Druckstellen und Formkanten

Angemerkte Druckstellen & Formkanten	Griffschale			Gesamt n = 145	
	Bosch (Modular) n = 48	Makita (Modular) n = 49	Hilti (Modular) n = 48		
Zwischen Dau- men und Zeigefin- ger	Anzahl	11	7	10	28
	%	22,9	14,3	20,8	19,3
Am Handballen	Anzahl	2	5	0	7
	%	4,2	10,2	0,0	4,8
Auf Handfläche und Fingern	Anzahl	0	5	5	10
	%	0,0	10,2	14,0	6,9
Einzelne Finger	Anzahl	1	9	2	12
	%	2,1	18,9	4,2	8,3
Mehrere Finger	Anzahl	2	0	6	8
	%	4,2	0,0	12,5	5,5
Gesamt	Anzahl	16	26	24	66
	%	33,3	53,1	47,9	44,8

Mit Hilfe einer Varianzanalyse (ANOVA) wird daher der Unterschied zwischen Griffschalenbewertungen bei denen Druckstellen im Fragebogen angemerkt worden sind (*mit Druckstellen*) und Bewertungen ohne angemerkte Druckstellen (*ohne Druckstellen*) untersucht. Die Ergebnisse dieser Varianzanalyse sind in Tabelle 35 abgebildet Für alle drei der bewerteten Griffschalen ergibt sich ein hochsignifikanter ($p < 0,001$) Unterschied zwischen Bewertungen, bei welchen Druckstellen im Fragebogen angegeben wurden und denen, bei welchen keine Druckstellen angemerkt wurden, welcher sich jeweils mit einem mittelstarken Effekt nach Cohen ($r > 0,25$) auf die Dis-Komfort Bewertung auswirkt.

Tabelle 35: Analyse der Bewertungsunterschiede bei Bewertungen mit und ohne deklarierte Druckstellen

Griffschale	mit		ohne		ANOVA		
	Druckstellen		Druckstellen		F	p-Wert	Eta ²
	Bw.	s	Bw.	s			
Bosch _(Modular)	4,04	1,290	2,26	,986	17,572	< ,001**	,272
Hilti _(Modular)	3,85	1,409	2,34	1,068	15,917	< ,001**	,253
Makita _(Modular)	3,98	1,228	2,41	,934	24,777	< ,001**	,340

**zweiseitig signifikant mit $\alpha=0,05$

Neben dem Einfluss durch die wahrgenommenen Druckstellen wurde der Einfluss der Benutzungsreihenfolge der drei Griffschalen auf die Bewertungsergebnisse analysiert. Ausgehend von der Hypothese, dass bei ausgeglichener Anzahl aller möglichen Bewertungsreihenfolgen eine im Durchschnitt gleiche Bewertung für alle Bewertungszeitpunkte erzielt werden müsste, wurden die vier Bewertungszeitpunkte analysiert. Abbildung 42 und Abbildung 43 stellen hierbei den Median und die Streubreite der Bewertungsergebnisse zu den vier Zeitpunkte dar. Jeder Zeitpunkt enthält dabei die Bewertungen aller drei unterschiedlichen Griffschalen. Die Auswertung wurde unter Berücksichtigung des starken Einflusses durch die wahrgenommenen Druckstellen in zwei Kategorien aufgeteilt. In der ersten Kategorie werden nur Bewertungen berücksichtigt, bei welchen keine Druckstellen von den Probanden angemerkt worden (Abbildung 42) sind und in der zweiten Kategorie werden lediglich Bewertungen aufgelistet, bei denen Druckstellen im Fragebogen angemerkt worden sind. Bei den Bewertungen der zweiten Kategorie (Abbildung 43) kann vor allem für den dritten aber auch für den vierten Bewertungszeitpunkt die Tendenz festgestellt werden, dass Probanden den Dis-Komfort der Griffschalen zu diesen Bewertungszeitpunkt als deutlich geringer empfinden.

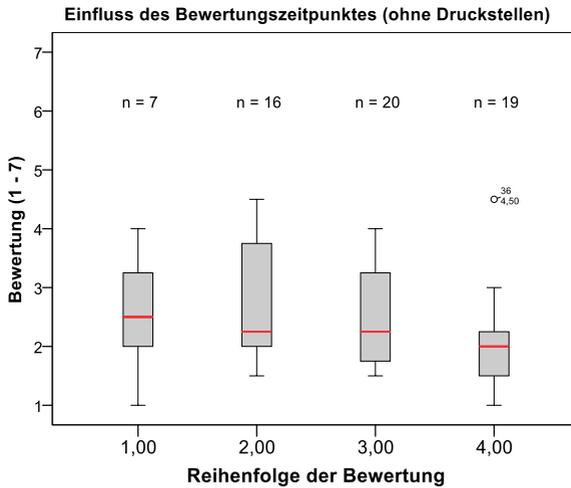


Abbildung 42: Einfluss des Bewertungszeitpunktes bei Bewertungen ohne Angabe von Druckstellen²⁹²

Im Vergleich dazu sind die Dis-Komfortbewertungen aus der ersten Kategorie, bei denen keine Druckstellen von den Probanden angemerkt wurden (Abbildung 43, unten), wesentlich gleichbleibender über die vier Bewertungszeitpunkte hinweg.

²⁹² Germann und Ribadeneira et al. (2019).

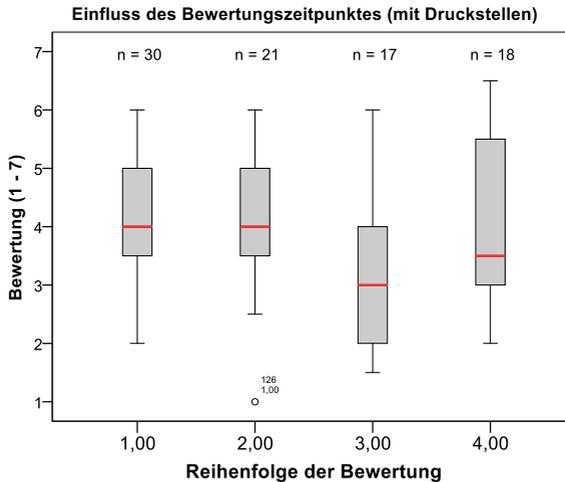


Abbildung 43: Einfluss des Bewertungszeitpunktes bei Bewertungen mit Angabe von Druckstellen²⁹³

7.1.3.3 Ansatz zur Aufbereitung von störgrößenbeeinflussten Versuchsdaten

Zur Aufbereitung von Versuchsdaten, welche durch den Einfluss von Störgrößen verzerrt werden, wird am Beispiel der Griffschalenbewertung ein Datenaufbereitungsansatz vorgestellt. Aufgrund der signifikanten Bewertungsunterschiede zwischen Bewertungen, bei welchen Druckstellen von Probanden angemerkt worden sind und denen, bei welchen keine angemerkt wurden, sind die Versuchsdaten für die Ableitung von objektiven, differenzierten Entwicklungszielen nicht geeignet (vgl. Abbildung 41). Problematisch ist hierbei vor allem das unterschiedliche Bewertungsausgangsniveau der Probanden, wobei Probanden, welche Druckstellen bei der Bewertung angemerkt haben, von einer deutlich schlechteren Basisbewertung ausgehen. Um dennoch sämtliche Versuchsdaten nutzen zu können, werden im Folgenden die Absolut-Bewertungen in Relativ-Bewertungen zwischen den Griffschalen umgerechnet. Hierbei werden die Bewertungen der Griffschale Hilti_(Modular) als Referenz genutzt

²⁹³ Germann und Ribadeneira et al. (2019).

und jeweils die Bewertung der Griffschale Makita_(Modular) und Bosch_(Modular) von dieser subtrahiert, wodurch die Bewertungsdifferenzen zwischen den Griffschalen berechnet werden. Zum Ausschluss von Ausreißern wurden die Daten zusätzlich mittels einer 2-Sigma Standardverteilung gefiltert, wodurch besonders extreme Bewertungen aus der Auswertung ausgeschlossen wurden. Wie die Ergebnisse in Abbildung 44 zeigen, kann durch den vorgestellten Ansatz eine Normalverteilung der Bewertungen mit vergleichsweise geringen Standardabweichungen angenommen werden, welche deutlich weniger durch Störgrößeneinflüsse verzerrt werden. Zusätzlich kann in Tabelle 36 gezeigt werden, dass der Shapiro-Wilk Test in keiner der Berechnungen ein signifikantes Ergebnis erzielt, weshalb die Hypothese, dass eine Normalverteilung angenommen werden kann, nicht abgelehnt werden kann, was für die Normalverteilung der Daten spricht.

Tabelle 36: Shapiro-Wilk Test zur Analyse der Bewertungsdifferenzen auf Normalverteilung

	Statistik	df	Sig.
$Q7_{Hilti \text{ vs. } Makita}$,972	32	,542
$Q7_{Hilti \text{ vs. } Bosch}$,967	32	,417
$Q7_{Bosch \text{ vs. } Makita}$,976	32	,693

Mit einem um durchschnittlich 0,41, bzw. 0,35 geringer wahrgenommenen Dis-Komfort wird die Griffschale von Hilti_(Modular) von den Probanden im Vergleich als am angenehmsten wahrgenommen. Der Dis-Komfort der Griffschalen von Bosch_(Modular) und von Makita_(Modular) wird fast gleich wahrgenommen (mittlere Differenz = 0,06). Allgemein sind die Bewertungsunterschiede sehr gering und es können keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bewertungen festgestellt werden.

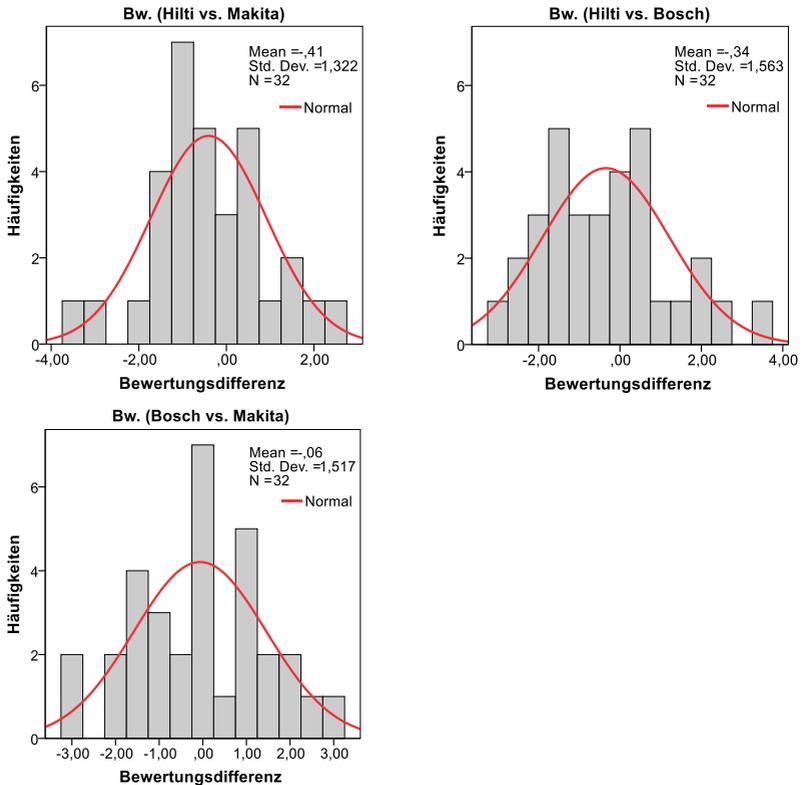


Abbildung 44: Berechnete Bewertungsdifferenzen zwischen den Griffschalen²⁹⁴

7.1.4 Diskussion

„Wie kann der Einfluss von Störgrößen bei der Erfassung und Bewertung der empfundenen Anwendungseignung eines Power-Tools reduziert werden und wie kann dieses Wissen in der nutzerzentrierten Produktentwicklung angewandt werden?“ – Ausgehend von dieser zentralen Frage wurden in vorange-

²⁹⁴ Germann und Ribadeneira et al. (2019).

gangenen Forschungsarbeiten an unterschiedlichen Beispielsystemen Reduktionsansätze aufgebaut, welche den Einfluss von bekannten Störgrößen auf die empfundene Anwendungseignung vermindern. Zur Verifizierung dieser Forschungsansätze wurde innerhalb Kapitel 7.1 die Übertragbarkeit der Ansätze auf neue Entwicklungsfragestellungen geprüft. Am Beispiel der Komfortbewertung von Akkuschrauber Griffgeometrien wurden die in Kapitel 6.1 und 6.2 entwickelten Ansätze zur Berücksichtigung der Störgröße der unterschiedlichen *Expertise in der Anwendung* und des *Markeneinflusses* angewandt²⁹⁵. Zur Verifizierung des in Kapitel 6.1 entwickelten Ansatzes zur Berücksichtigung der Störgröße der unterschiedlichen *Expertise in der Anwendung* wurde ein Schulungskonzept entwickelt, welches den nicht professionellen Anwender in die Lage versetzen soll, Akkuschrauber professionell zu benutzen und diese anhand von relevanten Bewertungskriterien zu beurteilen²⁹⁶. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Schulung zur professionellen Benutzung von den Probanden erfolgreich angenommen worden ist, wobei der Großteil der Probanden die Inhalte der Schulung umgesetzt und den modularen Akkuschrauber auf professionelle Art und Weise benutzt hat. In Anlehnung an die Forschungsergebnisse von Lee et al. und Rockwell und Marras, welche das Ausmaß der professionellen Benutzung eines Power-Tools in den direkten Bezug zum Grad der Expertise des Anwenders bringen, weisen diese Ergebnisse auf eine gute Anwendbarkeit des Ansatzes zur Reduktion des Einflusses durch die unterschiedliche Expertise hin²⁹⁷. Eine quantitative Beurteilung des Schulungserfolges zur Steigerung der Expertise ist mit bestehenden Methoden aus dem Stand der Forschung allerdings nicht möglich, weshalb die Frage der Anwendbarkeit und Übertragbarkeit nicht abschließend geklärt werden kann. Im Fokus zukünftiger Forschungsaktivitäten sollte daher auch die Identifizierung objektiv messbarer Bewertungskriterien zur Erfassung der Expertise stehen, welche eine quantitative Beurteilung erlauben würde. Weiterhin wurde innerhalb des Experiments versucht, den Einfluss der Marke auf die Bewertung der wahrgenommenen Anwendungsqualität zu minimieren. Um dies zu realisieren, wurde ein Akkuschrauber mit modular austauschbaren Griffschalen aufgebaut. In Folge dieser Anpassung wurden während der Bewertung keinerlei Bezüge zu den Herstellern gezogen, weshalb davon ausgegangen wird, dass eine markeneinflussungsfreie Bewertung durchgeführt worden ist.

²⁹⁵ Germann et al. (2018); Germann und Jahnke et al. (2019).

²⁹⁶ Germann und Jahnke et al. (2019).

²⁹⁷ Lee et al. (1997); Rockwell und Marras (1986).

Im Gegenzug zu dem gewollten Effekt der Reduktion des Markeneinflusses auf die Versuchsdaten, kommt es durch den Einsatz des modularen Akkuschraubers zum Auftreten von neuen, bzw. unbekanntem Störgrößeneffekten, welche die Versuchsergebnisse verzerren und die Ableitung von kundenoptimierten Entwicklungszielen verhindern. Zur Analyse dieses unbekanntem Störgrößeneinflusses wurde ein Vorgehen entwickelt, welches die Identifizierung der Störgrößen ermöglicht. Ausgehend von dem während des Experiment beobachteten Phänomen, dass die Probanden sehr unterschiedlich auf die prototypische Bauart des Akkuschraubers bei der Bewertung reagiert haben, wurden die Versuchsdaten hinsichtlich möglicher Ursachen analysiert. Hierbei konnte durch die systematische Analyse von möglichen Einflussparametern eine Tendenz der Probanden identifiziert werden, wobei bestimmte Usability-Aspekte, wie beispielsweise zu große Spaltmaße oder Formkanten, bewusst nicht negativ bewertet wurden, und stattdessen aufgrund des nicht finalen Entwicklungsstandes weniger kritisch bewertet wurden. So wurden die aufgrund der prototypischen Bauweise aufgetretenen Ecken und Formkanten am modularen Akkuschrauber, welche zu Druckstellen an der Hand führten, recht kontrovers bewertet. Während in etwa die Hälfte der Probanden den Dis-Komfort während der Benutzung der Griffschalen als mäßig stark bewertet hat, bewertete die andere Hälfte der Probanden den Dis-Komfort während der Benutzung im Schnitt als sehr gering. Ein solches Bewertungsverhalten der Probanden führt zu dem Problem, dass die Übertragbarkeit der erfassten Daten auf Serienprodukte in Frage gestellt werden muss. Werden diese Erkenntnisse mit denen von Jacoby et al. verglichen, welche bei der Durchführung von Blindtests feststellen konnten, dass Probanden teilweise durch das geänderte Erscheinungsbild eines Produktes zu einem übermäßig sympathisierenden Verhalten tendieren, erscheint es umso relevanter weitere Untersuchungen hinsichtlich des Bewertungseinflusses von angepassten Produktvarianten und unterschiedlichen Entwicklungsständen durchzuführen²⁹⁸. Aus den Ergebnissen wird daher geschlossen, dass die unbekannte Störgröße als der Einfluss der *Produktreife* gesehen werden kann, welche bei der Durchführung von Probandenstudien berücksichtigt und in zukünftigen Studien genauer untersucht werden sollte.

Zur weiteren Analyse der Versuchsdaten hinsichtlich des Einflusses von unbekanntem Störgrößen, wurde, basierend auf dem Stand der Forschung, der Ein-

²⁹⁸ Jacoby et al. (1977).

fluss der anthropometrischen Maße der Hände der Probanden auf den subjektiven Dis-Komfort untersucht. Entgegengesetzt zum erwarteten Ergebnis konnte keine signifikante Abhängigkeit zwischen der Wahl der Griffschale und der Handgröße gefunden werden. Auf Grund der nachgewiesenen starken Beeinflussung durch die wahrgenommenen Druckstellen wird daher die Hypothese aufgestellt, dass Usability-Aspekte mit hoher Effektstärke, Aspekte mit geringerem Einfluss überdecken und deren Einfluss von Probanden nicht mehr berücksichtigt werden kann. Sollte diese Hypothese zutreffen, würde dies dazu führen, dass mit steigender Anwendungseignung eines Produkts neue Usability-Aspekte relevant werden, welche in früheren Produktgenerationen nicht aufgetreten sind und damit die Anforderungen an Produkte mit besonders hoher Anwendungseignung sich von denen mit niedrigerer deutlich unterscheiden.

Ausgehend von den Ergebnissen der Korrelationsanalyse, konnte eine deutliche Beeinflussung der Versuchsdaten in Abhängigkeit des Bewertungszeitpunktes festgestellt werden. Hierbei ist auffällig, dass Probanden, welche unangenehme Druckstellen oder Formkanten im Bewertungsbogen angemerkt haben, die randomisiert zur Verfügung gestellten Griffschalen mit der Zeit im Mittel immer positiver bewerten. Im Vergleich dazu tritt dieser Trend bei Bewertungen, bei denen die Druckstellen weniger stark berücksichtigt wurden, deutlich schwächer auf. Zusätzlich fällt bei der Verteilung der Bewertungen auf, dass die jeweils als erstes bewertete Griffschale von fast allen Probanden als unangenehm hinsichtlich wahrgenommener Druckstellen bewertet wurde. Mit steigender Bewertungsdauer werden dann jedoch immer weniger Druckstellen angemerkt und die Schalen deutlich positiver bewertet. Die Ergebnisse lassen dabei auf einen starken Störgrößeneinfluss des *Gewöhnungseffektes* schließen, der umso stärker auftritt, desto intensiver der wahrgenommene Dis-Komfort ist. Mit dem Ziel eines reliablen Versuchsaufbaus erscheint auch hier die Durchführung weiterer Forschungsstudien sinnvoll, um genaue Zusammenhänge zu erfassen.

Abschließend wurde das Ziel verfolgt, einen Ansatz aufzuzeigen, welcher die Aufbereitung von störgrößenbehafteten Versuchsdaten ermöglicht, um die differenzierte Bewertung und Ableitung von Entwicklungszielen zu ermöglichen. Entsprechend sollte am Beispiel der Griffgeometriebewertung die Frage geklärt werden, inwieweit Probanden in der Lage sind, zueinander ähnliche Griffgeometrien differenziert und reproduzierbar zu bewerten, wenn der Einfluss von bekannten Störgrößen vermieden wird. Die Ergebnisse (Abbildung 41) zeigen,

dass der einfache Vergleich der Mittelwerte oder Mediane nicht zielführend ist, da jeder Proband auf der Bewertungsskala ein individuelles Ausgangsniveau auf Grund der Störgrößenbeeinflussung annimmt, wodurch eine Normalverteilung der Bewertungsergebnisse nicht erreicht werden kann. Zur Steigerung der Ergebnisgüte wurde daher die Bewertungsdifferenz zwischen den Probandenbewertungen der Griffschalen berechnet, wodurch der relative Qualitätsunterschied jeder Griffschale aus der Sicht des einzelnen Probanden gemessen werden kann. Störgrößeneinflüsse, welche überwiegend das Ausgangsniveau der Bewertung beeinflussen, können so fast vollständig vermieden werden. So kann beispielsweise die Zweiteilung der Versuchsdaten durch die negativ aufgefallenen Druckstellen und Formkanten der Griffschalen durch die Berechnung der Bewertungsdifferenz größtenteils aufgehoben und normalverteilte, differenzierte Bewertungsergebnisse erzielt werden. Trotz dieser deutlichen Verbesserung der Versuchsdaten weist die vergleichsweise große Streuung der Bewertungsdifferenzen allerdings auch darauf hin, dass die Bewertung der Griffschalen für die Probanden relativ schwierig war, weshalb keine signifikanten Unterschiede erfasst werden konnten. Aus Sicht des Autors spielt hier vor allem der große Einfluss des Usability-Aspekts der Druckstellen und Formkanten eine entscheidende Rolle. Je nach Ziel der Untersuchung muss daher in zukünftigen Studien im Vorfeld zunächst untersucht werden, ob der zu untersuchende Usability-Aspekt entsprechend auch den intensivsten Einfluss auf die Bewertung der Anwendungseignung hat, um eindeutig differenzierte Bewertungen zu erhalten. Im Vergleich zu den Arbeiten von Llinares und Page scheinen diese Erkenntnisse schlüssig zu sein, wobei diese postulieren, dass es stets einen vorrangigen Aspekt gibt, welcher einen signifikanten Einfluss auf die empfundene Anwendungseignung hat²⁹⁹.

7.1.5 Zwischenfazit zur Anwendbarkeit der Reduktionsansätze in Entwicklungsprojekten

Werden Probandenversuche durchgeführt, innerhalb welcher die Anwendungseignung eines Produkts bewertet werden soll, so sollte der Einfluss von Störgrößen beachtet werden, um objektive, differenzierte Entwicklungszielgrößen auf Basis der Ergebnisse ableiten zu können. Zur Berücksichtigung des Störgrößeneinflusses der *Marke* und der unterschiedlichen *Expertise in der Anwendung* wurden Ansätze entwickelt, deren Übertragbarkeit und Anwendbarkeit auf

²⁹⁹ Llinares und Page (2011).

neue Entwicklungsfragestellungen überprüft wurden. Die Studienergebnisse weisen darauf hin, dass durch die entwickelten Ansätze sowohl der Einfluss durch den Herstellernamen als auch durch den unterschiedlichen Grad der Expertise reduziert werden konnte. Aufgrund der fehlenden Möglichkeit zur quantitativen Bewertung des Störgrößeneinflusses können diese Aussagen bisher lediglich auf Basis von weichen Kriterien getätigt werden, weshalb eine zukünftige Forschungsaktivität die Identifikation von messbaren, eindeutigen Bewertungskriterien sein muss. Weiterhin wurde innerhalb des Experiments ein Vorgehen erarbeitet, welches die Identifikation von unbekanntem Störgrößen ermöglicht. Dabei konnten zwei neue Störgrößen identifiziert werden, die im Sinne einer objektiven Versuchsdurchführung beachtet werden sollten. Hier zeigt sich zum einen der potentiell große Einfluss der Störgröße durch die *Produktreife* und zum anderen der Einfluss des *Gewöhnungseffektes*, wobei in der durchgeführten Studie deutliche Anzeichen für die signifikante Beeinflussung der Anwendungseignung gefunden werden konnten. Neben der Identifikation von unbekanntem Störgrößen wurde innerhalb des durchgeführten Experiments ein Vorgehen aufgezeigt, welches zur Aufbereitung von störgrößenbehafteten Versuchsdaten eingesetzt werden kann. Das Vorgehen führt dabei zur deutlichen Reduktion des Störgrößeneinflusses, wobei der Effekt eines stark streuenden Bewertungsausgangsniveaus der Probanden vermieden werden kann. Weiterhin konnten Anzeichen identifiziert werden, welche den Schluss nahelegen, dass mit steigender Einflussintensität einzelner Usability-Aspekte, der Einfluss von schwächer differenzierten Usability-Aspekten durch Probanden nicht berücksichtigt werden kann. Sollen entsprechend Produkte bezüglich der wahrgenommenen Anwendungseignung optimiert werden, kann dies zunächst nur hinsichtlich des vorrangig bzw. am dominantesten wahrgenommenen Usability-Aspekts erfolgen. Der für eine Produktgeneration erfasste Entwicklungsbedarf, zur Optimierung der wahrgenommenen Anwendungseignung, wird sich entsprechend bei jeder Produktgeneration verändern. Soll entsprechend eine differenzierte Produktbewertung durchgeführt werden, so kann dies dadurch erschwert werden, dass einzelne Usability-Aspekte intensiver ausgeprägt sind und die eigentlich im Fokus stehenden differenzierenden Unterschiede nur schwer von Probanden auseinandergelassen werden können.

Abschließend wird basierend auf den aufgebauten Erkenntnissen dieses Versuchs das eingangs betrachtete Bild (Abbildung 35) zum Zusammenhang zwischen Usability-Aspekten, Störgrößen und Reduktionsansätzen und deren Einfluss auf die wahrgenommene Anwendungseignung erweitert (Abbildung 45). Wie sich im Laufe des Experiments gezeigt hat, kann es durch den Einsatz von

Reduktionsansätzen zu dem Effekt kommen, dass zusätzliche, bis dato nicht vorhandene Störgrößen auftreten, welche einen direkten Einfluss auf die wahrgenommene Anwendungseignung haben. Eine zentrale Forderung beim Aufbau von Reduktionsansätzen muss es daher zukünftig sein, dass die Anwendung der Ansätze zu keinen wesentlichen neuen Störgrößeneinflüssen führt. Sollte es durch den Einsatz eines Reduktionsansatzes dennoch zum Auftreten neuer Störgrößen kommen, müssen diese bewusst beim Versuchsaufbau berücksichtigt werden. Abbildung 45 wird entsprechend dieser Ausführungen um den Verbindungspfad zwischen den Reduktionsansätzen und den Störgrößen ergänzt.

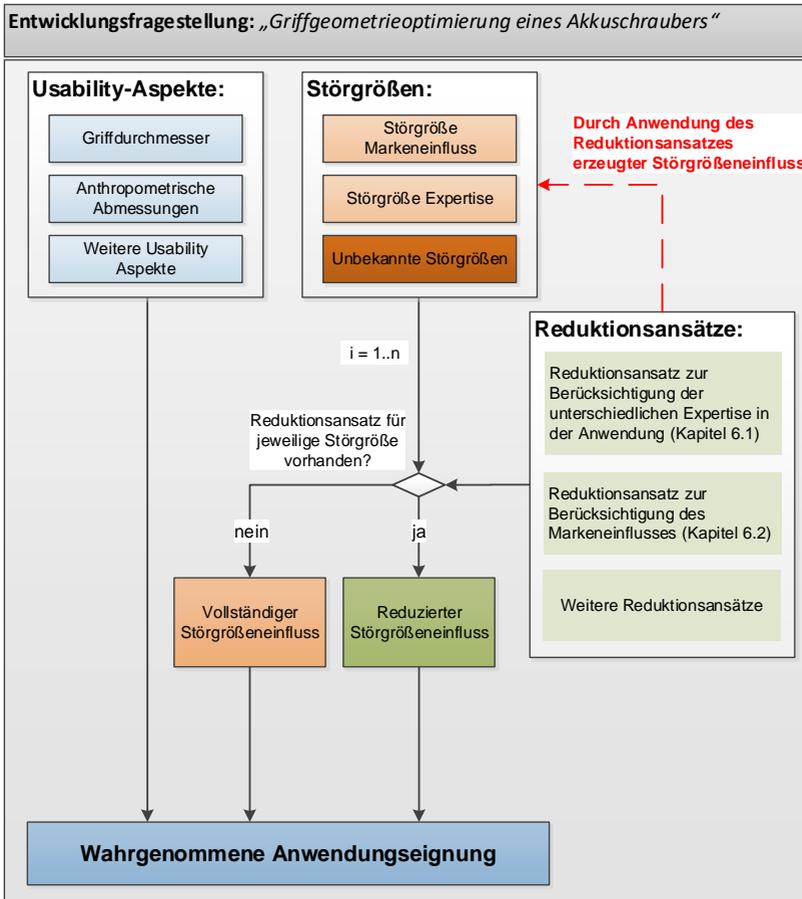


Abbildung 45: Erweiterte Darstellung zu Einflussgrößen auf die Bewertung der wahrgenommenen Anwendungseignung

Die Ergebnisse und Erkenntnisse der durchgeführten Studie helfen bei der Verifikation der in dieser Arbeit entwickelten Forschungsansätze und dienen zur Beantwortung folgender Forschungshypothese H3.1:

Die entwickelten Ansätze zur Störgrößenreduktion des Markeneinflusses sowie der unterschiedlichen Expertise können auf neue Entwicklungsfragestellungen angewandt und dadurch der Einfluss unbekannter Störgrößen analysiert werden.

- Der entwickelte Ansatz zur Reduktion des Störgrößeneinflusses der unterschiedlichen Expertise in der Anwendung kann auf neue Entwicklungsfragestellungen übertragen werden und hilft bei der professionellen Benutzung und Bewertung von Power-Tools.
- Für eine objektive Beurteilung des Schulungserfolges zur professionellen Benutzung von Power-Tools, werden neue, quantitativ messbare Bewertungskriterien benötigt.
- Durch den Einsatz eines modularen Versuchs-Power-Tools kann der Störgrößeneinfluss der Marke vermieden werden und Versuche unter gleichbleibenden Randbedingungen durchgeführt werden.
- Je nach Erscheinungsbild und Fertigungsgüte des zu bewertenden Power-Tools tritt der Störgrößeneinfluss der *Produktreife* unterschiedlichen stark auf, welcher sich signifikant auf die Bewertung der wahrgenommenen Anwendungseignung auswirken kann.
- Werden ähnliche Produktvarianten miteinander verglichen, tritt mit steigender Bewertungsdauer der Störgrößeneinfluss des *Gewöhnungseffekts* auf. Dieser ist umso intensiver, desto stärker einzelne Usability-Aspekte die Bewertung dominieren.
- Durch die Berechnung der relativen Bewertungsdifferenz zwischen den bewerteten Produktvarianten für jeden Probanden können störgrößenbehaftete Versuchsdaten für die differenzierte Bewertung aufbereitet werden.
- Probanden, welche die umfassende Anwendungseignung eines Power-Tools bewerten sollen, differenzieren diese vorrangig auf Basis des dominantesten, vorrangigen Usability-Aspektes.
- Durch den Einsatz von Reduktionsansätzen kann es zum Auftreten neuer, unbekannter Störgrößen kommen, welche einen direkten Einfluss auf die wahrgenommene Anwendungseignung haben.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Das folgende Kapitel fasst die wissenschaftliche Arbeit zusammen und stellt die methodische Vorgehensweise, sowie die wichtigsten gewonnenen Erkenntnisse vor. Weiterhin werden basierend auf den Forschungsergebnissen relevante Forschungsaspekte und -bereiche in Ausblick gestellt und erste Ideen zur Umsetzung diskutiert.

8.1 Zusammenfassung

In der nutzerzentrierten Produktentwicklung gilt die Prämisse: „Um [im Wettbewerb am Markt] erfolgreich zu sein, muss ein Produkt eine zufriedenstellende Interaktion mit seinem Anwender sowohl auf funktionaler als auch auf kultureller Ebene ermöglichen“, es muss also sowohl zu den expliziten als auch den impliziten Anforderungen des Anwenders passen³⁰⁰. Je stärker hierbei der Anwender mit dem Produkt und der Umgebung in Interaktion steht, desto dringlicher wird diese Forderung. Damit ein Produkt jedoch wirklich zum Anwender passt, müssen die Wechselwirkungen zwischen dem technischen System, der Umgebung und dem Anwender selbst, erfasst und auf einzelne Aspekte zurückgeführt werden, welche in der Produktentwicklung gezielt berücksichtigt oder angepasst werden können. Solche Aspekte, welche physischer, psychischer, physiologischer, sozialer oder kultureller Natur sein können, werden unter dem Begriff der *Usability-Aspekte* zusammengefasst, da sie einen direkten Einfluss auf die empfundene Anwendungseignung eines Produkts haben³⁰¹. Mit umfangreicher und spezifischer Kenntnis der relevanten Usability-Aspekte ist es demnach möglich, Produkte optimal auf den jeweils adressierten Anwender und dessen Anwendung auszulegen und diese passend für ihn zu gestalten. Eine Schwierigkeit, welche sich bei dieser Bestrebung ergibt, sind unerwünschte Störgrößeneinflüsse, welche auf den Anwender während seiner Entscheidungsfindung zur empfundenen Anwendungseignung einwirken, wodurch Bewertungsergebnisse verzerrt werden und relevante Usability-Aspekte nicht identifiziert oder falsch interpretiert werden. Die Berücksichtigung

³⁰⁰ Vesna Popovic (1997).

³⁰¹ Vgl. DIN EN ISO 9241-210; Kuijt-Evers et al. (2004).

von solchen, in dieser Arbeit als *Störgrößen* bezeichneten Einflüssen auf das subjektive Empfinden der Anwender stellt damit eine Herausforderung für die Produktentwicklung dar. Am System Power-Tool, welches in ständiger Wechselwirkung mit dem Anwender und der Umwelt steht und dessen Beurteilung der Anwendungseignung besonders stark durch den Einfluss von Störgrößen betroffen ist, wurde innerhalb dieser Arbeit folgende Forschungsfrage bearbeitet:

Wie kann der Einfluss von Störgrößen bei der Erfassung der empfundenen Anwendungseignung eines Power-Tools reduziert werden und wie kann dieses Wissen in der nutzerzentrierten Produktentwicklung angewandt werden?

Zur Durchführung dieses Forschungsvorhabens wurde zunächst der relevante Stand der Forschung zum Thema Usability-Aspekte und Aufbau valider Probandenstudien aufgezeigt, um bestehende Vorgehensweisen und Bedarfe in der Erfassung der empfundenen Anwendungseignung aufzuzeigen. Weiterhin wurden Erkenntnisse zu den zwei bekannten Störgrößen des *Markeneinflusses* und dem Einfluss durch den unterschiedlichen *Grad der Expertise in der Anwendung* aufgezeigt und das Potential bestehender Reduktionsansätze aufgezeigt. Zusätzlich wurden am Leitbeispiel der Griffgeometrieoptimierung bestehende Erkenntnisse zu relevanten Usability-Aspekten aus dem Stand der Forschung aufgezeigt, wobei dieses Wissen für den Aufbau und die Bewertung der durchgeführten Forschungsstudien genutzt worden ist. Aus der Analyse des Standes der Forschung wurde der Bedarf abgeleitet, dass mit bestehenden Ansätzen zur Erfassung der wahrgenommenen Anwendungseignung der Einfluss von Störgrößen nur sehr bedingt berücksichtigt werden kann. Dabei zeigte sich vor allem, dass sowohl der Einfluss der *Marke* als auch der der *Expertise* einen signifikanten Einfluss auf die Bewertung der Anwendungseignung hat, es aber kaum Ansätze zu deren Berücksichtigung gibt. Um diesen Bedarf zu spezifizieren, wurde am Beispiel der Griffergonomie-Optimierung von Akkuschraubern eine Vorstudie mit dem Ziel, relevante Usability-Aspekte zu identifizieren, aufgebaut und folgende Forschungshypothese überprüft:

Durch statistische Analyse der subjektiv wahrgenommenen Anwendungseignung von Power-Tools können Usability-Aspekte identifiziert werden (H1).

Mit Hilfe von kategorialen Regressionsmodellen konnten die Parameter Handlänge, Handbreite und Daumenlänge, sowie der Umfang des Handgriffs auf

Höhe des Mittelfingers als relevante Usability-Aspekte identifiziert werden. Weiterhin zeigte sich jedoch, dass die Bewertungsgüte relativ gering ist, was auf den Störgrößeneinfluss der Marke und den unterschiedlichen Grad der Expertise der Probanden zurückgeführt werden konnte. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden Ansätze entwickelt, mit welchen der Störgrößeneinfluss dieser beiden Parameter reduziert werden kann, wobei folgende Haupthypothese aufgestellt wurde:

Störgrößen, die einen Einfluss auf die Bewertung der Anwendungseignung von Power-Tools haben, können durch geeignete Ansätze reduziert werden (H2).

Zur Reduktion des Einflusses der unterschiedlichen Expertise in der Anwendung wurde am Beispiel der Benutzung von Trockenbauschrauben ein Schulungskonzept aufgebaut, welches dem nicht professionellen Anwender die professionelle Arbeitsweise und Bewertungsmethoden, sowie relevante Bewertungskriterien näher bringt. Die Schulungskonzepte wurden in einer Studie mit 39 Probanden erprobt und weiterentwickelt. Mit Hilfe der Studie konnte folgende Unterhypothese H2.1 verifiziert werden:

Durch geeignete Vorbereitung der Probanden bewerten nicht professionelle Anwender die Anwendungseignung eines Power-Tools bezüglich der relevanten Bewertungskriterien, der Bewertungsmethode und dem Bewertungsergebnis vergleichbar zum professionellen Anwender (H2.1).

Die Studienergebnisse weisen auf eine signifikante Verbesserung der professionellen Arbeitsweise der Probanden durch die Schulung hin, wodurch der Grad der Expertise ansteigt. Weiterhin erfolgte die Bewertung der geschulten, nicht professionellen Probanden deutlich detaillierter und spezifischer, wodurch relevante Usability-Aspekte identifiziert werden konnten.

Im Zusammenhang mit der Entwicklung eines Ansatzes zur Störgrößenreduktion des Einflusses der Marke wurde folgende Unterhypothese geprüft:

Durch geeignete Vorbereitung der Power-Tools bewerten Probanden Power-Tools unterschiedlicher Markenhersteller bezüglich der Kaufentscheidung, der technischen Funktionalität und der Anwendungseignung unabhängig vom Markeneinfluss (H2.2).

Zur Überprüfung der Hypothese wurde eine Probandenstudie durchgeführt, wobei mit Hilfe eines Blindtests und der Möglichkeit der aktiven Benutzung von

Akkuschraubern in unterschiedlichen Anwendungen das Bewertungsverhalten von 50 Power-Tool Anwender (Handwerkern und DIY Kunden) untersucht wurde. Die Ergebnisse der Studie weisen auf einen beim Probanden individuell ausgeprägten Markeneinfluss hin, welcher durch die einfache Schwärzung der Systeme teilweise vermieden werden konnte, wobei es zu einem zusätzlichen Effekt eines hypothetischen Markeneinflusses kommen kann. Weiterhin konnte anhand der Ergebnisse der Studie gezeigt werden, dass der Markeneinfluss durch die aktive Verwendung der Systeme signifikant verringert werden kann.

Wie im Forschungsziel der Arbeit motiviert, soll neben der Berücksichtigung der Störgrößen auch deren Anwendbarkeit im Sinne einer optimierten nutzerzentrierten Produktentwicklung von Power-Tools überprüft werden, wobei folgende Haupthypothese aufgestellt wurde:

Ansätze zur Reduktion des Störgrößeneinflusses können in Entwicklungsprojekten eingesetzt werden und ermöglichen die störgrößenreduzierte Erfassung und Bewertung der Anwendungseignung (H3).

Entsprechend dieser These wurden die in dieser Arbeit entwickelten Ansätze zur Reduktion des *Markeneinflusses* und der unterschiedlichen *Expertise in der Anwendung* auf neue Entwicklungsfragestellungen übertragen, sowie weitere Ansätze zur Identifizierung unbekannter Störgrößen aufgebaut und dabei folgende Unterhypothese geprüft:

Die entwickelten Ansätze zur Störgrößenreduktion des Markeneinflusses und der unterschiedlichen Expertise können auf neue Entwicklungsfragestellungen angewandt und dadurch der Einfluss unbekannter Störgrößen analysiert werden (H3.1).

Zur Überprüfung der Hypothese wurde eine Probandenstudie aufgebaut, innerhalb welcher die Griffgeometrie von Akkuschraubern bewertet werden musste. Zur Vermeidung des Störgrößeneinflusses der Marke wurde ein Akkuschrauber entwickelt, welcher den modularen Austausch beliebig geformter Griffschalen erlaubt. Zur Verifizierung der Forschungsergebnisse wurden die Griffschalen anhand der geometrischen Abmessungen der in der initialen Vorstudie (Kapitel 5) genutzten Akkuschrauber aufgebaut. Weiterhin erfolgte vor Versuchsbeginn eine Schulung der nicht professionellen Probanden in der professionellen Benutzung von Akkuschraubern nach den entwickelten Schulungskonzepten. Die Ergebnisse der Studie geben Hinweise hinsichtlich einer deutlichen Reduktion

des Störgrößeneinflusses der Marke und des unterschiedlichen Grades der Expertise in der Anwendung. Weiterhin konnten Erkenntnisse zum Bewertungsverhalten der Probanden in Abhängigkeit der Intensität einzelner Usability-Aspekte gewonnen werden, sowie Ansätze zu Identifikation unbekannter Störgrößen entwickelt werden. Hierbei konnten die neuen Störgrößen der *Produktreife* und des *Gewöhnungseffektes* identifiziert werden.

Die in dieser Arbeit erforschten Ansätze zur störgrößenreduzierten Erfassung und Beurteilung der wahrgenommenen Anwendungseignung eines Power-Tools sollen langfristig dazu genutzt werden, den Entwickler bei der Ableitung relevanter Entwicklungsziele zu unterstützen. Die Ergebnisse der Arbeit zeigen dabei deutlich, dass sich durch den Einsatz von Reduktionsansätzen die wahrgenommene Anwendungseignung durch den Anwender signifikant ändern kann. In Folge dessen müssen Konstruktionszielgrößen, welche aus störgrößenbeeinflussten Bewertungsergebnissen abgeleitet sind, ebenfalls angepasst werden, um die Anwendungseignung von Power-Tools weiter zu optimieren. Zur Unterstützung einer nutzerzentrierten Produktentwicklung von Power-Tools ist daher, aufbauend auf dieser Forschungsarbeit, die Optimierung und der Aufbau weiterer Reduktionsansätze sinnvoll, um so den Entwickler bei seiner synthetisierenden Entwicklungstätigkeit zu unterstützen.

Neben den konkreten Ergebnissen und Erkenntnissen, die in dieser Arbeit für die Entwicklung von Power-Tools entstanden sind, soll die methodische Vorgehensweise reflektiert werden, welche einen Beitrag zur Produktentwicklung im Allgemeinen liefern kann. Ausgehend von dem Grundgedanken, dass bei jeder Probandenbewertung eine Beeinflussung der wahrgenommenen Anwendungseignung erfolgt, welche umso stärker ist, je intensiver der Anwender in direkter Interaktion mit dem Produkt steht, kann die methodische Vorgehensweise dieser Arbeit auf die Entwicklung unterschiedlichster Produkte übertragen werden. Im Kern der methodischen Vorgehensweise steht dabei das Gedankenkonstrukt, dass jede Produktbewertung von bestimmten Usability-Aspekten beeinflusst wird, wobei stets der dominanteste Aspekt die Bewertung überwiegend vorgibt. Nicht jeder der beeinflussenden Usability-Aspekte steht im Fokus der Produktentwicklung, weshalb deren Einfluss bei der subjektiven Bewertung möglichst vermieden werden soll. Die Identifikation und Berücksichtigung dieser als Störgrößen bezeichneten Usability-Aspekte stellt daher nicht nur bei der Entwicklung von Power-Tools eine Herausforderung dar. Die in dieser Arbeit entwickelte Vorgehensweise zum Aufbau von Testumgebungen, welche eine störgrößenreduzierte Erfassung der Anwendungseignung ermöglichen, kann

daher auf neue Entwicklungsbereiche übertragen werden. Vor allem die Methoden zur Identifikation und Bewertung von bisher unbekanntem Störgrößen können hierbei helfen, die nutzerorientierte Entwicklung von Produkten zu optimieren. Die Vorgehensweisen zum Aufbau der Reduktionsansätze kann des Weiteren genutzt werden, um neue Reduktionsansätze aufzubauen, welche den Einfluss identifizierter Störgrößen berücksichtigen. Die Übertragung der in dieser Arbeit entwickelten methodischen Vorgehensweise auf neue Produktbereiche erscheint daher als sinnvoll und wird in zukünftigen Forschungsprojekten angestrebt.

8.2 Ausblick

Mit denen in dieser Arbeit durchgeführten Forschungstätigkeiten konnten erfolgreich erste Ansätze aufgebaut werden, mit Hilfe derer der Störgrößeneinfluss auf die Bewertung der empfundenen Anwendungseignung reduziert werden kann. Die entwickelten Ansätze sollen in Entwicklungsprojekten die Möglichkeit der objektiven Erfassung von Usability-Aspekten schaffen, wodurch die Entwicklung von auf den Anwender und die Anwendung optimierter Produkte verbessert werden kann. Auf Basis der durchgeführten Untersuchungen ergibt sich hierbei weiterer Forschungsbedarf, welcher im Folgenden vorgestellt wird:

Reduzierung des Störgrößeneinflusses von neu identifizierten Störgrößen

Durch die Anwendung der entwickelten Störgrößenansätze zur Berücksichtigung des *Markeneinflusses* und des Einflusses durch den *unterschiedlichen Grad der Expertise* am Entwicklungsbeispiel der Griffgeometrieoptimierung von Akkuschaubern konnte zum einen die Eignung der entwickelten Ansätze gezeigt, aber auch der Einfluss neuer, unbekannter Störgrößen identifiziert werden. So kann durch den Einsatz eines modularen Akkuschaubers zwar der Einfluss der Marke auf die wahrgenommene Anwendungseignung vermieden werden, durch die prototypische Bauweise des Akkuschaubers kommt es jedoch zum Störgrößeneinfluss durch die *Produktreife*. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die identifizierte Störgröße einen signifikanten Einfluss auf das grundsätzliche Bewertungsverhalten der Probanden hat, wodurch die Aussagekraft von Versuchsergebnissen hinsichtlich späterer Serienprodukte angezweifelt werden muss. Zur Berücksichtigung dieser Störgröße ist daher die

Durchführung weiterer Forschungsstudien mit gezielter Variation des Entwicklungsreifegrades des Produkts zu empfehlen. Hierbei können Erkenntnisse zum Bewertungsverhalten der Probanden, sowie Möglichkeiten hinsichtlich der Übertragbarkeit der Aussagen für die Produktentwicklung gewonnen werden. Weiterhin konnte innerhalb der Verifizierungsstudie der Einfluss der Störgröße des *Gewöhnungseffekts* festgestellt werden, welcher sich je nach Höhe des Dis-Komforts signifikant auf die Bewertung der Anwendungseignung auswirken kann. Erste Erkenntnisse zeigen hierbei mit steigender Bewertungsdauer die Tendenz einer mildereren Bewertung der Probanden, wobei dieser Effekt umso stärker auftritt, je höher der Dis-Komfort empfunden wird. Der Aufbau von Experimenten zur Analyse dieser Störgröße und der Identifizierung von eventuell vorhandenen Dis-Komfort Grenzwerten, ab welchen der Effekt der Störgröße an Signifikanz gewinnt, wäre dabei eine sinnvolle Möglichkeit weiterer Forschungsarbeiten. Allgemein zeigt sich durch die Identifizierung der beiden neuen Störgrößen der große Bedarf, aber auch die Herausforderung, welcher begegnet werden muss, um eine objektive, störgrößenreduzierte Erfassung der Anwendungseignung zu gewährleisten.

Objektivierung des Störgrößeneinflusses durch Messtechnik

Wie sich sehr deutlich am Beispiel der Bewertung des Effekts der Störgrößenreduzierung des Einflusses der unterschiedlichen Expertise zeigen lässt (vgl. Kapitel 7.1.3.1), ist die eindeutige Beurteilung aufgrund von fehlenden objektiv messbaren Bewertungskriterien mit vorhandenen Messkriterien kaum möglich. Zur weiteren Optimierung und Validierung der Reduktionsansätze ist ein objektives Bewertungskriterium jedoch zwingend notwendig. Hierbei kann durch das Vorhandensein eines Messkriteriums sowohl die Bewertung der Reduktionsansätze erfolgen, aber auch die Kategorisierung wie beispielsweise die konkrete Unterscheidung zwischen professionellen und nicht professionellen Anwendern stattfinden, wodurch Versuche mit Probanden besser geplant und durchgeführt werden können. Als initiales Bewertungskriterium zur Beurteilung des allgemeinen Störgrößeneinflusses zeigt die Analyse der durchgeführten Studien eine Abhängigkeit zwischen der Präzision der jeweiligen Bewertungsdifferenz der Anwendungseignung und dem Grad der Störgrößenreduzierung. Hierbei ist zu beachten, dass weder eine hohe noch eine extrem niedrige Präzision angestrebt werden darf. Konkrete Grenzwerte können zum derzeitigen Zeitpunkt allerdings noch nicht genannt werden und sollten in zukünftigen Forschungsarbeiten neben der Identifizierung geeigneter Messtechnik zur Beschreibung des Störgrößeneinflusses erarbeitet werden.

Labor- vs. Feldversuch – Objektive Abbildung von Anwendungsfällen

Werden Probandenstudien mit dem Ziel der Erfassung der Anwendungseignung eines Power-Tools durchgeführt, dann finden diese Studien sehr oft unter definierten Versuchsbedingungen statt, damit die Versuchsobjektivität gewährleistet werden kann. Bei der Überführung eines Feldversuches in einen Laborversuch müssen dabei stets Vereinfachungen vorgenommen werden, wobei einzelne Anwendungen oder Tätigkeiten gezielt abgebildet werden. Während der Versuchsdurchführung dienen die abgebildeten Anwendungen dabei dem Zweck, den Probanden ein realistisches Anwendungserlebnis zur Verfügung zu stellen, wobei auf Basis der Benutzung die Anwendungseignung der Power-Tools bewertet wird. Je nachdem inwieweit die Anwendungen dabei dem realen Feldversuch nahekommen und vorhandene, relevante Usability-Aspekte im Laborversuch berücksichtigt werden, passt die im Labor gemessene Anwendungseignung auch zur wahrgenommenen Anwendungseignung im Feldeinsatz. Das Ziel zukünftiger Forschungsarbeiten sollte es daher sein, objektive Kenngrößen zu identifizieren, mit Hilfe derer Anwendungen im Labor valide abgebildet werden können. Der Einsatz von mobilen Datenloggern, welche ohne Beeinflussung der Anwendung von professionellen Anwendern verwendet werden können, könnte hierbei helfen, Anwendungen mit Hilfe von Data-Mining Ansätzen zu clustern und nach Relevanz zu ordnen. Durch Aufnahme der gleichen Daten während der Laborversuche kann hierbei der Abgleich und die Verifizierung der objektiven Anwendungsabbildung erfolgen, wodurch die Versuchsobjektivität weiter gesteigert werden kann.

Identifikation relevanter Griffgeometrieparameter von Akkuschaubern

Am Leitbeispiel der Griffgeometrieoptimierung von Akkuschaubern wurden innerhalb dieser Arbeit die entwickelten Ansätze zur Störgrößenreduzierung getestet. Dabei konnte gezeigt werden, dass durch Anwendung der Reduktionsansätze der Einfluss durch Störgrößen vermindert werden kann. Wie bereits angesprochen ergeben sich zunächst noch offene Herausforderungen aus neu identifizierten Störgrößeneinflüssen. Sobald die relevanten Störgrößeneinflüsse jedoch berücksichtigt werden können, bietet sich am Beispiel der Griffgeometrie des Akkuschaubers die Möglichkeit der umfangreichen Analyse und Identifizierung relevanter Usability-Aspekte. Durch den modularen Aufbau des

Akkuschraubers können basierend auf den aufgebauten Forschungsergebnissen optimierte Griffgeometrien gefertigt und validiert werden. Durch diese Möglichkeit kann die Leistungsfähigkeit der entwickelten Ansätze zur Störgrößenreduzierung verdeutlicht werden und ein Beitrag zur nutzerzentrierten Produktentwicklung von Power-Tools geschaffen werden.

Usability in der Gestalt – Zusammenhang von Usability-Aspekten und Gestaltungsanforderungen

Das in dieser Arbeit aufgestellte Ziel diskutiert überwiegend Ansätze zur störgrößenreduzierten Erfassung der Anwendungseignung von Power-Tools und behandelt lediglich am Rande Ansätze zur Identifizierung der relevanten Usability-Aspekte. Ein Ziel zukünftiger Forschungstätigkeiten könnte sich daher mit dem Aufbau von Ansätzen zur gezielten Identifikation von relevanten Usability-Aspekten beschäftigen. Weiterhin ergibt sich ein großes Forschungspotential im Rahmen der Überführung des identifizierten Usability-Aspekts in konkrete Gestaltungsanforderungen. Je nach Usability-Aspekt gilt es hierbei Methoden zu entwickeln, welche den Produktentwickler dabei unterstützen, eine strukturierte Optimierung eines Usability-Aspekts durchzuführen.

Entwicklung einer Erfassungsmethode zur objektiven Bewertung der Anwendungseignung von Power-Tools

Die in dieser Arbeit entwickelten Ansätze zeigen das Potential der deutlichen Reduktion des Störgrößeneinflusses bei der Erfassung der wahrgenommenen Anwendungseignung. Hierbei wurde zunächst an einzelnen Fallbeispielen die Eignung der Ansätze gezeigt und verifiziert. Um im Weiteren die Ansätze auszubauen und eine allgemein anwendbare Methode für die Erfassung der Anwendungseignung von Power-Tools aufzubauen, bietet sich der Einsatz der entwickelten Ansätze innerhalb der durchgeführten Anwendungseignungstests der KIT Campus Transfer GmbH an, wobei unterschiedliche Power-Tools unter definierten Versuchsbedingungen getestet werden und die Anwendungseignung durch Probanden bewertet wird. Die Einbindung der Störgrößenreduktionsansätze hilft hierbei sowohl bei der Optimierung der Versuchsergebnisse der KCT, als auch bei der Validierung der Ansätze. Weiterhin können Ansätze zur Identifizierung von relevanten Usability-Aspekten ebenfalls innerhalb der Versuchsdurchführung eingesetzt, getestet und im Bedarfsfall optimiert werden. Durch den vielseitigen Einsatz und die kontinuierliche Überarbeitung und

Anpassung der Forschungsansätze kann eine valide Erfassungsmethode aufgebaut werden, welche die objektive Erfassung der Anwendungseignung von Power-Tools und die Identifizierung von relevanten Usability-Aspekten ermöglicht und im Bereich der Produktentwicklung von Power-Tools eingesetzt werden kann.

Aufbau von Schulungs- und Erlebniseumgebungen für den Entwickler von Power-Tools

Die aufgezeigte Vorgehensweise zur Identifizierung relevanter Anwendungen, Schlüsselkriterien und Methoden zur Bewertung der Anwendungseignung eines Power-Tools aus professioneller Sicht, kann dazu genutzt werden, den Produktentwickler zu unterstützen. Hierbei kann vor allem die Herausforderung angegangen werden, dass Entwicklungsstände einerseits möglichst früh durch den späteren Kunden validiert werden müssen, andererseits internes Wissen und Innovationen möglichst nicht vor der Serienreife eines Produkts veröffentlicht werden sollen. Durch die zur Verfügungstellung der relevanten Anwendungen, Bewertungskriterien und Methoden, welche optimalerweise quantitativ ausgewertet werden können, wird eine Möglichkeit gegeben, die Validierung früher Produktstände innerhalb des Entwicklungsstandortes durchzuführen. Weiterhin bietet das Vorgehen für den Entwickler die Möglichkeit die Validierung selbst durchzuführen, wodurch der Informationsverlust an der Schnittstelle zwischen der Anforderungsgenerierung und deren Umsetzung in der Produktentwicklung optimiert wird.

Literaturverzeichnis

- Adler, M., Hermann, H.-J., Koldehoff, M., Meuser, V., Scheuer, S., Müller-Arnecke, H. et al. (2010). *Ergonomiekompandium. Anwendung ergonomischer Regeln und Prüfung der Gebrauchstauglichkeit von Produkten* (1. Aufl.). Dortmund: BAuA.
- Alba, J. W. & Hutchinson, J. W. (1987). Dimensions of Consumer Expertise. *Journal of Consumer Research*, 13(4), 411–454. Verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/2489367>
- Alba, J. W. & Williams, E. F. (2013). Pleasure principles. A review of research on hedonic consumption. *Journal of Consumer Psychology*, 23(1), 2–18. <https://doi.org/10.1016/j.jcps.2012.07.003>
- Albers, A., Heimicke, J., Walter, B., Basedow, G. N., Reiß, N., Heitger, N. et al. (2018). Product Profiles. Modelling customer benefits as a foundation to bring inventions to innovations. *Procedia CIRP*, 70, 253–258. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.02.044>
- Albrecht, M. (2005). *Modellierung der Komfortbeurteilung aus Kundensicht am Beispiel des automatisierten Anfahrens*. Dissertationsschrift. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe. Verfügbar unter http://vm-literatur/litdata/legacy/Dissertation_2005_Albrecht_Modellierung_der_Komfortbeurteilung_aus_Kundensicht_am_Beiispiel_des_automatisierten_Anfahrens.pdf
- Aptel, M., Claudon, L. & Marsot, J. (2002). Integration of ergonomics into hand tool design. Principle and presentation of an example. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics: JOSE*, 8(1), 107–115. <https://doi.org/10.1080/10803548.2002.11076518>
- Atteslander, P. & Cromm, J. (2008). *Methoden der empirischen Sozialforschung* (ESV basics, 12., durchges. Aufl.). Berlin: E. Schmidt. Verfügbar unter http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=3071414&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm

- Ayoub, M. M. & Presti, P. L. (1971). The determination of an optimum size cylindrical handle by use of electromyography. *Ergonomics*, *14*(4), 509–518. <https://doi.org/10.1080/00140137108931271>
- Berekoven, L., Eckert, W. & Ellenrieder, P. (2009). *Marktforschung. Methodische Grundlagen und praktische Anwendung* (12., überarbeitete und erweiterte Auflage). (Market Research: Methodological Basics and Practical Application). Wiesbaden: Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-8349-8267-4>
- Berndt, R. (2005). *Marketingstrategie und Marketingpolitik*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/b138134>
- Biedenbach, G. & Marell, A. (2010). The impact of customer experience on brand equity in a business-to-business services setting. *Journal of Brand Management*, *17*(6), 446–458. <https://doi.org/10.1057/bm.2009.37>
- Biryukova, E. V. & Bril, B. (2008). Organization of goal-directed action at a high level of motor skill. The case of stone knapping in India. *Motor Control*, *12*(3), 181–209.
- Björing, G., Johansson, L. & Hägg, G. M. (1999). Choice of handle characteristics for pistol grip power tools. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *24*(6), 647–656. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(98\)00069-9](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(98)00069-9)
- Bogner, A., Littig, B. & Menz, W. (2014). *Interviews mit Experten. Eine praxisorientierte Einführung* (Lehrbuch). Wiesbaden: Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-19416-5>
- Bojko, A. (2013). *Eye tracking the user experience. A practical guide to research*. New York, NY: Rosenfeld Media. Retrieved from <http://www.contentreserve.com/TitleInfo.asp?ID={7A9CA026-2AF1-4B0B-9A61-FB6AA4087C01}&Format=50>
- Borsboom, D., Mellenbergh, G. J. & van Heerden, J. (2004). The concept of validity. *Psychological Review*, *111*(4), 1061–1071. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.111.4.1061>

- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Mit 87 Tabellen* (Springer-Lehrbuch : Bachelor, Master, 4., überarb. Aufl.). Heidelberg: Springer.
- Bril, B., Rein, R., Nonaka, T., Wenban-Smith, F. & Dietrich, G. (2010). The role of expertise in tool use. Skill differences in functional action adaptations to task constraints. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 36(4), 825–839.
<https://doi.org/10.1037/a0018171>
- Brockhoff, K. (1999). *Produktpolitik* (Grundwissen der Ökonomik Betriebswirtschaftslehre, Bd. 1079, 4., neubearb. und erw. Aufl.). Stuttgart: Lucius & Lucius.
- Bryant, F. B. (2006). Assessing the validity of measurement. In L. G. Grimm (Hrsg.), *Reading and understanding more multivariate statistics* (5. print, S. 99–146). Washington, DC, US: American Psychological Association.
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion* (PS Psychologie, 3., aktualisierte und erw. Aufl.). München: Pearson Studium. Verfügbar unter <http://lib.myilibrary.com/detail.asp?id=404890>
- Cellier, J.-M., Eyrolle, H. & Marin, C. (1997). Expertise in dynamic environments. *Ergonomics*, 40(1), 28–50.
<https://doi.org/10.1080/001401397188350>
- Charness, G., Gneezy, U. & Kuhn, M. A. (2012). Experimental methods. Between-subject and within-subject design. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 81(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2011.08.009>
- Chengalur, S. N. (2004). *Kodak's ergonomic design for people at work. Ergonomic design for people at work* (2. ed.). Hoboken NJ u.a.: Wiley.
- Chernev, A. (2003). When More Is Less and Less Is More. The Role of Ideal Point Availability and Assortment in Consumer Choice. *Journal of Consumer Research*, 30(2), 170–183. <https://doi.org/10.1086/376808>

- Chi, M. T.H., Glaser, R. & Farr, M. J. (2014). *The Nature of Expertise*. Hoboken: Taylor and Francis. Retrieved from <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1588586>
- Cooper, R. G. & Kleinschmidt, E. J. (1987). Success factors in product innovation. *Industrial Marketing Management*, 16(3), 215–223.
[https://doi.org/10.1016/0019-8501\(87\)90029-0](https://doi.org/10.1016/0019-8501(87)90029-0)
- Diamond, W. J. (2001). *Practical experiment designs for engineers and scientists* (3. ed.). New York, NY: Wiley. Retrieved from <http://www.loc.gov/catdir/description/wiley035/00043607.html>
- Dianat, I., Nedaei, M. & Mostashar Nezami, M. A. (2015). The effects of tool handle shape on hand performance, usability and discomfort using masons' trowels. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 45, 13–20.
<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2014.10.006>
- Dianat, I., Rahimi, S., Nedaei, M., Asghari Jafarabadi, M. & Oskouei, A. E. (2017). Effects of tool handle dimension and workpiece orientation and size on wrist ulnar/radial torque strength, usability and discomfort in a wrench task. *Applied Ergonomics*, 59(Pt A), 422–430.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.10.004>
- DIN EN ISO, 9241-210 (2011-01). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN ISO, 11148-13 (2015-04). *Handgehaltene nicht-elektrisch betriebene Maschinen - Sicherheitsanforderungen - Teil 13: Eintreibgeräte*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN ISO, 9241-11 (2017-01). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte*. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO, 9241-220 (2017-05). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 220: Prozesse zur Ermöglichung, Durchführung und Bewertung menschenzentrierter Gestaltung für interaktive Systeme in Hersteller- und Betreiberorganisationen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

- DIN, 33402-2 (2005-12). *Ergonomics - Human body dimensions - Part 2: Values*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Duffy, V. G. (Hrsg.). (2011). *Digital Human Modeling*: Springer Berlin Heidelberg.
- Dumas, J. S. & Redish, J. C. (1999). *A practical guide to usability testing* (Rev. ed.). Exeter: Intellect.
- Eksioglu, M. (2004). Relative optimum grip span as a function of hand anthropometry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 34(1), 1–12.
<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2004.01.007>
- Fellows, G. L. & Freivalds, A. (1991). Ergonomics evaluation of a foam rubber grip for tool handles. *Applied Ergonomics*, 22(4), 225–230.
[https://doi.org/10.1016/0003-6870\(91\)90225-7](https://doi.org/10.1016/0003-6870(91)90225-7)
- Foscht, T., Swoboda, B. & Schramm-Klein, H. (2015). *Käuferverhalten*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-08549-0>
- Fransson, C. & Winkel, J. (1991). Hand strength. The influence of grip span and grip type. *Ergonomics*, 34(7), 881–892.
<https://doi.org/10.1080/00140139108964832>
- Fraser, T. M. (1980). *Ergonomic principles in the design of hand tools* (Occupational safety and health series, Bd. 44, 1. publ). Geneva: International Labour Office.
- Germann, R., Jahnke, B. & Matthiesen, S. (2019). Objective usability evaluation of drywall screwdriver under consideration of the user experience. *Applied Ergonomics*, 75, 170–177.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.10.001>
- Germann, R., Kurth, L. & Matthiesen, S. (2018). Usability Testing – Objective Evaluation of the Application Quality of Power Tools under Consideration of the Brand Influence. *Manuskript Eingereicht Zur Publikation*.
<https://doi.org/10.5445/IR/1000082412>

- Germann, R., Ribadeneira, E. A. & Matthiesen, S. (2019). Objective Evaluation of Usability Aspects for the Development of Handle Geometries. *Procedia CIRP*, 84, 502–513. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.295>
- Gochermann, J. (2004). *Kundenorientierte Produktentwicklung. Marketingwissen für Ingenieure und Entwickler* (1. Aufl.). Weinheim: Wiley-VCH-Verl.
- Gordon, G. L., Calantone, R. J. & Di Benedetto, C. A. (1993). Brand Equity in the Business-to-Business Sector. *Journal of Product & Brand Management*, 2(3), 4–16. <https://doi.org/10.1108/10610429310046689>
- Greenberg, L. & Chaffin, D. B. (1977). *Workers and their tools. A guide to the ergonomic design of hand tools and small presses*. Midland, Mich.: Pendell.
- Hassenzahl, M. (2010). Experience Design. Technology for All the Right Reasons. *Synthesis Lectures on Human-Centered Informatics*, 3(1), 1–95. <https://doi.org/10.2200/S00261ED1V01Y201003HCI008>
- Hitzler, R., Honer, A. & Maeder, C. (1994). *Expertenwissen. Die institutionalisierte Kompetenz zur Konstruktion von Wirklichkeit*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-322-90633-5>
- Hoch, S. J. & Ha, Y.-w. (1986). Consumer learning. Advertising and the ambiguity of product experience. *Journal of Consumer Research*.
- Hofbauer, G. (2014). *Customer Integration. Prinzipien der Kundenintegration zur Entwicklung neuer Produkte* (Working Papers - Arbeitsberichte Nr. 26). THI Business School. Verfügbar unter https://opus4.kobv.de/documents/549/ABWP_26.pdf
- Hofbauer, G. & Schweidler, A. (2006). *Professionelles Produktmanagement. Der prozessorientierte Ansatz, Rahmenbedingungen und Strategien*. Erlangen: Publicis Corp. Publ. Verfügbar unter http://deposit.dnb.de/cgi-bin/dokserv?id=2682722&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm
- Homburg, C. (2017). *Marketingmanagement. Strategie - Instrumente - Umsetzung - Unternehmensführung* (6., überarbeitete und erweiterte Auflage). Wiesbaden: Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-13656-7>

- Hornke, L., Amelang, M. & Kersting, M. (2011). *Methoden der Psychologischen Diagnostik* (Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich B Methodologie und Methoden ; Ser. 2 Psychologische Diagnostik ; Bd. 2, [Vollst. Neuausg.]. Göttingen: Hogrefe.
- Hoyer, W. D. & Brown, S. P. (1990). Effects of Brand Awareness on Choice for a Common, Repeat-Purchase Product. *Journal of Consumer Research*, 17(2), 141. <https://doi.org/10.1086/208544>
- Hutchison, D., Kanade, T., Kittler, J., Kleinberg, J. M., Mattern, F., Mitchell, J. C. et al. (2013). *Design, User Experience, and Usability. Web, Mobile, and Product Design* (Bd. 8015). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-39253-5>
- ISO/TR, 16982 (2002-06-00). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Methoden zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit, die eine benutzer-orientierte Gestaltung unterstützen.*
- Jacoby, J., Szybillo, G. J. & Busato-Schach, J. (1977). Information Acquisition Behavior in Brand Choice Situations. *Journal of Consumer Research*, 3(4), 209–216. Verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/2489606>
- Johnson, S. L. (1988). Evaluation of Powered Screwdriver Design Characteristics. *Human factors*, 30(1), 61–69. <https://doi.org/10.1177/001872088803000106>
- Johnson, S. L. & Childress, L. J. (1988). Powered screwdriver design and use. Tool, task, and operator effects. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2(3), 183–191. [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(88\)90019-4](https://doi.org/10.1016/0169-8141(88)90019-4)
- Jong, A.M. de & Vink, P. (2000). The adoption of technological innovations for glaziers; evaluation of a participatory ergonomics approach. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 26(1), 39–46. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(99\)00061-X](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(99)00061-X)
- Karapanos, E., Zimmerman, J., Forlizzi, J. & Martens, J.-B. (2009). User experience over time. An initial framework. In D. R. Olsen, R. B. Arthur, K. Hinckley, M. R. Morris, S. Hudson & S. Greenberg (Hrsg.), *Proceedings of*

the 27th international conference on Human factors in computing systems - CHI 09 (S. 729). New York, New York, USA: ACM Press.

- Khalid, H. M. & Helander, M. G. (2006). Customer Emotional Needs in Product Design. *Concurrent Engineering*, 14(3), 197–206.
<https://doi.org/10.1177/1063293X06068387>
- Kittl, C. (2009). *Kundenakzeptanz und Geschäftsrelevanz. Erfolgsfaktoren für Geschäftsmodelle in der digitalen Wirtschaft* (Gabler Edition Wissenschaft Mobile Computing, 1. Aufl.). Dissertationsschrift. Wiesbaden: Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8349-9425-7>
- Klaaren, K. J., Hodges, S. D. & Wilson, T. D. (1994). The Role of Affective Expectations in Subjective Experience and Decision-Making. *Social Cognition*, 12(2), 77–101. <https://doi.org/10.1521/soco.1994.12.2.77>
- Kok, B. (2016). *Design Process Components and Perceived Product Quality*. Dissertationsschrift. KU Leuven, Leuven. Verfügbar unter <https://lirias.kuleuven.be/retrieve/498713>
- Kong, Y.-K. & Lowe, B. D. (2003). Use of Normalized Hand Size for Subjective Rating and Performance of Handle Diameter in a Maximum Horizontal Torque Task. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 47(10), 1283–1287.
<https://doi.org/10.1177/154193120304701039>
- Kong, Y.-K. & Lowe, B. D. (2005). Optimal cylindrical handle diameter for grip force tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(6), 495–507.
<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2004.11.003>
- Konzept & Markt GmbH, Grumm, S. & Fuchs, M. (Mitarbeiter) (Daehne Verlag GmbH, Hrsg.). (2017). *Bau- und Heimwerkermärkte 2017. Handwerkers Lieblinge*. (DIY stores 2017 - Craftmans favorites). Verfügbar unter <http://www.daehne.de/shop/de/studie-handwerker-2017>
- Kuijt-Evers, L. F. M., Bosch, T., Huysmans, M. A., Looze, M. P. de & Vink, P. (2007). Association between objective and subjective measurements of

- comfort and discomfort in hand tools. *Applied Ergonomics*, 38(5), 643–654. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2006.05.004>
- Kuijt-Evers, L. F. M., Groenesteijn, L., Looze, M. P. de & Vink, P. (2004). Identifying factors of comfort in using hand tools. *Applied Ergonomics*, 35(5), 453–458. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2004.04.001>
- Kuijt-Evers, L. F. M., Twisk, J., Groenesteijn, L., Looze, M. P. de & Vink, P. (2005). Identifying predictors of comfort and discomfort in using hand tools. *Ergonomics*, 48(6), 692–702. <https://doi.org/10.1080/00140130500070814>
- Kujala, S. & Miron-Shatz, T. (2015). The evolving role of expectations in long-term user experience. In M. Turunen (Hrsg.), *Proceedings of the 19th International Academic Mindtrek Conference on - AcademicMindTrek '15* (S. 167–174). New York, New York, USA: ACM Press.
- Kunz, W. H. & Mangold, M. (2004). Segmentierungsmodell für die Kundenintegration in Dienstleistungsinnovationsprozesse—Eine Anreiz-Beitrags-theoretische Analyse. In M. Bruhn (Hrsg.), *Dienstleistungsinnovationen* (Forum Dienstleistungsmanagement, 1. Aufl.). Wiesbaden: Gabler.
- LaFrance, M. (1989). The quality of expertise. Implications of expert-novice differences for knowledge acquisition. *ACM SIGART Bulletin*, (108), 6–14. <https://doi.org/10.1145/63266.63267>
- Lee, C.-C., Nelson, J.E., Davis, K. G. & Marras, W. S. (1997). An ergonomic comparison of industrial spray paint guns. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19(6), 425–435. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(96\)00025-X](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(96)00025-X)
- Lerspalungsanti, S. (2010). *Ein Beitrag zur Modellierung des menschlichen Komfortempfindens und Beurteilung der NVH. Eigenschaften in der Antriebsstrangentwicklung auf Basis von Künstlichen Neuronalen Netzen*. Dissertationsschrift. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Likert, R. (1932). *A Technique for the Measurement of Attitudes*. Dissertationsschrift. Columbia University, New York, NY. Verfügbar unter https://legacy.voteview.com/pdf/Likert_1932.pdf

- Lin, J.-H., McGorry, R. W., Chang, C.-C. & Dempsey, P. G. (2007). Effects of user experience, working posture and joint hardness on powered nutrunner torque reactions. *Ergonomics*, 50(6), 859–876. <https://doi.org/10.1080/00140130701237618>
- Lin, J.-H. & McGorry, R. W. (2009). Predicting subjective perceptions of powered tool torque reactions. *Applied Ergonomics*, 40(1), 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2008.01.020>
- Lin, J.-H., McGorry, R. W. & Chang, C.-C. (2011). Dynamic Power Tool Operation Model: Experienced Users vs. Novice Users. In V. G. Duffy (Hrsg.), *Digital Human Modeling* (S. 394–398). Springer Berlin Heidelberg.
- Lindqvist, B. & Skogsberg, L. (2007). *Power tool ergonomics. Evaluation of power tools* [2. ed]. [S.l.]: Atlas Copco. Verfügbar unter <http://www.atlascopco.com.gr/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/ergonomics/documents/PowerToolErgonomics.pdf>
- Llinares, C. & Page, A. F. (2011). Kano's model in Kansei Engineering to evaluate subjective real estate consumer preferences. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41(3), 233–246. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2011.01.011>
- Looze, M. P. de, Urlings, I.J.M., Vink, P., van Rhijn, J. W., Miedema, M. C., Bronkhorst, R. E. et al. (2001). Towards successful physical stress reducing products. An evaluation of seven cases. *Applied Ergonomics*, 32(5), 525–534. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(01\)00018-7](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(01)00018-7)
- Looze, M. P. de, Kuijt-Evers, L. F. M. & van Dieën, J. (2003). Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures. *Ergonomics*, 46(10), 985–997. <https://doi.org/10.1080/0014013031000121977>
- Luttmann, A., Jäger, M. & Laurig, W. (1991). Task analysis and electromyography for bricklaying at different wall heights. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 8(3), 247–260. [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(91\)90036-L](https://doi.org/10.1016/0169-8141(91)90036-L)

- Maheswaran, D. (1994). Country of Origin as a Stereotype. Effects of Consumer Expertise and Attribute Strength on Product Evaluations. *Journal of Consumer Research*, 21(2), 354. <https://doi.org/10.1086/209403>
- Maheswaran, D., Mackie, D. M. & Chaiken, S. (1992). Brand name as a heuristic cue. The effects of task importance and expectancy confirmation on consumer judgments. *Journal of Consumer Psychology*, 1(4), 317–336. [https://doi.org/10.1016/S1057-7408\(08\)80058-7](https://doi.org/10.1016/S1057-7408(08)80058-7)
- Malinowska-Borowska, J. & Zieliński, G. (2013). Coupling forces exerted on chain saws by inexperienced tree fellers. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 43(4), 283–287. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2013.04.006>
- Mao, J.-Y., Vredenburg, K., Smith, P. W. & Carey, T. (2005). The state of user-centered design practice. *Communications of the ACM*, 48(3), 105–109. <https://doi.org/10.1145/1047671.1047677>
- Matthiesen, S. & Germann, R. (2017). Ansatz zur objektiven und effizienten Erfassung der empfundenen Anwendungseignung von Power-Tool. In H. Binz, B. Bertsche, W. Bauer, D. Spath & D. Roth (Hrsg.), *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung SSP 2017: Stuttgart, 29. Juni 2017, Wissenschaftliche Konferenz* (S. 395–404). Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO.
- Matthiesen, S. & Germann, R. (2018). Meaningful Prediction Parameters for Evaluating the Suitability of Power Tools for Usage. *Procedia CIRP*, 70, 241–246. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.02.040>
- Matthiesen, S., Germann, R., Schmidt, S., Hölz, K. & Uhl, M. (2016). Prozessmodell zur anwendungsorientierten Entwicklung von Power-Tools. Messtechnisch gestützt vom realen Nutzungsverhalten zu fundierten Entwicklungszielgrößen. In R. Weidner (Hrsg.), *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Zweite transdisziplinäre Konferenz* (S. 223–232). Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität Universität der Bundeswehr Laboratorium Fertigungstechnik.
- Matthiesen, S., Mangold, S., Bruchmueller, T. & Marko, A. (2014). Der Mensch als zentrales Teilsystem in Wechselwirkung mit handgehaltenen

- Geräten – Ein problemorientierter Ansatz zur Untersuchung dieser Schnittstelle. *DFX 2014: Proceedings of the 24th Symposium Design for X: Bamberg, Germany 1-2 Oktober 2014*, 193–204.
- Matthiesen, S., Schaefer, T., Mangold, S. & Durow, W. (2013). X-in-the-Loop in der Gerätebranche - Ein ganzheitliches Validierungsframework unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Anwender, Gerät und Anwendung. *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung 2013, Stuttgart, 20. Juni 2013; Konferenz; SSP 2013*.
- McClure, S. M., Li, J., Tomlin, D., Cypert, K. S., Montague, L. M. & Montague, P. R. (2004). Neural correlates of behavioral preference for culturally familiar drinks. *Neuron*, *44*(2), 379–387. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2004.09.019>
- Mital, A. & Kilbom, A. (1992). Design, selection and use of hand tools to alleviate trauma of the upper extremities. Part II — The scientific basis (knowledge base) for the guide. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *10*(1-2), 7–21. [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(92\)90043-Y](https://doi.org/10.1016/0169-8141(92)90043-Y)
- Mooy, S. C. & Robben, H. S.J. (2002). Managing consumers' product evaluations through direct product experience. *Journal of Product & Brand Management*, *11*(7), 432–446. <https://doi.org/10.1108/10610420210451625>
- Mussgnug, M., Sadowska, A., Moryson, R. & Meboldt, M. (2017). Target Based Analysis - A Model to Analyse Usability Tests Based on Mobile Eye Tracking Recordings. In A. Maier, S. Škec, H. Kim, M. Kokkolaras, J. Oehmen, G. Fadel et al. (Hrsg.), *Proceedings of the 21st International Conference on Engineering Design. VOLUME 8: Human Behaviour in Design* (S. 59–68). Glasgow: The Design Society.
- Mussgnug, M., Waldern, M. F. & Meboldt, M. (2015). Mobile Eye Tracking in Usability Testing. Designers Analysing the User-Product Interaction. In C. Weber, S. Husung, M. Cantamessa, G. Cascini, D. Marjanovic & S. Venkataraman (Hrsg.), *Design theory and research methodology design processes* (DS / Design Society, Bd. 80,2, S. 2–349). Glasgow: Design Society.

- Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. Boston: Academic Press.
- Nieschlag, R., Dichtl, E. & Hörschgen, H. (2011). *Marketing* (19. Aufl.). s.l.: Duncker Humblot GmbH. Verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/Full-Record.aspx?p=1812094>
- Oh, S. & Radwin, R. G. (1993). Pistol grip power tool handle and trigger size effects on grip exertions and operator preference. *Human Factors*, 35(3), 551–569. <https://doi.org/10.1177/001872089303500311>
- Osgood, C. E., Suci, G. J. & Tannenbaum, P. H. (1978). *The measurement of meaning*. Urbana-Champaign: University of Illinois Press.
- Päivinen, M. & Heinimaa, T. (2009). The usability and ergonomics of axes. *Applied Ergonomics*, 40(4), 790–796. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2008.08.002>
- Pan, C. S., Chiou, S. S., Hsiao, H., Wassell, J. T. & Keane, P. R. (2000). Assessment of perceived traumatic injury hazards during drywall hanging. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25(1), 29–37. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(98\)00075-4](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(98)00075-4)
- Petrofsky, J. S., Williams, C., Kamen, G. & Lind, A. R. (1980). The effect of handgrip span on isometric exercise performance. *Ergonomics*, 23(12), 1129–1135. <https://doi.org/10.1080/00140138008924819>
- Piller, F. T. (2007). Mass Customization. In S. Albers & A. Herrmann (Hrsg.), *Handbuch Produktmanagement. Strategieentwicklung — Produktplanung — Organisation — Kontrolle* (3., überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 941–968). Wiesbaden: Gabler Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9517-9_40
- Porst, R. (1996). Fragebogenerstellung. In H. Goebel, P. H. Nelde, Z. Stary & W. Wölck (Hrsg.), *Kontaktlinguistik. Ein internationales Handbuch zeitgenössischer Forschung* (Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft / HSK, Bd. 12.1, S. 737–744). Berlin: de Gruyter.
- Porst, R. (2014). *Fragebogen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-02118-4>

- Radwin, R. G. & Haney, J. T. (1996). *An Ergonomics Guide to Hand Tools*: American Industrial Hygiene Association.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4761.5446>
- Raita, E. & Oulasvirta, A. (2011). Too good to be bad. Favorable product expectations boost subjective usability ratings. *Interacting with Computers*, 23(4), 363–371. <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2011.04.002>
- Reinicke, T. & Blessing, L. (2007). Produktentwicklung mit Senioren. In W. Friesdorf & A. Heine (Hrsg.), *sentha - seniorengerechte Technik im häuslichen Alltag. Ein Forschungsbericht mit integriertem Roman* (S. 187–207). Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-32818-6_6
- Riedel, A. & Arbinger, R. (1997). *Subjektive und objektive Beurteilung des Fahrverhaltens von Pkw*. Frankfurt am Main: Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT).
- Rockwell, T. H. & Marras, W. S. (1986). An evaluation of tool design and method of use of railroad leverage tools on back stress and tool performance. *Human Factors*, 28(3), 303–315.
<https://doi.org/10.1177/001872088602800306>
- Roto, V., Law, E., Vermeeren, A. & Hoonhout, J. (2011). *User Experience White Paper. Bringing clarity to the concept of user experience*.
- Rubin, J. (1994). *Handbook of usability testing. How to plan, design, and conduct effective tests* (Wiley technical communication library : Writing : Evaluation).
- Sancho-Bru, J. L., Giurintano, D.J., Pérez-González, A. & Vergara, M. (2003). Optimum Tool Handle Diameter for a Cylinder Grip. *Journal of Hand Therapy*, 16(4), 337–342. [https://doi.org/10.1197/S0894-1130\(03\)00160-1](https://doi.org/10.1197/S0894-1130(03)00160-1)
- Sauer, J., Seibel, K. & Rüttinger, B. (2010). The influence of user expertise and prototype fidelity in usability tests. *Applied Ergonomics*, 41(1), 130–140. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2009.06.003>
- Sauro, J. & Lewis, J. R. (2012). *Quantifying the user experience. Practical statistics for user research* (Safari Tech Books Online). Amsterdam: Morgan

Kaufmann/Elsevier. Retrieved from <http://proquest.safaribooksonline.com/9780123849687>

- Scheier, C. (2008). Neuromarketing — Über den Mehrwert der Hirnforschung für das Marketing. In Christian Scheier (Hrsg.), *Die neue Macht des Marketing* (S. 305–323). Wiesbaden: Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9562-9_15
- Schenk, K. D., Vitalari, N. P. & Davis, K. S. (1998). Differences between Novice and Expert Systems Analysts. What Do We Know and What Do We Do? *Journal of Management Information Systems*, 15(1), 9–50. Verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/40398371>
- Schmidt, F. L. & Hunter, J. E. (1998). The Validity and Utility of Selection Methods in Personnel Psychology. Practical and Theoretical Implications of 85 Years of Research Findings. *Psychological bulletin*, 124(2), 262–274.
- Schmidt, S. (2019). *Erweiterte Anwendungsfallmodellierung (e-AFM). ein Beitrag zur nutzerzentrierten Entwicklung von Power-Tools*. Dissertationsschrift. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Schmidtke, H. (Hrsg.). (1989). *Handbuch der Ergonomie. HdE, mit ergonomischen Konstruktionsrichtlinien und Methoden* (2., überarb. und erw. Aufl.). München: Hanser.
- Schwertfeger, M. (2012). *Einkaufserlebnisse im Handel. Theoretische Konzeption und empirische Analyse* (Springer Gabler Research Integratives Marketing - Wissenstransfer zwischen Theorie und Praxis). Dissertationsschrift. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Seo, N. J. & Armstrong, T. J. (2011). Effect of elliptic handle shape on grasping strategies, grip force distribution, and twisting ability. *Ergonomics*, 54(10), 961–970. <https://doi.org/10.1080/00140139.2011.606923>
- Shewhart, W. A. (1931). *Economic control of quality of manufactured product* (The Bell Telephone Laboratories series). New York, NY: van Nostrand.

- Spielholz, P., Bao, S. & Howard, N. (2001). A practical method for ergonomic and usability evaluation of hand tools: a comparison of three random orbital sander configurations. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 16(11), 1043–1048. <https://doi.org/10.1080/104732201753214143>
- Sujan, M. (1985). Consumer Knowledge. Effects on Evaluation Strategies Mediating Consumer Judgments. *Journal of Consumer Research*, 12(1), 31. <https://doi.org/10.1086/209033>
- Ting, S.-C. & Chen, C.-N. (2002). The asymmetrical and non-linear effects of store quality attributes on customer satisfaction. *Total Quality Management*, 13(4), 547–569. <https://doi.org/10.1080/09544120220149331>
- Van der Grinten, M. P., Bronkhorst, R. E. & Delleman, N. J. (2016). Launch. An Innovative Concept for Loading and Unloading Narrow-Body Airplanes. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 44(13), 114. <https://doi.org/10.1177/154193120004401345>
- Van Someren, M. W., Barnard, Y. F. & Sandberg, J. A. C. (1994). *The think aloud method. A practical guide to modelling cognitive processes* (Knowledge-based systems). London u.a.: Acad. Pr.
- Vedder, J. & Carey, E. (2005). A multi-level systems approach for the development of tools, equipment and work processes for the construction industry. *Applied Ergonomics*, 36(4), 471–480. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2005.01.004>
- Vesna Popovic. (1997). Product Evaluation Methods and Their Applications. In Pentti Seppala, Tuulikki Luopajarvi, Clas-Hakan Nygard & Markku Mattila (Hrsg.), *IEA 97 Congress* (S. 165–168). Tampere, Finland. Verfügbar unter <https://eprints.qut.edu.au/1439/>
- Vink, P. (1992). Application problems of a biomechanical model in improving roofwork. *Applied Ergonomics*, 23(3), 177–180.
- Vink, P. & Hallbeck, S. (2012). Editorial. Comfort and discomfort studies demonstrate the need for a new model. *Applied Ergonomics*, 43(2), 271–276. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.06.001>

- Vink, P. & Koningsveld, E. A. P. (1990). Bricklaying. A step by step approach to better work. *Ergonomics*, 33(3), 349–352.
<https://doi.org/10.1080/00140139008927135>
- Vink, P., Koningsveld, E. A. P. & Molenbroek, J. F. (2006). Positive outcomes of participatory ergonomics in terms of greater comfort and higher productivity. *Applied Ergonomics*, 37(4), 537–546.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2006.04.012>
- Vink, P., Miedema, M., Koningsveld, E. & van der Molen, H. (2002). Physical effects of new devices for bricklayers. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics: JOSE*, 8(1), 71–82.
<https://doi.org/10.1080/10803548.2002.11076515>
- Virzi, R. A. (2016). Refining the Test Phase of Usability Evaluation. How Many Subjects Is Enough? *Human factors*, 34(4), 457–468.
<https://doi.org/10.1177/001872089203400407>
- Wang, C.-y., Cai, D.-c. & Hsieh, W.-H. (2017). Hand tool handle design based on hand measurements. *MATEC Web of Conferences*, 119(1), 1044.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201711901044>

Studentische Abschlussarbeiten die im Kontext dieser Dissertation am IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) vom Autor Co-betreut wurden:

- Jahnke, B. (2018). *Hauptstudie zur Analyse des Zusammenhangs von Expertise und Produktbewertung im Bereich Power-Tools im Rahmen eines standardisierten Prüfprozesses*. Unveröffentlichte Masterarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Kolling, C. (2018). *Entwicklung eines modularen Griffsystems am Beispiel Akkuschrauber*. Unveröffentlichte Bachelorarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

Kreissig, M. (2017). *Methode zur Entwicklung eines innovativen Griffkonzeptes am Beispiel von Power-Tools*. Unveröffentlichte Bachelorarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

Kurth, L. (2018). *Analyse des Markeneinflusses auf den Kaufentscheid des Verbrauchers am Beispiel von Power-Tools*. Unveröffentlichte Masterarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

Ribadeneira, E. (2019). *Aufbau einer Validierungsstudie zur störgrößenreduzierten Erfassung der Anwendungseignung von Akkuschaubern*. Unveröffentlichte Bachelorarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

Des Weiteren wird auf nachfolgende studentische Arbeiten referenziert, die nicht durch den Autor dieser Arbeit Co-betreut wurden:

Janik, M. (2017). *Weiterentwicklung von Methoden zur Bewertung und Gewichtung von Anwendungsfällen und Durchführung einer Feldstudie mit Winkelschleifern*. Unveröffentlichte Bachelorarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

Glossar

Anwendungseignung	Subjektiv wahrgenommenes Ausmaß, wie effektiv, effizient und zufriedenstellend mit einem Power-Tool, durch einen definierten Anwender, relevante Anwendungen zielführend durchgeführt werden können ³⁰² .
Usability-Aspekte	Aspekte, die einen Einfluss auf die Anwendungseignung von Power-Tools haben, wobei diese von physischer, physiologischer, psychologischer, sozialer oder kultureller Natur sein können und sich gegenseitig beeinflussen ³⁰³ .
Störgrößen	Usability-Aspekte, welche nicht im Entwicklungsfokus stehen (bspw. bestehende Vorurteile des Nutzers) und daher ein wechselseitiger Einfluss bei der Erfassung der Anwendungseignung vermieden werden soll ³⁰⁴ .
Anwendungsqualität	Die Anwendungsqualität eines Power-Tools setzt sich aus der <i>technischen Funktionsfähigkeit</i> und der subjektiv wahrgenommenen <i>Funktionalität in der Anwendung (Anwendungseignung)</i> zusammen ³⁰⁵ . Zur Optimierung der <i>technischen Funktionsfähigkeit</i> wird das Ziel der technisch einwandfreien Durchführung einer gewünschten Tätigkeit, ohne Schädigung oder sonstigen Funktionsstörungen des Power-Tools während der Funktionserfüllung angestrebt ³⁰⁶ .

³⁰² Vgl. Matthiesen und Germann (2017).

³⁰³ DIN EN ISO 9241-210; Hutchison et al. (2013); Kuijt-Evers et al. (2004).

³⁰⁴ Vgl. Mooy und Robben (2002); Mussgnug et al. (2015); Spielholz et al. (2001).

³⁰⁵ Vgl. Khalid und Helander (2006); Kuijt-Evers et al. (2005).

³⁰⁶ Matthiesen und Germann (2018).

Anhang A

Bewertung der Anwendungseignung von Pistolengriffen

Allgemeine Angaben

Nummer Proband: _____

(Bitte merken, falls Rückfragen bestehen)

Geschlecht:

männlich

weiblich

Links- oder Rechtshänder:

links

rechts

Alter: _____

Erfahrung:

Wie schätzen Sie Ihre Erfahrung bezüglich der Nutzung von Akkuschaubern ein?

keine

wenig

gelegentlich

viel

sehr viel

Handgröße

Handlänge (Handballen bis Fingerspitze Mittelfinger): _____ mm

Länge Mittelfinger (Handfläche bis Fingerspitze): _____ mm

Länge Daumen (Handfläche bis Fingerspitze): _____ mm

Handbreite (Kleiner Finger bis Zeigefinger): _____ mm

Testablauf

1. Erste Bewertung des Gerätes

2. Anwendung: **SF C A 22:**

- 5 mal 6 x 80 Spax – Schrauben waagrecht reindrehen (Stufe 2)

- 5 mal 6 x 80 Spax – Schrauben senkrecht reindrehen (Stufe 2)

- 5 mal 8 x 80 Spax – Schrauben waagrecht reindrehen (Stufe 1)

- 2 mal Stahlbohren

SIW 10 A 22:

- 10 mal Bolting M24 (Anziehen und Lösen)

3. Zweite Bewertung des Gerätes

Fazit (Bitte erst nach dem Test ausfüllen)

Bitte bewerte die Geräte hinsichtlich ihrer Ergonomie (1. Bestes Gerät – 3. Schlechtestes Gerät)

1. _____

2. _____

3. _____

Bitte gib ein kurzes Feedback, ob deiner Meinung nach eine Frage gefehlt hat, oder etwas nicht genau genug abgefragt wurde:

Anhang A: Bewertung der Anwendungseignung von Pistolengriffen

a

Gerät: _____
Nummer Proband: _____

Befragung VOR der Benutzung des Geräts

	Viel zu klein	Zu klein	Weder zu klein, noch zu groß	Zu groß	Viel zu groß
Frage 1: Die Grifflänge (oben bis unten) ist	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Frage 2: Der Griffumfang ist am:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1. Zeigefinger	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Mittelfinger	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Ringfinger	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Kleiner Finger	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Frage 3: Die Weichheit der 2K – Komponente ist	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<hr/>					
Frage 4: Das Erreichen der optimalen Handposition erfolgt	Sehr kontraintuitiv <input type="checkbox"/>	Etwas kontraintuitiv <input type="checkbox"/>	Weder kontraintuitiv noch intuitiv <input type="checkbox"/>	Etwas intuitiv <input type="checkbox"/>	Sehr intuitiv <input type="checkbox"/>
Frage 5: Die Trigger Position ist	Viel zu nah <input type="checkbox"/>	Etwas zu nah <input type="checkbox"/>	Weder zu nah noch zu weit weg <input type="checkbox"/>	Etwas zu weit entfernt <input type="checkbox"/>	Zu weit entfernt <input type="checkbox"/>
Frage 6: Die Form des Triggers ist	Sehr schlecht <input type="checkbox"/>	schlecht <input type="checkbox"/>	Weder gut noch schlecht <input type="checkbox"/>	gut <input type="checkbox"/>	Sehr gut <input type="checkbox"/>
Falls gut / schlecht, warum?	_____				

Befragung NACH der Benutzung des Geräts

Frage 7: Die Druckverteilung auf der Handfläche ist	Sehr unangenehm <input type="checkbox"/>	Unangenehm <input type="checkbox"/>	Weder unangenehm, noch angenehm <input type="checkbox"/>	Angenehm <input type="checkbox"/>	Sehr angenehm <input type="checkbox"/>
Falls unangenehm, wo genau?	_____				
Frage 8: Die Druckverteilung auf den Fingern ist	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Falls unangenehm, wo genau?	_____				
Frage 9: Die Rutschfestigkeit des Handgriffes ist	Viel zu gering <input type="checkbox"/>	Zu gering <input type="checkbox"/>	Weder zu gering noch zu hoch <input type="checkbox"/>	Zu hoch <input type="checkbox"/>	Viel zu hoch <input type="checkbox"/>
Frage 10: Das Handling (räumliche Kontrolle) des Geräts ist	Sehr schlecht <input type="checkbox"/>	Schlecht <input type="checkbox"/>	Weder schlecht noch gut <input type="checkbox"/>	gut <input type="checkbox"/>	Sehr gut <input type="checkbox"/>
Falls schlecht, warum?	_____				
Frage 11: Der Trigger – Weg ist	Viel zu klein <input type="checkbox"/>	Zu klein <input type="checkbox"/>	Weder zu klein, noch zu groß <input type="checkbox"/>	Zu groß <input type="checkbox"/>	Viel zu groß <input type="checkbox"/>
Frage 12: Die Trigger – Kraft ist	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Frage 13: Das Aufbringen der nötigen Schraubkraft ist	Viel zu schwierig <input type="checkbox"/>	Zu schwierig <input type="checkbox"/>	Weder zu schwierig noch zu leicht <input type="checkbox"/>	Zu leicht <input type="checkbox"/>	Viel zu leicht <input type="checkbox"/>
Frage 14: Der Griff besitzt unangenehme Formkanten	<input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Falls ja, wo?	_____				

Frage 15: Wie groß sind die am Griff wahrgenommenen Vibrationen?



Frage 16: Wie groß ist der Dis-Komfort bei der Benutzung des Gerätes?



Anhang B

Fragebogen zur Bewertung von Trockenbauschraubern

Versuchsperson Nummer: _____

1) Wie häufig verwenden Sie Powertools (elektrisch angetriebene, handgehaltene Werkzeuge) durchschnittlich?

täglich wöchentlich monatlich jährlich nie

2) Wozu genau?

3) Welche Powertools verwenden Sie min. 1/Jahr?

Trockenbauschrauber andere Schrauber
 Hobel- Fräs- & Schleifmaschinen Bohrer, Schlagbohrer & Bohrhämmer
 Sägen Multifunktionswerkzeuge

5) Alter: 14-18 18-25 25-40 40-60 60-80

6) Geschlecht: Weiblich Männlich

7) Händigkeit: Links Rechts



_____ mm



_____ mm



_____ mm



_____ mm

Versuchsperson Nummer: _____

Befragung Gerät:

Vor Anwendung mit Strom:

- 1) Was ist dein bisheriges Gesamturteil zu Gerät 1?

Sehr schlecht	Schlecht	Mäßig	Gut	Sehr gut	Enthaltung

- 2) Wie liegt der Griff von Gerät 1 in der Hand?

Sehr unangenehm	Unangenehm	Mäßig angenehm	Angenehm	Sehr angenehm	Enthaltung

- 3) Wie empfindest du die Erreichbarkeit des Triggers bei Gerät 1?

Sehr schlecht	Schlecht	Mäßig	Gut	Sehr gut	Enthaltung

- 4) Wie empfindest du das Gewicht von Gerät 1?

Sehr schwer	Schwer	Mäßig	Leicht	Sehr Leicht	Enthaltung

- 5) Wie empfindest du die Schwerpunktlage bei Gerät 1 (Griff= hinten)?

Viel zu weit vorne	Zu weit vorne	Optimal	Zu weit hinten	Viel zu weit hinten	Enthaltung

- 6) Wie einfach ist das Einfädeln der Magazinschrauben bei Gerät 1?

Sehr schwer	schwer	Mäßig	Einfach	Sehr einfach	Enthaltung

Nach Anwendung mit Strom:

- 7) Wie empfindest du die Druckverteilung auf die Hand bei Gerät 1 während des Arbeitens?

Sehr unangenehm	Unangenehm	Mäßig angenehm	Angenehm	Sehr angenehm	Enthaltung

- 8) Wie empfindest du die Eindrehgeschwindigkeit der Schrauben bei Gerät 1?

Sehr langsam	Langsam	Mäßig	Schnell	Sehr Schnell	Enthaltung

- 9) Wie hoch ist der notwendige Kraftaufwand beim Einschrauben bei Gerät 1?

Sehr hoch	Hoch	Mäßig	Gering	Sehr gering	Enthaltung

- 10) Wie schnell ist der Anlaufvorgang bei Gerät 1?

Sehr langsam	Langsam	Mäßig	Schnell	Sehr Schnell	Enthaltung

- 11) Wie ist dein abschließendes Gesamturteil für Gerät 1?

Sehr schlecht	Schlecht	Mäßig	Gut	Sehr gut	Enthaltung

Anhang C

Fragebogen zur Bewertung von Akkuschaubern

Testablauf

1. Begrüßung der Teilnehmer und Abfrage der „Allgemeinen Angaben“
2. Präsentation des Kaufszenarios und der Akkuschauber mit leerem Akku
3. Abfrage der Favoriten in der gewählten Reihenfolge
4. Durchführung des Fragebogens (Teil 1)
5. Akkus einlegen und Akkuschauber benutzen lassen
6. Durchführung des Fragebogens (Teil 2)

Allgemeine Angaben

Geschlecht: männlich weiblich

Alter: 14 - 18 18 - 25 25 - 40 40 - 60 60 - 80

Erfahrung: Wie häufig benutzen Sie einen Akkuschauber für gewöhnlich?
 täglich wöchentlich monatlich jährlich nie

Wozu genau?

Welchen Akkuschauber würden Sie spontan kaufen?

Bosch Hitachi JC Schwarz

Bitte bewerten Sie die Akkuschauber anhand von Schulnoten

	1	1-	2+	2	2-	...	3	3-	4+	4	4-	5
Bosch	<input type="checkbox"/>											
Hitachi	<input type="checkbox"/>											
JC Schwarz	<input type="checkbox"/>											

Anhang C: Fragebogen zur Bewertung von Akkuschaubern

Gerät: _____

	Stimme gar nicht zu	Stimme gar zu	Stimme etwas nicht zu	Stimme etwas zu	Kann ich nicht einschätzen
1. Ich finde, dass das Gerät gut in der Hand liegt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Ich kann alle Bedienelemente gut erreichen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Ich finde, dass das Gerät hochwertig verarbeitet wirkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Ich kann das Bohrfutter gut bedienen und den Werkzeugwechsel ohne Probleme durchführen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Ich kann die Drehmomenteinstellung problemlos bedienen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Ich kann die Gangschaltung problemlos betätigen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Ich empfinde die Leistung des Gerätes als gut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Die Vibrationen bei der Benutzung sind sehr stark	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	viel zu niedrig	etwas zu niedrig	weder zu niedrig, noch zu hoch	etwas zu hoch	viel zu hoch	Kann ich nicht einschätzen
9. Ich empfinde das Gewicht des Gerätes als...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	sehr unangenehm	unangenehm	weder unangenehm noch angenehm	angenehm	sehr angenehm	Kann ich nicht einschätzen
10. Ich empfinde die Geräuschkulisse bei der Benutzung als...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

11. Bitte bewerten Sie das Gerät nun insgesamt anhand von Schulnoten

1	1-	2+	2	2-	3+	3	3-	4+	4	4-	5
<input type="checkbox"/>											

Anhang D

Fragebogen zur Erfassung des Dis-Komforts von Akkuschaubern

Versuchsperson Nummer: _____

1) Wie häufig verwenden Sie Powertools (elektrisch angetriebene, handgehaltene Werkzeuge) durchschnittlich?

täglich wöchentlich monatlich jährlich nie

2) Wozu genau?

3) Welche Powertools verwenden Sie min. 1/Jahr?

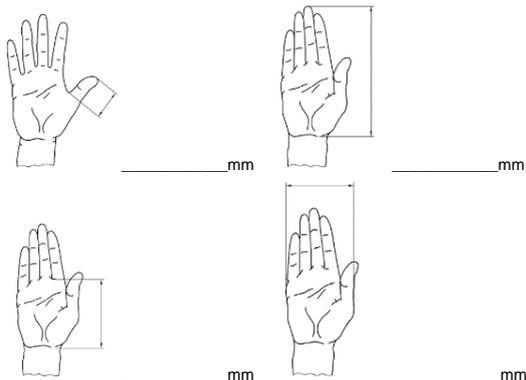
Akkuschauber andere Schrauber
 Hobel- Fräs- & Schleifmaschinen Bohrer, Schlagbohrer & Bohrhämmer
 Sägen Multifunktionswerkzeuge

5) Alter: 14-18 18-25 25-40 40-60 60-80

6) Geschlecht: Weiblich Männlich

7) Händigkeit: Links Rechts

8) Handgröße (BITTE NICHT AUSFÜLLEN)



Anhang D: Fragebogen zur Erfassung des Dis-Komforts von Akkuschaubern

Gerät: _____
 Nummer Proband: _____

Befragung **VOR** der Benutzung des Geräts

Frage 1: Wie groß ist der Dis-Komfort bei der Benutzung des Gerätes?



Befragung **NACH** der Benutzung des Geräts

Frage 2: Die Druckverteilung auf der Handfläche ist
 Falls unangenehm, wo genau?

Sehr unangenehm	Unangenehm	Weder unangenehm, noch angenehm	Angenehm	Sehr angenehm
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Frage 3: Die Druckverteilung auf den Fingern ist
 Falls unangenehm, wo genau?

<input type="checkbox"/>				
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Frage 4: Das Handling (räumliche Kontrolle) des Geräts ist
 Falls schlecht, warum?

Sehr schlecht	schlecht	Weder gut noch schlecht	gut	Sehr gut
<input type="checkbox"/>				

Frage 5: Erreichbarkeit und Bedienung des Triggers

Sehr schlecht	schlecht	Weder gut noch schlecht	gut	Sehr gut
<input type="checkbox"/>				

Frage 6: Der Griff besitzt unangenehme Formkanten
 Falls ja, wo?

ja nein

Frage 7: Wie groß ist der Dis-Komfort bei der Benutzung des Gerätes?



Anhang E

T-Verteilungstabelle

P n	0,75	0,9	0,95	0,975	0,99	0,995
1	1,000	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	0,817	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,500
8	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	0,700	1,372	1,813	2,228	2,764	3,169
11	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	0,696	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
13	0,694	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012
14	0,692	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
15	0,691	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947
16	0,690	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921
17	0,689	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898
18	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878
19	0,688	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
20	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
21	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831
22	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
23	0,685	1,320	1,714	2,069	2,500	2,807
24	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797

Anhang E

25	0,684	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787
26	0,684	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779
27	0,684	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771
28	0,683	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763
29	0,683	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756
30	0,683	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750
35	0,682	1,306	1,690	2,030	2,438	2,724
40	0,681	1,303	1,684	2,021	2,423	2,705
45	0,680	1,301	1,679	2,014	2,412	2,690
50	0,679	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678
60	0,679	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660
70	0,678	1,294	1,667	1,994	2,381	2,648
80	0,678	1,292	1,664	1,990	2,374	2,639
90	0,677	1,291	1,662	1,987	2,368	2,632
100	0,677	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626
∞	0,674	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576

Tabelle 37: T-Verteilungstabelle zur Bestimmung der nötigen Probandenanzahl