

**Instrument zur Messung des nachhaltigen Erfolges bei der
Entwicklung von Stand-alone-Softwareapplikationen**

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG, PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG DER ARBEIT	1
1.1. Ausgangssituation	1
1.2. Problemstellung	4
1.3. Einordnung der Arbeit in die Betriebswirtschaftslehre	6
1.4. Eingrenzung der Arbeit.....	8
1.5. Forschungsfrage und Thesen	14
1.5.1. Forschungsfrage	14
1.5.2. Thesen	15
1.5.2.1. Ökonomischer Erfolg (Projektebene)	15
1.5.2.2. Sozialer Erfolg (projekt- und produktspezifische Ebene).....	15
1.5.2.3. Ökologischer Erfolg (produktspezifische Ebene)	16
1.6. Zielsetzung der Arbeit	17
1.7. Forschungsimplicationen der Arbeit	19
1.8. Methodisches Vorgehen	22
1.9. Aufbau der Arbeit.....	24
2. THEORETISCHE UND PRAKTISCHE GRUNDLAGEN	25
2.1.1. Nachhaltige Entwicklung und nachhaltige Softwareentwicklung	25
2.1.2. Softwareentwicklung und Risikomanagement.....	34
2.1.3. Instrumente zur industriellen Softwareentwicklung.....	38
2.1.4. Instrumente zur Messung und Bewertung der Softwareentwicklung	40
2.1.5. Instrumente zur Nachhaltigkeit in der Softwareentwicklung	42
2.1.6. Instrumente zur Nachhaltigkeitsbewertung	43
2.1.7. Instrumente zur Risikobewertung in der Softwareentwicklung	45
2.1.8. Zusammenfassung der relevanten Grundlagen für die Messung und Prognose des nachhaltigen Erfolgs in der Softwareentwicklung.....	46
2.2. Erfolgs-, Risikofaktoren und Risikominderungsmaßnahmen in traditionellen und nachhaltigen Softwareentwicklungsprojekten	48
2.2.1. Klassische Betrachtung und traditionelle Erfolgsfaktoren	48
2.2.2. Erfolgsfaktoren nach ASQF Certified Professional for Project Management.....	54
2.2.3. Erfolgsfaktoren im Bereich der grünen Software.....	55
2.2.4. Risiken und Minderungsmaßnahmen auf Basis der Erfolgsfaktoren	61

2.3.	Zusammenführen der Erkenntnisse der Literaturrecherche und vorläufige	
	Konzeption des Instrumentes	68
2.3.1.	Zwischenfazit und Zusammenführen der Erkenntnisse der Literaturrecherche.....	68
2.3.2.	Vorläufige Konzeption des Instrumentes	83
3.	EMPIRISCHER TEIL: ENTWICKLUNG EINES INSTRUMENTES ZUR MESSUNG DES	
	NACHHALTIGEN ERFOLGES VON SOFTWAREENTWICKLUNGSPROJEKTEN	89
3.1.	Methodisches Vorgehen	89
3.1.1.	Grundlagen zum Forschungsprozess.....	89
3.1.1.1.	Vorüberlegungen zum Forschungsprozess	89
3.1.1.2.	Qualitativer Forschungsprozess (Design, Datenerhebung und Auswertung).....	93
3.1.1.2.1	Qualitatives Forschungsdesign.....	93
3.1.1.2.2	Qualitative Datenerhebung.....	96
3.1.1.2.3	Qualitative Datenauswertung	98
3.1.1.3.	Quantitativer Forschungsprozess (Design, Datenerhebung und Auswertung)	101
3.1.1.3.1	Quantitatives Forschungsdesign.....	102
3.1.1.3.2	Quantitative Erhebungsmethoden	106
3.1.1.3.3	Quantitative Auswertung.....	109
3.1.2.	Mixed Methods als Forschungszugang der Arbeit	112
3.1.2.1.	Grundlagen zu Mixed Methods	112
3.1.2.2.	Überblick und Argumentation der eingesetzten Methoden in der vorliegenden Arbeit ..	113
3.1.2.3.	Experten Interview: Leitfadeninterview und qualitative Inhaltsanalyse	114
3.1.2.4.	Empirische Hauptuntersuchung: Online-Befragung und Auswertung.....	118
3.1.2.5.	Bewertung der Güte der Messung und die Gütekriterien	121
3.2.	Vorstudie: Evaluierung anhand von Experteninterviews und qualitative	
	Inhaltsanalyse (Ergebnisse).....	122
3.2.1.	Vorgehen, Methoden, computergestützte Werkzeuge und Experten.....	122
3.2.1.1.	Vorgehen und Methoden	122
3.2.1.2.	Expertenauswahl	123
3.2.1.3.	Vorgehen zum Interview	123
3.2.1.4.	Leitfaden des Experteninterviews	125
3.2.1.5.	Experten und computergestützte Werkzeuge.....	125
3.2.1.5.1	Erstes Experteninterview.....	127
3.2.1.5.2	Zweites Experteninterview.....	129
3.2.1.5.3	Drittes Experteninterview	135
3.2.2.	Darstellung und Interpretation der Ergebnisse.....	140
3.2.2.1.	Transkription und Zeitmarkierungen	140
3.2.2.2.	Inhaltsanalyse bzw. Codierung und Gruppierungen.....	142
3.2.2.3.	Interpretation der Ergebnisse.....	144

3.2.3.	Weiterentwicklung des Instrumentes auf Basis der Vorstudie	149
3.3.	Empirische Hauptuntersuchung und deskriptive Auswertung	159
3.3.1.	Vorgehensweise, eingesetzte Methoden und Verfahren	159
3.3.2.	Befragungsinhalte und Hypothesen	161
3.3.2.1.	Hypothesen und Begründung	161
3.3.2.2.	Befragungsinhalt	164
3.3.2.3.	Umsetzung des Befragungsinhaltes in eine Online-Befragung	166
3.3.2.4.	Pre-Test der Online-Befragung	170
3.3.3.	Durchführung und Datenaufbereitung der Online-Befragung	171
3.3.4.	Analyse und deskriptive Auswertung der Online-Befragung	174
3.3.4.1.	Deskriptive Auswertung der Datenbasis	174
3.3.4.2.	Durchführung der Faktorenanalyse	192
3.3.4.3.	Reliabilitätsanalyse mittels Cronbachs Alpha	196
3.3.4.4.	Korrelationen sowie Korrelationsmatrix und inverse Korrelationsmatrix	203
3.3.4.5.	Eignungsbeurteilung auf Normalverteilung mittels Kolmogorov-Smirnov-Tests	206
3.3.4.6.	Eignungsbeurteilung mittels Bartlett-Tests	207
3.3.4.7.	Eignungsbeurteilung mittels Anti-Image-Kovarianzmatrix und KMO-Kriterium	208
3.3.4.8.	Faktorextraktion und Modellbeurteilung	210
3.3.5.	Überprüfung der Hypothesen und des Modells (Regressionsanalyse)	213
3.3.5.1.	Linearität in den Parametern	215
3.3.5.2.	Vollständigkeit des Modells	217
3.3.5.3.	Homoskedastizität der Störgrößen	217
3.3.5.4.	Unabhängigkeit der Störgrößen (Autokorrelation)	218
3.3.5.5.	Keine lineare Abhängigkeit zwischen den unabhängigen Variablen (Multikollinearität) ..	219
3.3.5.6.	Normalverteilung der Störgrößen	221
3.3.5.7.	Regressionsanalyse	223
3.4.	Ergebnisse der empirischen Hauptuntersuchung	225
3.4.1.	Diskussion, kritische Auseinandersetzung und Interpretation der Ergebnisse	225
3.4.2.	Finale Darstellung des Instruments	231
3.4.2.1.	Fazit und Zusammenführen der Erkenntnisse	231
3.4.2.2.	Risikomanagement und Bewertung	231
3.4.2.3.	Prognose des nachhaltigen Erfolges	233
3.4.2.4.	Die Instrumente in der Software-Praxis	234
3.4.2.5.	Anforderungsmanagement und Entwicklung von Applikationssoftware	235
4.	ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT	238
4.1.	Zusammenfassung	238
4.2.	Fazit und Ausblick	242

4.2.1.	Fazit	242
4.2.2.	Ausblick	244
5.	LITERATURVERZEICHNIS	246
6.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	257
7.	TABELLENVERZEICHNIS	264

1. Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit

1.1. Ausgangssituation

In der Entwicklungshistorie steckte die Softwarebranche epochal immer wieder in Krisen, die es zu überwinden galt. Aufgrund der Notwendigkeit, aktuelle Probleme der Softwareentwicklung zu lösen, versucht diese Arbeit, theoriegeleitet einen Beitrag für die Praxis zu liefern. Eine Entscheidung für oder gegen ein Softwareprojekt und die Notwendigkeit für die Entwicklung eines Produktes bzw. Softwareapplikation bedarf einer genauen Prognose, die einen nachhaltigen Erfolg garantiert und langfristig absichert. Neben den klassischen Problemen, dass Softwareprojekte scheitern bzw. dass sich Softwareprodukte nicht langfristig auf dem Markt durchsetzen und ihre Ziele verfehlen, gewannen die Themen „Klimaschutz“ und „Nachhaltigkeit“ der Softwareapplikationen im letzten Jahrzehnt immer mehr an Bedeutung, wie z. B. der Energie- sowie Hardwareverbrauch beim Einsatz der Software, welches unter dem Begriff nachhaltige Softwareentwicklung/grüne Software aufgeführt wird. Die vorliegende Arbeit versucht, sowohl die klassischen Probleme zu lösen als auch die Klimaschutzziele und Nachhaltigkeitsziele mittels nachhaltiger Softwareindikatoren zu erreichen. Die vorliegende Arbeit befindet sich in klassischer Sicht in einem magischen Dreieck diverser Prinzipien. Ein Beispiel für magische Dreiecke liegt neben den drei Säulen der Betriebswirtschaft, wie Kosten, Qualität und Innovation, auch in der nachhaltigen Entwicklung wie Ökologie, Soziales und Ökonomie. Dies im Gleichgewicht zu halten, bedeutet, die Kosten minimal zu halten sowie bessere Qualität anzustreben und langfristig innovativ zu sein. Die vorliegende Arbeit stellt ein Hypothesenmodell empirisch auf, um die Prognose eines erfolgreichen Softwareprojektes bzw. einer Softwareapplikation in den Griff zu bekommen, indem die Kosten minimal gehalten sowie Innovation und Qualität langfristig abgesichert werden können, da nachhaltige Softwareindikatoren des magischen Dreieckes „Ökologie“, „Soziales“ und „Ökonomie“ einbezogen werden. Durch einen empirisch validierten direkten sowie indirekten Zusammenhang zwischen der Säule „Ökonomie“ und den restlichen Säulen eines magischen Dreieckes können sowohl die klassischen Probleme bei der Entwicklung von Softwareapplikationen beseitigt werden als auch die Nachhaltigkeitsziele erreicht werden.

Vor dem Hintergrund, dass solch ein Unterfangen mehr als nur eine Disziplin gleichzeitig integrativ bedarf, welche den Product-Life-Cycle der Software als Produkt vor Augen führt, spielen Instrumente der Softwareentwicklung, nachhaltige Entwicklung, grüne Software und empirische Forschungsmethoden ebenfalls einen entscheidenden Beitrag, um die praktischen Probleme der Softwarebranche anzugehen. Um dies deutlich darzustellen, bedarf es einer theoretischen und empirischen Auseinandersetzung, die notwendig ist, um anhand einer Forschungslücke auf einen praktischen und wissenschaftlichen Fortschritt zu zielen. Die Forschungslücke dieser Arbeit ist praktischer Natur und besteht darin, dass Aspekte, Strategien und Maßnahmen der grünen Software bzw. nachhaltigen Softwareentwicklung in ein praktisches Messinstrument überführt werden, damit sie in der frühen Phase der Softwareentwicklung ihre Berücksichtigung finden. In der Praxis mangelt es Softwareentwicklungsingenieuren an Informationen, Infrastrukturen und Werkzeugen, wie eine vom Jahr 2016 durchgeführte empirische Untersuchung (qualitative und quantitative Untersuchung) von 464 Praktikern in den Firmen ABB, Google, IBM und Microsoft zeigt (vgl. Manotas et al., 2016, S. 245). Die vorliegende Arbeit behebt diesen Mangel, indem sowohl ein Instrument zur Prognose des nachhaltigen Erfolges erarbeitet als auch ein empirisch validierter direkter und indirekter Zusammenhang zwischen den nachhaltigen Softwareindikatoren und den klassischen Risiken sowie Erfolgsfaktoren im Rahmen des Risikomanagements einer Softwareapplikation aufgezeigt wird.

Der wissenschaftliche und praktische Erkenntnisfortschritt dieser Arbeit besteht darin, dass zum einen versucht wird, theoriegeleitet, empirisch und argumentativ einen neuen Maßstab in der Softwareentwicklung und dessen Nutzung aufzustellen; zum anderen wird ein Modell empirisch entwickelt, mit dem der nachhaltige Erfolg eines Softwareentwicklungsprojektes sowie Produktes frühzeitig gemessen und prognostiziert werden kann. In diesem Modell werden die wesentlichen Risiken und Handlungsmaßnahmen eines Softwareprojektes bei Beachtung der nachhaltigen Softwareentwicklung abgebildet und in ein analytisches empirisches Instrument überführt, um hiermit den nachhaltigen Erfolg in der Praxis zu prognostizieren. Damit wird auf dieser Basis ein Instrument erarbeitet, mit dem Maßnahmen zur Erfolgssicherung ergriffen werden können. Dabei gilt der Grundsatz, dass die Risiken zum einen minimal sein sollen und zum anderen grüne Software als Maßstab für die Entwicklung und Nutzung herangezogen werden soll. Neben dem wissenschaftlichen und praktischen Erkenntnisfortschritt liefert diese Arbeit neue Erkenntnisse für Theorie und Praxis. Dabei

besteht die Neuheit aus zwei Aspekten. Einerseits stellt die Betrachtung der Erfolgs- und Risikofaktoren bei Berücksichtigung der nachhaltigen Softwareentwicklung eine Neuheit dar, um sie in Softwareprojekten erfolgreich umsetzen zu können, um dabei einen gemeinsamen Nenner bzw. Maßstab in der Entwicklung und Nutzung der Software aufzustellen.

Andererseits stellt insbesondere die Berücksichtigung des in der Praxis neuen Gebietes der nachhaltigen Softwareentwicklung in seiner ökologischen Dimension ein Innovationsfeld für die Softwareentwicklung dar, dessen Beachtung zu unternehmerischem Erfolg führen sowie Imageschäden und Verluste vermeiden kann. Dieser Aspekt hat nach der Dieselmotor-Krise der Volkswagen AG deutlich an Bedeutung gewonnen (vgl. Claas, 2016 abgerufen am 16.08.2016).

1.2. Problemstellung

Die Softwareentwicklungsbranche ist in den letzten Jahrzehnten deutlich gewachsen; der Zuwachs liegt zwischen 2011 und 2012 in Deutschland bei 4,97 % Beschäftigten (vgl. Leimbach, Wydra, 2012). Der jährliche weltweite Umsatz der Softwareindustrie liegt laut Statistiken bei 230 Mrd. US-Dollar; der jährliche Zuwachs beim Umsatz liegt in Europa bei sieben Prozent und in Asien bei neun Prozent (vgl. Buxmann et al., 2015, S. 5). Dieser Zuwachs verdeutlicht die Tatsache, dass Unternehmen und Gesellschaft Software-Produkte in zunehmendem Maße benötigen. Die Abhängigkeit der Gesellschaft und der Industrie von Software als Produkt nimmt kontinuierlich zu. Deshalb hat sich die Softwareentwicklung als eigenständige Disziplin bzw. eigenständiges Berufsfeld etabliert und sowohl in der Forschung als auch in der Praxis an Wissen gewonnen, um die Anforderungen von Unternehmen und Gesellschaft zu erfüllen. Der typische Ablauf eines Softwareentwicklungsprojektes wird in der Literatur und Praxis klassischerweise durch eine Absprache zwischen Kunden und Unternehmen ausgelöst, die für die Planung der Projekte entscheidend ist. Dabei kommunizieren Auftraggeber (Kunde) und Auftragnehmer (Unternehmen) insbesondere in Form eines Lasten- und Pflichtenhefts. Abbildung 1 skizziert diese Kommunikation, welche normalerweise die Grundlage für die weiteren Schritte der Softwareentwicklung und Planung darstellt. Diese erste Phase ist Teil eines jeden Prozesses zur Entwicklung von Software. Sie wird sowohl in klassischen Softwareentwicklungsprozessen (z. B. nach dem V-Modell oder dem Wasserfallmodell) als auch im agilen Umfeld (z. B. nach Scrum) als Projektinitiierungsphase bezeichnet (vgl. Pohl und Rupp, 2015, S. 3).

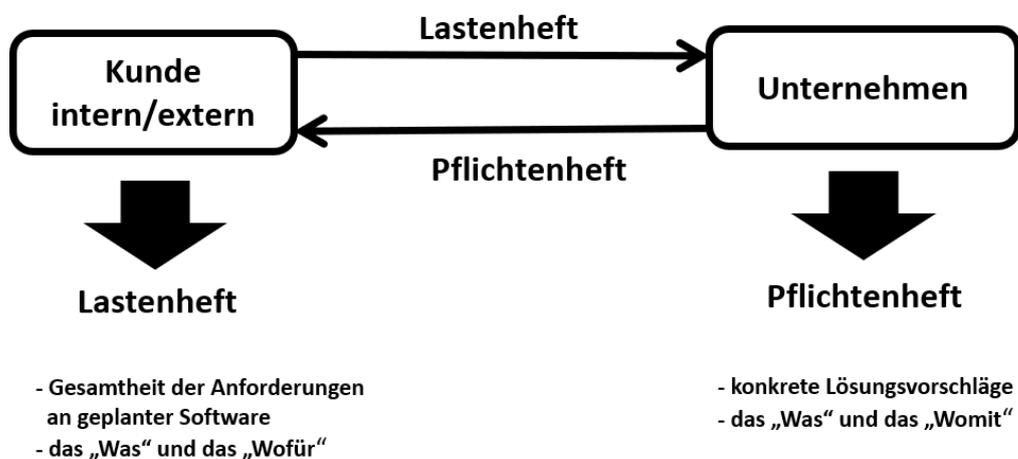


Abbildung 1: Kommunikation zwischen Kunden und Unternehmen in der Softwareentwicklung. Quelle: eigene Darstellung

Bei der klassischen Entwicklung beginnt jedes Softwareentwicklungsprojekt demnach mit der Anfrage eines Kunden in Form eines Lastenheftes. Damit schreibt er damit, was eine Software leisten muss und wofür sie eingesetzt werden soll. Nach einer Voranalyse antwortet das Unternehmen auf die Anforderungen im Lastenheft mit einem Pflichtenheft. Darin wird für jede der Anforderungen ein Lösungsvorschlag dargestellt, evtl. auch mehrere Alternativen. Somit beschreibt das Pflichtenheft, was die Software leisten muss und womit dies sichergestellt wird. Billigt der Kunde dieses Pflichtenheft, kann das Projekt starten. Parallel zu diesen Abläufen müssen auf der Basis von Lasten- und Pflichtenheft Projektpläne erstellt werden. In diesen Plänen sind Zeit-, Kosten- und Ressourcenplanung enthalten. Sie bilden die Basis für den Erfolg des Projektes und haben große Auswirkungen auf die vertraglichen Rahmenbedingungen. Der Auftragnehmer verpflichtet sich, die Software an den Auftraggeber zu liefern. Er muss darauf achten, Zeit, Kosten, Qualität und Funktionalität wie vertraglich vereinbart einzuhalten. Dabei unterscheiden sich Softwareprojekte meistens deutlich in der Vertragsgestaltung. Viele Softwareprojekte werden mit einem Dienstleistungs- oder Werksvertrag abgewickelt. In der klassischen Entwicklung nach dem Wasserfallmodell/V-Modell ist dieser klar an die Anforderungsphase gebunden. Demgegenüber gibt es im agilen Umfeld keine konkrete Vorgabe und die Projekte werden meistens nach dem Umfang der einzelnen Inkremente (zeitlich abgestimmte Lieferung) vertraglich vereinbart (vgl. Rosenthal, 2016). Diese Projektinitiierungsphase und die erste grobe Planung stellen die Unternehmen vor große Fragestellungen und Risiken. Sie zu bewältigen, stellt sich in der Praxis als große Herausforderung dar. Die Planungen basieren meistens auf Erfahrungswerten, Ist-Zustand, Stand der Technik, Schätzmethoden und Wirtschaftlichkeits-Berechnungsmethoden. Auf dieser Basis werden die Planung und Erfolgseinschätzung erstellt. Dabei spielen einige Fragestellungen eine große Rolle – insbesondere die Frage, ob die Softwareentwicklung im Unternehmen oder durch Fremdbeauftragung durchgeführt wird und ob der eigene Bestand des Unternehmens (Werkzeuge, Prozesse, Ressourcen und Know-how) überhaupt ausreicht, um die Lösungsvorschläge zu erfüllen. Durch diese Frage- und Problemstellungen sind Softwareentwicklungsprojekte mit vielerlei Risiken verbunden, die dazu führen können, dass Projekte scheitern. Medienberichte und Statistiken bestätigen (vgl. Pohl, Rupp, 2015, S. 3), dass ein solches Scheitern häufig vorkommt. In diesem Zusammenhang wird in der Literatur oft von einer „Krise der Softwareentwicklung“ gesprochen (vgl. Ludewig und Lichter, 2010), da die Wissenschaft keine allgemeinen theoriegeleiteten Lösungen dafür anbieten kann. Die

Sicherstellung und Prognose des nachhaltigen Erfolges eines Softwareentwicklungsprojektes anhand der Bestandsaufnahme des Unternehmens stellen sowohl für die Wissenschaft als auch für die Praxis eine große Herausforderung dar. Genau an dieser Stelle setzt diese Dissertation an, indem ein Instrument zur Prognose zur Verfügung gestellt wird.

1.3. Einordnung der Arbeit in die Betriebswirtschaftslehre

Im Folgenden wird beschrieben, wie die vorliegende Arbeit in die Wissenschaft und Betriebswirtschaftslehre eingeordnet werden kann. Die Wissenschaft wird durch vier Elemente gekennzeichnet, welche ein Erkenntnisobjekt und Erkenntnisziel sowie eine Methode und ein System abbilden (vgl. Müller und Lorberg, 2015, S. 15). Die Problemstellung und Forschungslücke der vorliegenden Arbeit stellen das Erkenntnisobjekt dar. Die Zielsetzung und Forschungsfragen sowie Thesen bilden das Erkenntnisziel ab. Die Betriebswirtschaftslehre wird durch das magische Dreieck der drei Prinzipien „Das ökonomische Prinzip“, „Das Umweltschonungsprinzip“ und „Das Humanitätsprinzip“ beschrieben (vgl. Müller und Lorberg, 2015, S. 18).

Um die Arbeit in die Betriebswirtschaftslehre einordnen zu können, bedarf es einer genauen Betrachtung der Problemstellung der Arbeit. Die Problemstellung ist praktischer betriebswirtschaftlicher Natur, welches dadurch gekennzeichnet wird, dass durch Minimierung der Kosten in der Entwicklung der Applikationssoftware, indem die nachhaltigen Indikatoren der Softwareentwicklung ihre Berücksichtigung finden, mehr Gewinne erzwungen werden, welches als nachhaltige Gewinne bzw. nachhaltiges Erwirtschaften bezeichnet werden kann. Die vorliegende Arbeit berücksichtigt das magische Dreieck mit den drei Prinzipien der Betriebswirtschaftslehre. Die Forschungsfragen folgen dem ökonomischen Prinzip, um umweltschonend zu erwirtschaften, indem das humanitäre Prinzip durch einen Maßstab aus dem Umweltschonungsprinzip den Input sowie Output des ökonomischen Prinzips optimiert, was eine nachhaltige Wirtschaft mit einem größeren nachhaltigen Gewinn ermöglicht.

Die Betriebswirtschaftslehre bezeichnet die Zuordnung der Informatik als Teilfach, welches eine eigenständige Disziplin darstellt und als Wirtschaftsinformatik und im angloamerikanischen Raum als Informationssystem (IS) bezeichnet wird. Die traditionelle Wirtschaftsinformatik (IS) reduziert sich auf den Gegenstandsbereich Mensch-Aufgabe-Technik-Systeme, welcher in Abbildung 2 zu sehen ist (vgl. Lehner et al., 2008, S. 11–12).

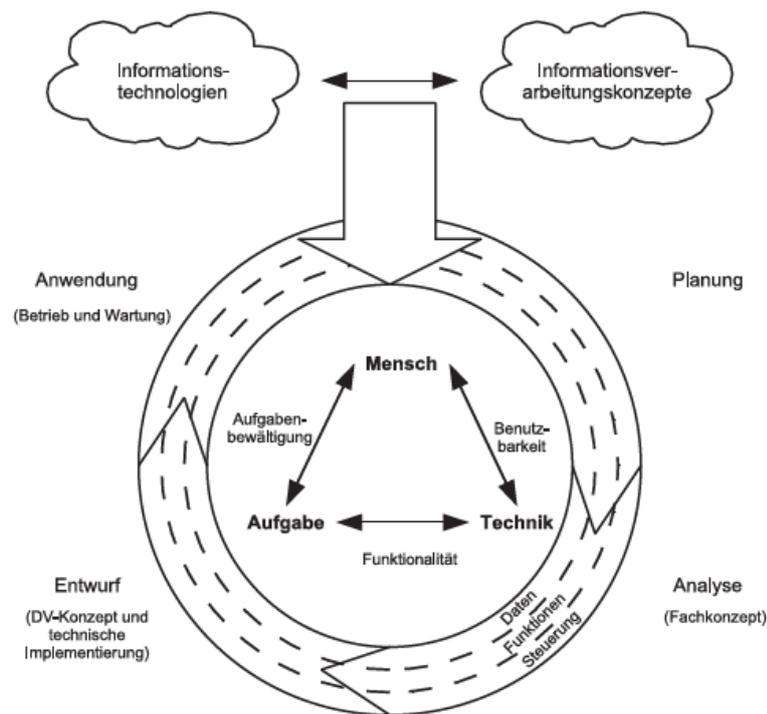


Abbildung 2: Gegenstandsbereiche der traditionellen Wirtschaftsinformatik. Quelle: (Lehner et al., 2008, S. 12)

In der vorliegenden Arbeit werden die traditionellen Gegenstandsbereiche um einen weiteren Gegenstand der grünen Software oder nachhaltigen Software erweitert, wobei nicht das Informationssystem und die Speicherung der Daten im Visier der Betrachtung sind, sondern die Schnittstelle zwischen Softwareapplikation und die darauf laufende Hardware. Hiermit ordnet sich das Thema der vorliegenden Arbeit der Nicht-Traditionellen-Wirtschaftsinformatik zu, was in der folgenden Eingrenzung der Arbeit deutlicher wird.

1.4. Eingrenzung der Arbeit

Die Eingrenzung der Arbeit bezieht sich im Allgemeinen auf die Auswahl von Themenbereichen, ihre Relevanz sowie ihre Bedeutung. Die maßgeblich entscheidenden Themenbereiche werden kurz angerissen, um ihre Bedeutung und Relevanz für die Erreichung der Ziele der vorliegenden Arbeit zu verdeutlichen. Anschließend werden sowohl der Kontext der vorliegenden Arbeit als auch seine Grenzen in Bezug auf seine zeitliche Entwicklung dargestellt. Das führt dazu, dass zum einen Missverständnisse beseitigt werden und zum anderen eine zielführende, sachlogische und verständliche Interpretation der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit in seinem Kontext zustande kommen kann.

Um die angesprochenen Probleme der Softwareentwicklung im Allgemeinen und Applikationssoftware im Speziellen lösen zu können, betrachtet diese Arbeit verschiedene Themenbereiche. Zusammenfassend handelt es sich um folgende Bereiche, die miteinander verknüpft werden, um eine theoriegeleitete empirische Lösung aufzustellen:

- nachhaltige Entwicklung
- Softwareentwicklung und speziell nachhaltige Softwareentwicklung
- strategisches und operatives Projekt- und Risikomanagement
- Softwaremessung und -bewertung
- empirische Forschung.

Um sowohl die theoretische als auch die praktische Relevanz der Thematik zu verdeutlichen, wird in relevanten wissenschaftlichen Literaturdatenbanken eine Recherche mit den folgenden Stichwörtern durchgeführt:

- Green IT
- Green Software
- Software measurement and assessment
- Software risk management.

Tabelle 1: Anzahl der Publikationen im Themenschwerpunkt im Jahr 2017

Wissenschaftliche Literatur Suchmaschine	Green IT	Green Software	Software measurement and assessment	Software risk management
https://scholar.google.de/	3 130 000	3 990 000	3 290 000	3 210 000
http://www.sciencedirect.com/	1 526 676	356 341	263 569	185 811
https://www.base-search.net/	720 868	8761	21467	12178
http://link.springer.com/	1 029 023	251 147	180 505	201 277

Tabelle 1 zeigt deutlich, dass die Themen von großer Bedeutung sind. Eine weitere aktuellere Diskussion in einem Konferenzpapier von Guzman im Jahr 2021 beschäftigt sich systematisch mit Green IT und IT Governance (vgl. Cordero Guzmán et al., 2020, S. 1–3). Die Recherche von Guzman ergab, dass in den letzten 20 Jahren 85 Artikel über das Thema IT Governance sowie 18 über Green IT erschienen sind. Guzman teilte die Artikel in Frameworks, Best Practice und Modelle ein, um zu dem Ergebnis zu gelangen, dass Green IT bestens in eine verhaltens- oder prozessorientierte IT Governace integriert werden kann. Dies macht deutlich, dass die Suche nach dem besten Weg, Green IT in der Praxis zu etablieren, noch nicht abgeschlossen ist.

Da der Schwerpunkt dieser Arbeit darin besteht, ein theoriegeleitetes empirisches Modell zur Messung des nachhaltigen Erfolges zu entwickeln, spielen dabei einige Schlüsselbegriffe eine Rolle, wobei ihre Definition maßgeblich zur Entwicklung des Modells beitragen kann. Folgende Schlüsselbegriffe werden erläutert:

- Erfolgsfaktoren, Risikofaktoren der Softwareentwicklung
- Erfolgreiche Softwareprojekte sowie Softwareprodukte
- Nachhaltiger Erfolg
- Grüne Software.

Die Ermittlung der aktuellen Risiko- und Erfolgsfaktoren im Rahmen dieser Arbeit spielt eine große Rolle. Der Erfolg eines Softwareentwicklungsvorhabens (Projekt und Produkt) ist laut der retrospektiven Sichtweise von Buschermöhle et al. wie folgt definiert: Ein Softwareprojekt ist erfolgreich, wenn die Funktionalität der zu entwickelnden Software zu 100 % erfüllt wurde und der Zeitplan und Kostenplan eingehalten sind (vgl. Buschermöhle et al., 2006, S. 37). Die retrospektive Sichtweise von Buschermöhle et al. wird herangezogen,

um die Erfolgs- und Risikofaktoren zu definieren. Dabei sind Erfolgsfaktoren sämtliche Strategien und Maßnahmen, die die Erfüllung der Funktionalität der zu entwickelnden Software und das Einhalten der Termine und Kostenziele positiv beeinflussen. Um diesen Erfolg zu erlangen, sollten die Risiken, die die Erfolgsfaktoren negativ beeinflussen, vermieden werden. Dabei besteht ein Softwareprojekt laut der Norm ISO 21500 aus einer einzigartigen Gruppe von Prozessen. Die Prozesse sind zielgerichtete, koordinierte und gesteuerte Vorgänge, die Beginn- und Fertigstellungstermine umfassen (vgl. Johannsen et al., 2017, S. 9). Softwareprojekte verfolgen das Ziel, Softwareprodukte zu entwickeln und auf den Markt zu bringen. In dieser Arbeit wird folgende Definition zugrunde gelegt: „Ein Softwareentwicklungsprojekt ist nachhaltig erfolgreich, wenn Erfolgs-, Risikofaktoren, Strategien und Maßnahmen der grünen Software analysiert, bewertet, dokumentiert, kontrolliert und im weiteren Projektverlauf durch geeignete Maßnahmen beachtet werden, so dass die entwickelten Produkte über den gesamten Lebenszyklus nachhaltiger werden.“

Das Thema nachhaltige Software wird in jüngster Zeit unter dem Schlagwort grüne Software diskutiert. Weder für grüne Software noch für nachhaltige Softwareentwicklung existiert bisher eine Standarddefinition. Das Thema hat in den letzten zehn Jahren an Bedeutung und Relevanz gewonnen, da der Stromverbrauch von softwareabhängigen elektronischen Geräten bis hin zu ganzen Rechenzentren unabhängig vom Anwendungsfeld gestiegen ist. Das ist darin begründet, dass allein im Jahr 2010 Laptops, Desktops und PCs die meistverkauften Produkte waren, die Softwareapplikationen zur Bedienung und Steuerung benötigen. Auf der anderen Seite gab es im Jahr 2013 insgesamt 317 Millionen Tablets und 1,2 Billionen Smartphones und die dazugehörigen Rechenzentren, in welchen Softwareapplikationen ausgeführt werden. Das zeigt, dass der Stromverbrauch enorm gestiegen ist und Software sowohl einen direkten (Nutzungsphase) als auch indirekten (Entwicklungsphase) Einfluss darauf hat (vgl. Gartner, 2017, S. 1–2). In Tabelle 2 werden die meistverwendeten Definitionen der nachhaltigen Softwareentwicklung dargestellt.

Tabelle 2: Definitionen der nachhaltigen Softwareentwicklung

nachhaltige Softwareentwicklung
„Die nachhaltige Softwareentwicklung zielt darauf ab, langlebige und zuverlässige Software zu entwickeln, um Benutzeranforderungen zu erfüllen und negative Umweltauswirkungen zu minimieren. Dabei wird stets eine bessere Software angestrebt ohne die Chancen der zukünftigen Generationen zu beeinträchtigen“ (vgl. Amsel et al., 2011) ¹ .
„Die nachhaltige Softwareentwicklung zielt darauf ab, langlebige und zuverlässige Software zu entwickeln, um Benutzeranforderungen zu erfüllen und negative Auswirkungen auf ökonomischer, sozialer und ökologischer Ebene zu minimieren“ (vgl. Manteuffel und Loakeimidis, 2012).
„Die nachhaltige Softwareentwicklung ist eine Vorgehensweise, bei der Software-Produkte definiert und entwickelt werden, womit positive und negative Einwirkungen auf die Nachhaltigkeit über den gesamten Lebenszyklus des Software-Produktes kontinuierlich bewertet, dokumentiert und optimiert werden können“ (vgl. ISO 26000:2010(en), 2016).
„Die nachhaltige Softwareentwicklung ist eine Softwareentwicklung, die die Balance zwischen schnellen Lieferungen und langlebiger Nachhaltigkeit aufrechterhält. Langlebige Nachhaltigkeit bedeutet in diesem Kontext die Fähigkeit, auf Markt-, Kunden- und technische Änderungen zu reagieren“ (vgl. Tate, 2005).
„Die nachhaltige Softwareentwicklung oder grüne Softwareentwicklung bezeichnet eine Softwareentwicklung, in der grüne und nachhaltige Software entwickelt wird, wo ein grüner bzw. nachhaltiger Entwicklungsprozess zum Einsatz kommt. Bei diesem Prozess wird das Software-Produkt definiert und entwickelt, womit die positiven und negativen Einwirkungen auf die nachhaltige Entwicklung über den gesamten Lebenszyklus des Software-Produktes kontinuierlich bewertet, dokumentiert und benutzt werden, um eigene und andere Software-Produkte zu optimieren“ (Dick, Naumann, 2010, zit. in Calero, Piattini, 2015, S. 12).
„Die nachhaltige Softwareentwicklung oder grüne Softwareentwicklung setzt sich die Zielstellung, die traditionelle Softwareentwicklung in einem zusammengefassten Punkt zu verbessern: Die Auswirkungen des Software-Produktes während des gesamten Lebenszyklus auf direkte und indirekte Ressourcenverbräuche der natürlichen Ressourcen und Energie zu überwachen, zur kontinuierlichen Messung, zu bewerten und zu optimieren“ (Kern et al., 2013, zit. in Calero, Piattini, 2015, S. 12).
„Die Softwareentwicklung für Nachhaltigkeit zielt darauf ab, Werkzeuge und Methoden einzusetzen, so dass die Zielstellung und Vision der nachhaltigen Software erreicht werden (vgl. IDC Economic Impact Study, 2009).

Um die Arbeit einzugrenzen, werden folgende Ebenen bezüglich der Softwareentwicklung herangezogen, die für Software-Projektmanagement im klassischen und agilen Umfeld nach dem Standard ASQF Certified Professional for Project Management (CPPM) berücksichtigt werden (vgl. Johannsen et al., 2017, S. 12–13):

- Projektebene (allgemeine Erfolgs- und Risikofaktoren, Vorgehensmodell, Software-Lebenszyklus und grüne Software-Strategien)
- Produktspezifische Ebene (allgemeine vom Verwendungszweck unabhängige Aspekte wie Qualität, soziale Verträglichkeit und ökologische Aspekte wie der Ressourcenverbrauch der Software in der Nutzungsphase).

¹ Die Definitionen in dieser Tabelle sind direkte Zitate und stellen nur eine Übersetzung der englischen Quelle dar.

Im Rahmen dieser Arbeit ist der Fokus auf die wesentlichen nachhaltigen Softwareindikatoren gerichtet, die auf Projekt- und Produktebene die Risiken minimieren und den Erfolg fördern. Dabei versucht diese Arbeit, bezüglich der andauernden Softwarekrise einen neuen Meilenstein zu setzen, um die Prinzipien nachhaltiger Softwareentwicklung als Maßstab zu definieren, was sowohl der traditionell klassischen und der agilen Softwareentwicklung als Benchmark zur Verfügung gestellt werden kann. Zusammenfassend zielt die Eingrenzung der Arbeit auf die Aufforderung, eine neue Brille für die Entwicklung der Softwareapplikation aufzusetzen, um einerseits durch nachhaltige Software den Problemen der Branche entgegenzuwirken. Andererseits geht es darum, potenzielle Probleme der Entwicklung einer Softwareapplikation rechtzeitig zu eliminieren bzw. zu beseitigen. Dadurch können Klima- und Nachhaltigkeitsziele durch nachhaltige Software als Vorzeigeprojekt erreicht werden. Um die Eingrenzung der Arbeit abzuschließen, soll die vorliegende Arbeit als ein abgeschlossener Kontext mit Grenzen dargestellt werden. Der abgeschlossene Kontext besitzt zum einen eine graue Zone und zum anderen eine Zone außerhalb des Kontextes. Abbildung 3 zeigt die Veränderungen mit der Zeit, was dazu führt, den Kontext immer zu vergrößern, da etwas zum Stand der Technik geworden ist.

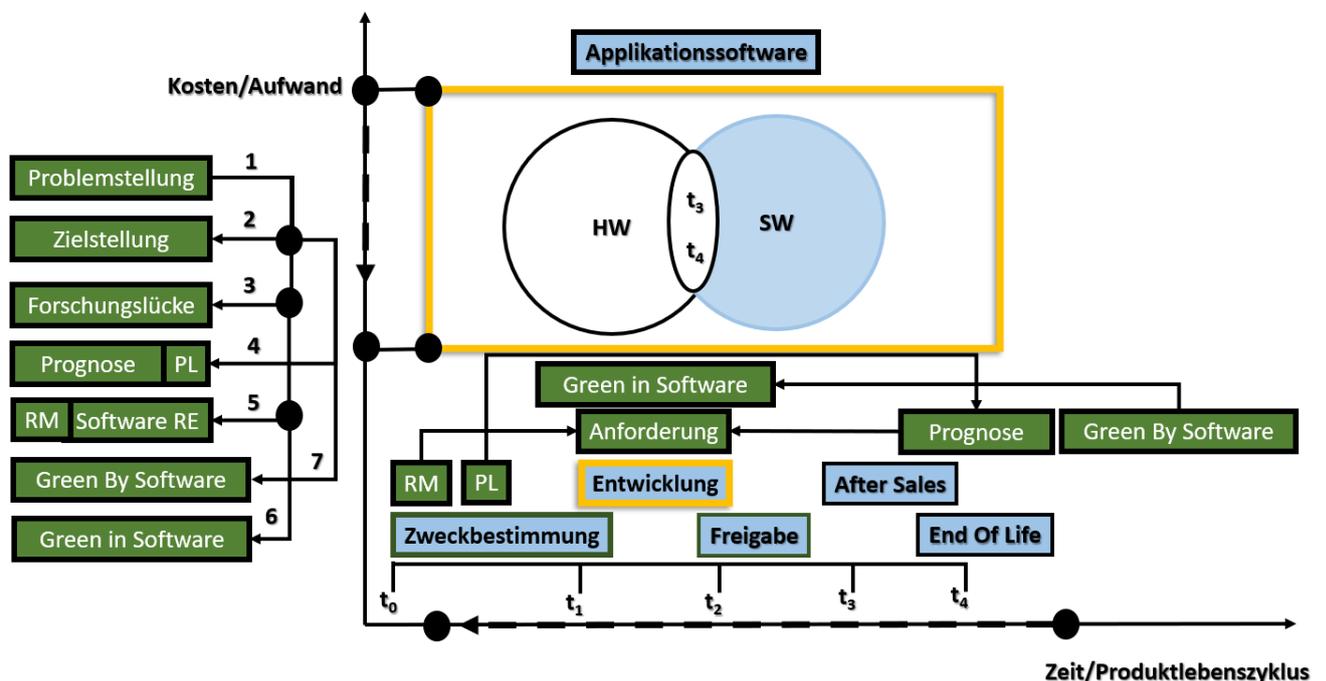


Abbildung 3: Grenzen und die zeitliche Veränderung der vorliegenden Arbeit. Quelle: eigene Darstellung

Die Kontextgrenze, welche in dieser Arbeit behandelt wird, ist ein physisches (Hardware) abgeschlossenes System und die dazugehörige darauf laufende Softwareapplikation in ihrem Lebenszyklus. Hiermit wird Green by Software während der Entwicklung einer Softwareapplikation mit der Zeit zum Standard bzw. Stand der Technik, was dann als Green in Software gekennzeichnet werden kann. Ein Beispiel zur Verdeutlichung der Abgrenzung wäre eine Stand-Alone Applikation wie Microsoft Word. Microsoft Word auf einem abgeschlossenen System, wie z. B. einem Laptop mit einem Add-In Feature für Green by Software wie Skype, um eine Telekonferenz zustande zu bringen und eine Dienstreise ersparen zu können, eben mit der Zeit als ein Standard der Softwareapplikation geworden. Hiermit ist Green by Software zum Standardfeature und als Green in Software gekennzeichnet. Der Kontext außerhalb einer physisch abgeschlossenen Hardware ist jedoch nicht Teil der Behandlung der vorliegenden Arbeit. Weitere Themen, wie z. B. Cloud Computing, Virtualisierungen, Thin Clients und Green IS sowie Green Data und Softwareapplikationen mit Client-Server-Architektur wie Streamingdienste, gehören in der vorliegenden Arbeit der grauen Zone an und werden daher nicht betrachtet. Die graue Zone wird unter anderem in diversen wissenschaftlichen Diskussionen und die dazugehörigen Ergebnisse als Teil des Themengebietes wie Green IT sowie Green Software betrachtet. Cloud Computing und Client Server Architektur sowie Datastreaming werden in Calero und Piattini sowie in Murugesan und Gangadharan behandelt(vgl. Calero und Piattini, 2015, S. 86; vgl. Murugesan und Gangadharan, 2012, S. 12). Lampe, Vogel, Kocoglu und Berger betrachten Green Data, Virtualisierung und Thin Clients (vgl. Lampe, 2009, S. 74–76; vgl. Vogel et al., 2010, S. 29–30). Des Weiteren betrachtet die vorliegende Arbeit keine Themen bezüglich Green Datenübertragungen und Green Kommunikationsnetzen (vgl. I et al., 2019, S. 16; vgl. Murugesan und Gangadharan, 2012, S. 127). Sie befinden sich außerhalb der Kontextgrenze der Arbeit. Die vorliegende Arbeit behandelt nicht die graue Zone und die Zone außerhalb des beschriebenen abgeschlossenen Kontextes.

1.5. Forschungsfrage und Thesen

1.5.1. Forschungsfrage

Die Arbeit beschäftigt sich im Wesentlichen mit den folgenden Forschungsfragen:

1. Welche nachhaltigen Softwareindikatoren sowie Erfolgs- und Risikofaktoren haben einen maßgeblichen Einfluss auf den nachhaltigen Erfolg von Software-Entwicklungsprojekten?
2. Wie können diese nachhaltigen Softwareindikatoren sowie Erfolgsfaktoren beachtet, gemessen und das dazugehörige Risiko durch Handlungsmaßnahmen (ergänzend) reduziert werden?
3. Inwieweit können nachhaltigen Softwareindikatoren den nachhaltigen Erfolg in der Softwareentwicklung sowohl prognostizieren als auch maßgeblich beeinflussen, so dass ein theoriegeleitetes Instrument zur Messung des nachhaltigen Erfolges entwickelt werden kann?

Die Arbeit gliedert sich in eine Hauptforschungsfrage (1) und zwei Subforschungsfragen (2,3). Die Forschungsmethodik der vorliegenden Arbeit zielt auf die Beantwortung der Forschungsfragen und gliedert sich in einen Literaturteil (Hauptforschungsfrage), welcher die Grundlagen für eine empirische Voruntersuchung (erste Subforschungsfrage) bildet. Die empirische Hauptuntersuchung beantwortet die zweite Subforschungsfrage und schließt die Arbeit ab. Die Hauptforschungsfrage bezieht sich auf das ökonomische Prinzip der Betriebswirtschaftslehre, indem die nachhaltigen Softwareindikatoren in der Entwicklung von Softwareapplikationen als Chance angesehen werden, um einen nachhaltigen Erfolg bzw. nachhaltigen Gewinn erzielen zu können. Die erste Subforschungsfrage berücksichtigt das Umweltschonungsprinzip der Betriebswirtschaftslehre. Werden die nachhaltigen Softwareindikatoren berücksichtigt, lassen sich die Entwicklungskosten der Softwareapplikation minimieren, wobei das humanitäre Prinzip der Betriebswirtschaftslehre einbezogen wird, sodass das Umweltschonungsprinzip als Messlatte bzw. Maßstab herangezogen wird. Die Voruntersuchung der vorliegenden Arbeit beantwortet diese Subforschungsfrage, um eine Basis für die Hauptuntersuchung zu schaffen.

Die zweite Subforschungsfrage bezieht sich auf den direkten und indirekten Einfluss auf Ökonomie, Soziales und Ökologie in einem magischen Dreieck, welches die Säulen der nachhaltigen Entwicklung in der Betriebswirtschaftslehre darstellt. Je mehr nachhaltige Softwareindikatoren in der Entwicklung von Softwareapplikation einbezogen sowie berücksichtigt werden, desto mehr Entwicklungskosten können gespart werden, welche zu einem nachhaltigen Gewinn führen. Die zweite Subforschungsfrage wird in der Hauptuntersuchung der vorliegenden Arbeit beantwortet.

1.5.2. Thesen

1.5.2.1. Ökonomischer Erfolg (Projektebene)

Bezüglich des ökonomischen Erfolgs geht diese Arbeit von folgender These aus:

- Wenn ein Unternehmen die ökonomischen Erfolgs- und Risikofaktoren anhand der Bestandsaufnahme erkennt und bewertet sowie mit Risikominderungsmaßnahmen bezüglich der Prognose des nachhaltigen Erfolges der Softwareentwicklung darauf reagiert, kann der ökonomische Erfolg nachhaltig positiv beeinflusst werden.

Der ökonomische Erfolg drückt sich in Faktoren wie Kosten, Zeit und Qualität aus. Ein günstiges Risiko-Nutzen-Verhältnis in dieser Hinsicht ermöglicht z. B. auch einen Wettbewerbsvorteil.

1.5.2.2. Sozialer Erfolg (projekt- und produktspezifische Ebene)

Bezüglich des sozialen Erfolges geht diese Arbeit von folgender These aus:

- Wenn ein Unternehmen die sozialen Erfolgs- und Risikofaktoren anhand der Bestandsaufnahme erkennt und bewertet sowie mit Risikominderungsmaßnahmen bezüglich der Prognose des nachhaltigen Erfolges der Softwareentwicklung darauf reagiert, kann der soziale Erfolg nachhaltig positiv beeinflusst werden.

Der soziale Erfolg drückt sich in Faktoren wie Motivation der Mitarbeiter, verbesserte Kommunikation, soziale Verantwortung, Vermeidung von Diskriminierung und verstärkten Weiterbildungsmaßnahmen aus. Ein günstiges Risiko-Nutzen-Verhältnis in dieser Hinsicht ermöglicht z. B. auch einen Wissensvorsprung in einem bestimmten Gebiet und reduziert die Mitarbeiterfluktuation.

1.5.2.3. Ökologischer Erfolg (produktspezifische Ebene)

Bezüglich des ökologischen Erfolgs geht diese Arbeit von folgender These aus:

- Wenn ein Unternehmen die ökologischen Erfolgs- und Risikofaktoren anhand der Bestandsaufnahme erkennt und bewertet sowie mit Risikominderungsmaßnahmen bezüglich der Prognose des nachhaltigen Erfolgs der Softwareentwicklung darauf reagiert, kann der ökologische Erfolg nachhaltig positiv beeinflusst werden.

Da dieses Gebiet im Hinblick auf die Softwareentwicklung noch neu ist, sind auch die diesbezüglichen Risiko- und Erfolgsfaktoren noch nicht ausreichend erforscht. Der ökologische Erfolg drückt sich z. B. im Faktor Ressourcenverbrauch der Software während der Entwicklung und der Nutzungsphase aus. Ein günstiges Risiko-Nutzen-Verhältnis in dieser Hinsicht kann einen Wettbewerbsvorteil ermöglichen, einen Wissensvorsprung in einem bestimmten Gebiet hervorbringen und die Entwicklungskosten minimieren.

1.6. Zielsetzung der Arbeit

Die Arbeit verfolgt das Ziel, theoriegeleitet ein empirisches Modell zu erstellen, mit dem der nachhaltige Erfolg von Softwareprojekten und -produkten positiv beeinflusst und prognostiziert werden kann. Zudem geht es darum, welche Handlungsmaßnahmen zur Erfolgsbeeinflussung notwendig sind. Abbildung 4 zeigt die Zielsetzung der Arbeit schematisch.

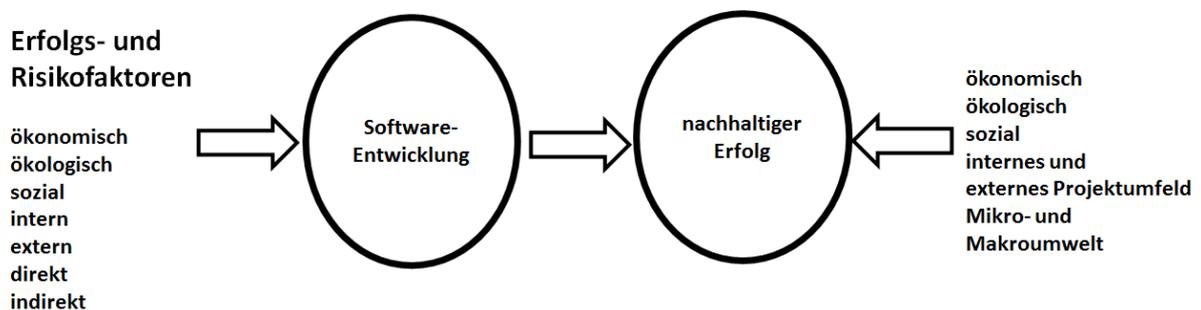


Abbildung 4: Grobe Struktur der Zielsetzung der Arbeit. Quelle: eigene Darstellung

Diese schematische Struktur der Zielsetzung zeigt, dass die wesentlichen Risiken und Erfolgsfaktoren in der Softwareentwicklung und -nutzung sowie die Maßnahmen zur Minimierung der Risiken eine besondere Rolle spielen, um den nachhaltigen Erfolg u.a. in den einzelnen Dimensionen (ökonomisch, sozial und ökologisch) positiv beeinflussen und prognostizieren zu können.

Die vorliegende Arbeit zielt zum einen auf die Entwicklung eines Instruments zur Prognose des nachhaltigen Erfolges in der Entwicklung von Softwareapplikationen ab. Zum anderen setzt sich die Arbeit das Ziel, empirisch aufzuzeigen, dass es einen empirisch validierten direkten und indirekten Zusammenhang zwischen den nachhaltigen Softwareindikatoren und den klassischen Risiken sowie Erfolgsfaktoren im Rahmen des Risikomanagements einer Softwareapplikation gibt, um den nachhaltigen Erfolg einer Softwareapplikation positiv beeinflussen zu können. Die Arbeit wird empirisch aufzeigen, dass die ökonomische Säule eines magischen Dreieckes der Betriebswirtschaft durch nachhaltige Softwareindikatoren positiv beeinflusst wird, ohne dabei in Bezug auf die restlichen Säulen auf Kompromisse einzugehen, darunter Qualität/ Ressourcen sowie Innovation.

Tabelle 3 und Tabelle 4 zeigen beispielhaft einige Risiken und Erfolgsgrößen in den drei Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung.

Tabelle 3: Risiken und Erfolgsgrößen in den Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung. Quelle: eigene Darstellung

<u>Risiken</u>	<u>Ökonomisch</u>	time to market, Budget- und Zeitüberschreitung, Qualität
	<u>Sozial</u>	mangelnde Kommunikation, mangelnde Motivation der Mitarbeiter, mangelndes Know-how
	<u>Ökologisch</u>	zu hoher Ressourcenverbrauch, Fehlen von Green IT (Green in oder durch Software) während der Entwicklung und Nutzung der Software, mangelhafte Performance

Tabelle 4: Erfolgsgrößen in den Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung. Quelle: eigene Darstellung

<u>Erfolgsgrößen</u>	<u>Ökonomisch</u>	Steigerung der Produktivität (Minimierung von Aufwand, Kosten und Ressourcen), nachhaltiger Gewinn
	<u>Sozial</u>	Verbesserung der Kundenzufriedenheit, Verbesserung der Motivation der Mitarbeiter
	<u>Ökologisch</u>	minimaler Ressourcenverbrauch während der Entwicklung und Nutzung sowie Wartung

1.7. Forschungsimplicationen der Arbeit

Die Ziele der vorliegenden Arbeit erzwingen folgende Forschungsimplicationen, welche sich auf die nachstehenden Anwendungsfelder der Softwareentwicklung und des Nachhaltigkeitsmanagements beziehen:

1. Softwareprojekte
2. Softwaremessung und –bewertung
3. Nachhaltige Softwareentwicklung
4. Nachhaltigkeitsbewertung
5. Risikobewertung in der Softwareentwicklung.

1. Um empirisch ein Instrument zur Messung des nachhaltigen Erfolges entwickeln zu können, welches praktische Relevanz bezüglich der Softwareentwicklungsprojekte hat, sollen die theoretischen Voraussetzungen von Softwareentwicklungsprojekten beachtet und ihre praktischen Regeln eingehalten werden. Dadurch ergeben sich folgende Randbedingungen:

- Das Messinstrument soll ein Teil der industriellen Softwareentwicklung werden, indem es im Rahmen der Anforderungsdefinitionsphase Teil des Entwicklungsprozesses wird.
- Die Ergebnisse des Messinstruments sollen weitere Phasen des Entwicklungsprozesses positiv beeinflussen und bei jedem Durchlauf des Prozesses herangezogen und aktualisiert werden.
- Die Stakeholder eines Softwareentwicklungsprojektes (wie z. B. Projektleiter, Qualitätsmanager, Entwickler und Tester) sollen Bereitschaft zeigen, das Instrument im Entwicklungsprozess einzusetzen.

2. Um auf Basis des aktuellen Standes von Instrumenten zur Softwaremessung und -bewertung ein Instrument zur Messung des nachhaltigen Erfolgs empirisch entwickeln zu können, welches praktische Relevanz bezüglich Softwaremessung und -bewertung hat, sollen die theoretischen Voraussetzungen der Softwaremessung und -bewertung beachtet und ihre praktischen Regeln eingehalten werden. Dadurch ergeben sich folgende Randbedingungen:

- Das Messinstrument soll zu einem besseren Verständnis des Softwareproduktes führen.
 - Durch die Messung sollen künftige Projekte eine bessere Basis haben, um sie mit abgeschlossenen Projekten zu vergleichen.
 - Die Ergebnisse der Messung sollen die Steuerung zukünftiger Projekte erleichtern.
 - Das Messinstrument soll die Kommunikation zwischen den am Projekt Beteiligten verbessern.
 - Das Projekt soll im Hinblick auf zentrale Erfolgskriterien (wie z. B. Kosten, Dauer und Qualität) besser eingeordnet und beurteilt werden können.
 - Verbesserungspotentiale sollen durch das Messinstrument aufgedeckt werden.
3. Um auf Basis des aktuellen Standes der nachhaltigen Softwareentwicklung ein Instrument zur Messung des nachhaltigen Erfolgs empirisch entwickeln zu können, welches praktische Relevanz bezüglich der nachhaltigen Softwareentwicklung hat, sollen die theoretischen Voraussetzungen der nachhaltigen Softwareentwicklung beachtet und ihre praktischen Regeln eingehalten werden. Dadurch ergeben sich folgende Randbedingungen:
- Der aktuelle Stand der nachhaltigen Softwareentwicklung bezüglich Software-Entwicklung und -nutzung soll im Messinstrument umfassend berücksichtigt werden.
 - Strategien und Maßnahmen der nachhaltigen Softwareentwicklung sollen in das Messinstrument integriert werden.
 - Das Messinstrument soll einen Beitrag zur Nachhaltigkeit bezüglich der Software-Entwicklung und -nutzung leisten.
4. Um auf Basis des aktuellen Standes der Nachhaltigkeitsbewertung ein Instrument zur Messung des nachhaltigen Erfolges empirisch entwickeln zu können, welches praktische Relevanz bezüglich der Nachhaltigkeitsbewertung hat, sollen die theoretischen Voraussetzungen der Nachhaltigkeitsbewertung beachtet und ihre praktischen Regeln eingehalten werden. Dadurch ergeben sich folgende Randbedingungen:

- Die Messindikatoren sollen die drei Nachhaltigkeitsdimensionen (ökonomisch, sozial und ökologisch) berücksichtigen.
 - Das Messinstrument leitet die Anforderungen an die Messung und die Messkriterien aus der Nachhaltigkeitsstrategie/CSR des Unternehmens ab.
 - Anhand der Messergebnisse soll in jeder Dimension eine Aussage hinsichtlich des nachhaltigen Erfolgs getroffen werden können.
 - Die Methoden der nachhaltigen Entwicklung, wie Kreislaufwirtschaft und Öko-Design, werden herangezogen, um den Product-Life-Cycle der Software und die Auswertung der vorliegenden Arbeit besser beschreiben zu können, um auf Basis einer fundierten wissenschaftlichen Auseinandersetzung die Ziele der vorliegenden Arbeit erreichen zu können.
5. Um auf Basis des aktuellen Standes der Risikobewertung in der Softwareentwicklung ein Instrument zur Messung des nachhaltigen Erfolgs empirisch entwickeln zu können, welches praktische Relevanz bezüglich der Risikobewertung in der Softwareentwicklung hat, sollen die theoretischen Voraussetzungen zur Risikobewertung in der Softwareentwicklung beachtet und ihre praktischen Regeln eingehalten werden. Dadurch ergeben sich folgende Forschungsimplicationen:
- Das Messinstrument leitet die Anforderungen an die Messung aus der Risikomanagementstrategie des Unternehmens ab.
 - Die Ergebnisse der Messung sollen im Risikomanagementplan und im Entwicklungsplan dokumentiert werden.
 - Aus den Messergebnissen soll in jeder Risikodimension eine Aussage hinsichtlich des nachhaltigen Erfolgs gemacht werden können.

1.8. Methodisches Vorgehen

Um die Anforderungen an die Entwicklung und die Praxistauglichkeit an das Messinstrument zur Prognose des nachhaltigen Erfolges einer Softwareapplikation bzw. Produktes zu erfüllen, die Forschungsimplicationen ausreichend zu berücksichtigen sowie die Ergebnisse wissenschaftlich zu untermauern, geht diese Arbeit hinsichtlich der Fragestellungen einerseits theoriebasiert in Form einer systematischen Analyse aktueller Literatur sowie andererseits auch empirisch vor. Die empirische Vorgehensweise der Arbeit stützt sich auf den Leitfaden von Homburg und Giering (vgl. Homburg und Giering, 1996). Dabei wird qualitativ und quantitativ vorgegangen. Abbildung 5 zeigt die grobe Struktur der Forschungsmethodik.

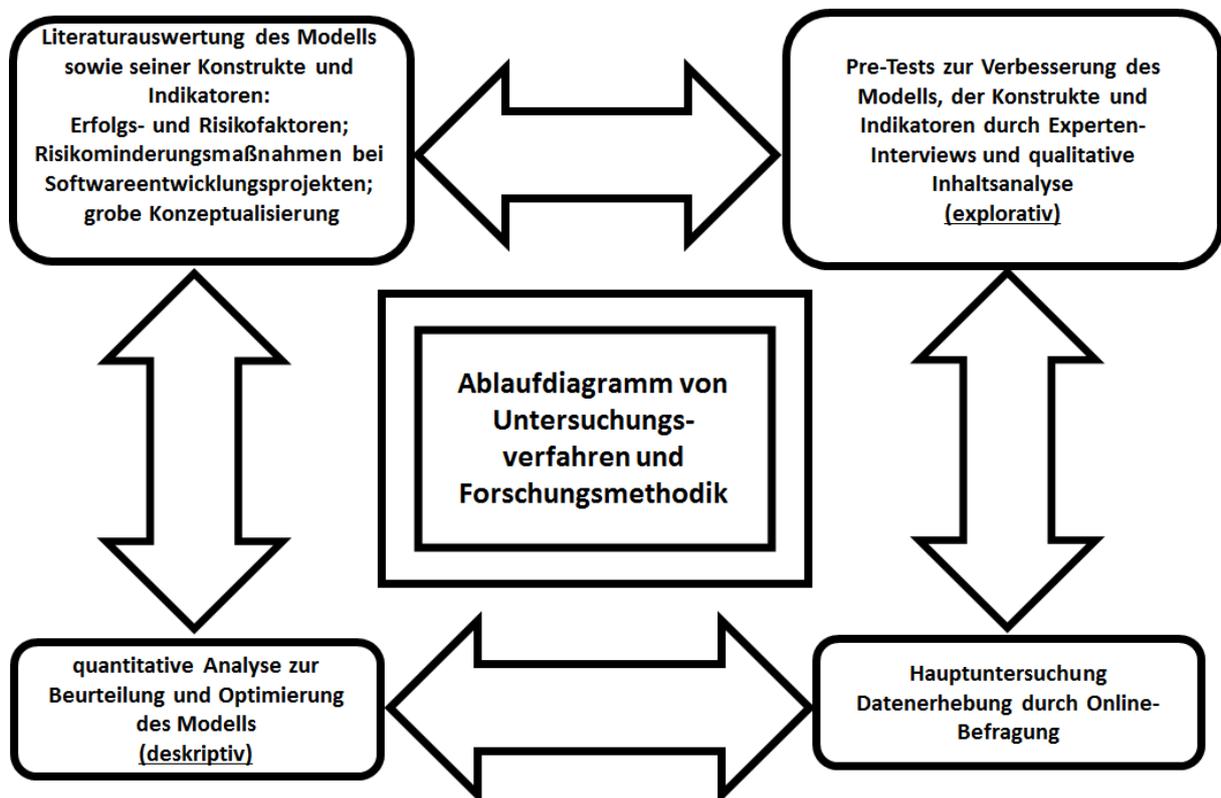


Abbildung 5: Methodik der Arbeit. Quelle: eigene Darstellung

Die Forschungsmethode der Arbeit umfasst eine qualitative Untersuchung als Vorläufer einer quantitativen Untersuchung, um den Untersuchungsgegenstand zunächst zu konkretisieren, da die Zielstellung und die Forschungsfragen der vorliegenden Arbeit neu sind und Wissensgenerierung bedürfen. Neben der Wissensgenerierung stellt die Forschungslücke ein praktisches Problem dar, wobei ihre Abarbeitung erst durch die

ausgewählte Forschungsmethode ermöglicht werden kann, um die Ziele der vorliegenden Arbeit erreichen zu können. Diesbezüglich spricht man von einer Kombination der qualitativen und quantitativen Forschungsmethoden. Hierbei handelt es sich nicht um Mischformen oder Mixed Methods, die im angloamerikanischen Raum mittlerweile als drittes Forschungsparadigma neben dem quantitativen und dem qualitativen Vorgehen diskutiert werden (vgl. Foscht et al., 2007). Das Untersuchungsverfahren der Arbeit zielt darauf ab, eine empirische Vorgehensweise auszuwählen, nachdem eine systematische Literaturlauswertung durchgeführt wird. Bei der Ausarbeitung der Erfolgsfaktoren wird versucht, vorhandene Erfolgskriterien zu ermitteln und zu beschreiben. Zur Erhebung der Erfolgsfaktoren werden wissenschaftliche Literaturquellen herangezogen, die sich mit Erfolgsfaktoren, Risikofaktoren und grünen Softwareindikatoren in Softwareentwicklungsprojekten auseinandersetzen. Im Rahmen der empirischen Erhebung werden Experteninterviews sowie deren Auswertung in Form einer Inhaltsanalyse im Sinne der qualitativen Forschungsmethoden (vgl. Gläser, Laudel, 2010, S. 111) und der explorativen Studienart (vgl. Strauss, Corbin, 2010, S. 3) vorgenommen, was eine empirische Voruntersuchung darstellt, um die Basis für eine empirische Hauptuntersuchung zu legen. Dadurch wird sowohl Wissen generiert als auch ein Pretest durchgeführt, um die Erfolgs- und Risikofaktoren zu prüfen und die dazugehörigen Risikominderungsmaßnahmen auszuarbeiten. Dadurch werden eine Untermauerung des Stands der Technik sowie weitere wesentliche zielführende Eingrenzungen erreicht. Das generierte Wissen bildet die Basis für weitere methodische empirische Schritte, welche die empirische Hauptuntersuchung darstellen. Hinsichtlich der Entwicklung eines vorläufigen Instruments wird auf Basis der Ergebnisse der Literaturlauswertung und der Experteninterviews und Modelle der Softwareentwicklung (Goal Question Methode und Risikobewertungsmodell) ein Hypothesenmodell entworfen und mithilfe einer Online-Befragung validiert, wobei zur Auswertung der Online-Befragung die deskriptive Studienart (vgl. Kuckartz et al., 2012) angewendet wird. Die Qualität der empirischen Vorgehensweise wird durch Beachtung der Gütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität gewährleistet (vgl. Döring, Bortz, 2015, S. 326). Durch das Untersuchungsverfahren unter Beachtung dieser Gütekriterien werden die Ziele der Arbeit erreicht, indem ein theoriegeleitetes empirisches Modell zur Prognose des nachhaltigen Erfolgs von Softwareentwicklungsprojekten erarbeitet werden kann. Dadurch wird mit dem vorliegenden methodischen Vorgehen zum einen ein Fortschritt in der

Wissenschaft und der Praxis der Softwareentwicklung erreicht und zum anderen einem praktischen Problem entgegengewirkt.

1.9. Aufbau der Arbeit

Die Arbeit teilt sich in zwei Kategorien auf: die Diskussion der relevanten Literatur und des aktuellen Stands der Technik sowie ein empirischer Teil. Zum einen stellen die Literaturrecherche und der Stand der Technik ein vorläufiges Modell zur Prognose des nachhaltigen Erfolges in der Softwareentwicklung dar. Um ein empirisches, validiertes Hypothesenmodell aufzustellen bzw. präzise Prognosen abgeben zu können, auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse, die über den Status quo der Literaturrecherche hinausgehen, bedarf es empirischer Forschung, welche in der Untersuchungsmethodik der vorliegenden Arbeit beschrieben worden ist, um die Forschungsfragen beantworten zu können sowie die Thesen zu bestätigen. Der empirische Teil besteht aus einer Voruntersuchung und einer Hauptuntersuchung. Die empirische Voruntersuchung soll den Stand der Technik sowie die Auswertung der Literaturrecherche bestätigen und die Arbeit auf das Wesentliche und zielführend eingrenzen. Weiterhin stellt die empirische Voruntersuchung ein Hypothesenmodell auf, um eine Grundlage für eine Hauptuntersuchung zu schaffen. Die Aufgabe der empirischen Hauptuntersuchung ist, das Hypothesenmodell zu validieren, um die gewünschten Ziele zu erreichen sowie zu bestätigen. Abbildung 6 zeigt den Aufbau der vorliegenden Arbeit.



Abbildung 6: Aufbau der vorliegenden Arbeit. Quelle: eigene Darstellung

2. Theoretische und praktische Grundlagen

2.1.1. Nachhaltige Entwicklung und nachhaltige Softwareentwicklung

Beim Thema nachhaltige Entwicklung geht es in erster Linie um die Ressourcen der Erde. Dabei besteht der Anspruch, dass Menschen nicht auf Kosten anderer Menschen oder zukünftiger Generationen leben sollen. Die nachhaltige Entwicklung als Prinzip ist durch den Brundtland-Bericht international bekannt geworden. Der Bericht mit dem Titel „Our Common Future“ („Unsere gemeinsame Zukunft“), der 1987 durch die Weltkommission für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen („Brundtland-Kommission“) veröffentlicht wurde, gibt die Ziele der nachhaltigen Entwicklung sowohl national als auch international vor. Das darin enthaltene Leitbild verlangt eine gesellschaftliche Entwicklung, die sowohl ökologisch verträglich und sozial gerecht als auch wirtschaftlich leistungsfähig ist (vgl. Hauff, 1999) Kathy, 2015, S. 1).

Im Jahr 2012 fand die Rio-plus-20-Konferenz statt, die die Post-2015-Agenda für alle Länder verabschiedete. Die Post-2015-Agenda verlangt ein anwendbares Zielsystem, das die Entwicklungs- und Nachhaltigkeitsaspekte für alle Länder zusammenfasst. Die politische internationale Zusammenarbeit setzt den Maßstab für die nationalen Nachhaltigkeitsstrategien und Ziele wie die Nachhaltigkeitsstrategie in Deutschland, welche quantifizierte Ziele in 21 Themenfeldern nachhaltiger Entwicklung festlegte (vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), 2016). Der Trend der nachhaltigen Entwicklung mit nationalen Nachhaltigkeitsstrategien und -zielen setzt sich als gesellschaftliche Verantwortung von Unternehmen bis in das betriebliche Umfeld fort. Dabei spielen Normen, Standards, Nachhaltigkeitsstrategien und Managementsysteme wie Nachhaltigkeitsmanagementsysteme bzw. Corporate Social Responsibility (CSR), Umweltmanagementsysteme und Best Practices eine entscheidende Rolle (vgl. Loew, Rohde, 2013, S. 5; (vgl. Mildenerger et al., 2008, S. 107–110), Ahn et al., 2016: S. 35–38). CSR wird in Europa, Großbritannien und den USA als Begriff unterschiedlich interpretiert. In Europa versteht man CSR gemäß der Definition der europäischen Kommission, nach welcher CSR in Form von ökologischen und sozialen Maßnahmen den Geschäftsprozessen und Produkten bzw. Dienstleistungen von Unternehmen subsumiert wird (vgl. Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS), S. 1). Im angloamerikanischen

Raum wird CSR durch die vier Ebenen der unternehmerischen Verantwortung definiert, nämlich die ökonomische, legale, ethische und philanthropische Verantwortung. Die angloamerikanischen CSR-Ansätze hingegen legen den Fokus darauf, was Unternehmen mit dem erwirtschafteten Gewinn machen und nicht darauf, wie sie den Gewinn erwirtschaften (vgl. Carroll, 1991, S. 39–40).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden die drei Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung (ökonomisch, sozial und ökologisch; vgl. Hasenmüller, 2013, S. 11) berücksichtigt. Der Bezug auf das Themenfeld Softwareentwicklung wird näher herausgearbeitet. Abbildung 7 veranschaulicht das Leitbild der Nachhaltigkeit und die Beziehungen zwischen den einzelnen Dimensionen, die im Rahmen dieser Arbeit Berücksichtigung finden werden.

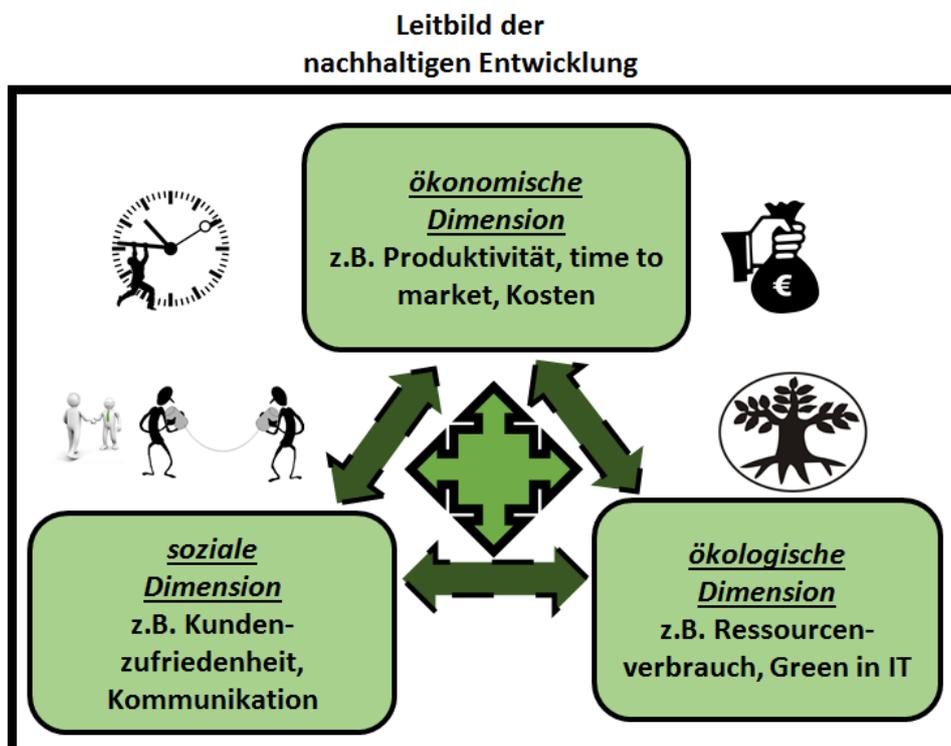


Abbildung 7: Leitbild der nachhaltigen Entwicklung. Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an Hasenmüller, 2013, S. 11

Eine weitere Betrachtung der nachhaltigen Entwicklung in Bezug auf die Klimarisiken und Rohstoffe fließt in das Thema Kreislaufwirtschaft und Öko-Bilanzierung. Beide Themen dienen als Grundlagen für die vorliegende Arbeit, um zum einen die semantische Lücke zwischen den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit und dem Stand der Technik zu schließen, und zum anderen, um eine bessere Sachbilanz sowie Ontologie- basierte Auswertung der Ergebnisse dieser Arbeit in Anlehnung an die Öko-Bilanzierung zu ermöglichen (vgl. Gómez et al., 2010, S. 65–67). Die Kreislaufwirtschaft und die seit einiger Zeit eingerückte Kaskadennutzung (vgl. Gómez et al., 2010, S. 47–49) der Rohstoffe werden herangezogen, um den Lebenszyklus eines Produktes und dessen Recycling besser untersuchen zu können. Öko-Bilanz und die Kaskadennutzung der Rohstoffe sowie Recycling zielen auf eine Verbesserung des Produktes oder Dienstleistung, um daraus eine Entscheidungsgrundlage abbilden zu können. Das Vorgehen einer Öko-Bilanzierung ist in Abbildung 8 zu sehen.

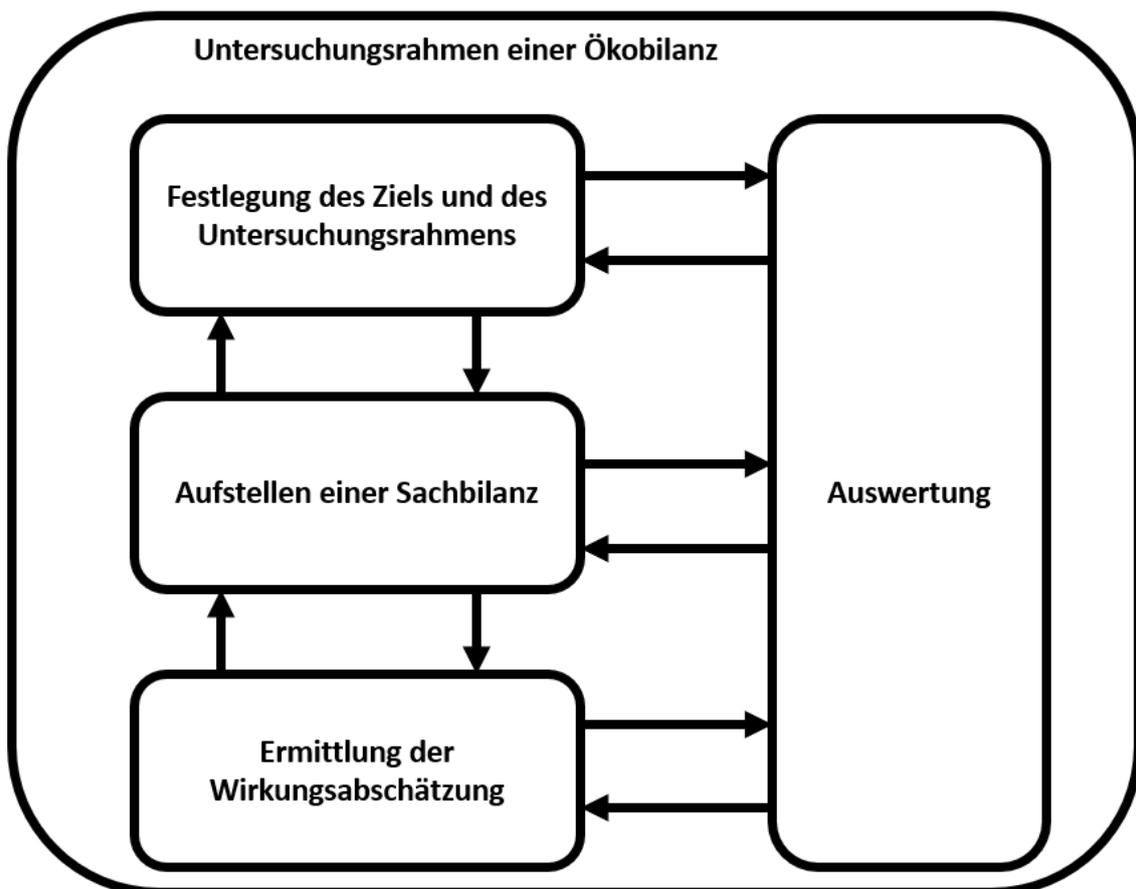


Abbildung 8: Vorgehen der Ökobilanzierung. Quelle: (Gómez et al., 2010, S. 67)

Eine gezielte Betrachtung der nachhaltigen Entwicklung in Bezug auf die Softwareentwicklung fließt in das Thema Green IT mit ein, speziell unter dem Begriff der nachhaltigen Softwareentwicklung. Für das Thema nachhaltige Software gibt es mehrere Definitionen und Anwendungsbereiche, wobei das Thema nachhaltige Software dem Stichwort Green IT unterzuordnen ist. Die Kategorisierung der **Green IT** in **Green in IT** und **Green durch IT** spielt ebenfalls eine Rolle, wenn es darum geht, nachhaltige Software einordnen zu können (vgl. Calero, Piattini, 2015, S. 17). Aus Abbildung 9 lässt sich ableiten, dass bei der nachhaltigen Entwicklung von Software mehrere Aspekte zusammenfließen. **Green IT** ist der Sammelbegriff für den Versuch, die Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) über deren gesamten Lebenszyklus umweltfreundlich und ressourcenschonend zu gestalten.

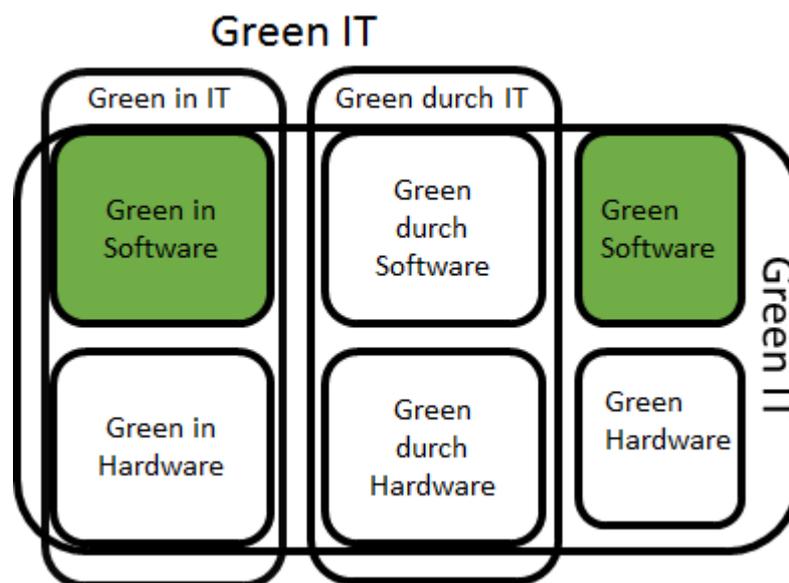


Abbildung 9: Green Software, Green Hardware und Green IT. Quelle: Calero, Piattini, 2015, S. 17

Dabei geht es zum einen um die Optimierung des Ressourcenverbrauchs während der Herstellung, des Betriebs und der Entsorgung der Geräte (**Green in IT**) und zum anderen um Energieeinsparungen durch deren Einsatz, wie z. B. bei der Nutzung des Internets für Videokonferenzen anstelle von Dienstreisen (**Green durch IT**). Diese Unterscheidung der Green IT lässt sich auf die beiden Kategorien **Green Software** und **Green Hardware** übertragen und ergibt im Ganzen dann die vier Kategorien **Green in Hardware**, **Green in Software**, **Green durch Hardware** und **Green durch Software** (vgl. Calero, Piattini, 2015, S. 14–17). Die Verwendung der Software oder Hardware, um die Ziele der nachhaltigen Entwicklung zu erreichen, wird als **Green durch Software/Hardware** bezeichnet. Beispiele hierfür sind z. B. Dematerialisierung, die dazu führt, dass lediglich die Software aktualisiert

wird, so dass keine neue Hardware benötigt wird. Dadurch spart man Ressourcen für die Entwicklung neuer Hardware und minimiert Umweltschäden durch Abfall, Rohstoffabbau und Herstellung, die entstehen würden, wenn die alte Hardware nicht mehr genutzt werden könnte. **Green in Software/Hardware** behandelt u. a. den Ressourcenverbrauch der Software/Hardware während der Entwicklung. Das Thema **Green in Software Engineering** als Teilgebiet des Themas **Green in Software** beschreibt u. a. den Lebenszyklus der Softwareentwicklung (vgl. Manteuffel, Loakeimidis, 2012, S. 1–3; Zarnekow et al., 2013, S. 9–11; Johann et al., 2012, S. 51–54; Penzenstadler, 2013: S. 1183–1185). In einigen internationalen Veröffentlichungen und Beiträgen (vgl. Dick et al., 2013; Dustdar et al., 2013; Lago et al., 2013; Shenoy und Eeratta, 2011; Sierszecki et al., 2014) wird das Thema Green Software/grüne Software aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet. Es wird dabei zugrunde gelegt, dass eine Reduzierung von CO₂-Produktion erfolgen muss. Die Messung von 9,1 Billion Tonnen Kohlendioxid ist 49 % höher im Vergleich zu 1990. Der Energieverbrauch von IT-Systemen verursacht direkt (Hardware) oder indirekt (Software) 2 % des weltweiten Ausstoßes von Kohlendioxid. Dabei liegt der Fokus nicht auf Hardware, die direkt mit der Umwelt interagiert, sondern auf Software, die auf Hardware läuft und indirekt mit der Umwelt durch ihren Einfluss auf den Energieverbrauch eines Systems in Berührung kommt. Eine Unterscheidung in „Green in und durch Software“ ist deutlich erkennbar, so dass ein Kompromiss zwischen Kundenwünschen und unternehmerischen Zielen gemacht werden sollte, was wiederum Kundenverhalten beeinflussen sollte. Die Green Software-Debatte versucht, die Themen Safety, Security und jetzt Sustainability gleich zu behandeln, da sie als nicht-funktionale Anforderung im gleichen Maße berücksichtigt werden sollte. Bei der Betrachtung Safety, Security und Sustainability liegt ein Systemverständnis zugrunde, bei dem sowohl regulatorische Anforderungen als auch deren Prüfung anhand von Metriken sowie Messungen notwendig sind. Laut Penzenstadler ist eindeutig erkennbar, dass Sustainability zum einen den Wartungsaufwand reduziert als auch als eine dritte Säule neben Safety und Security beachtliche Berücksichtigung verdient, um ressourcenschonend, umweltfreundlich und langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben. Um die angestrebten nachhaltigen Ziele erreichen zu können, sollten die Messung und Prüfung des Softwarelebenszyklus mit einem schlanken, prozessorientierten, moderierten Ansatz erfolgen. Metriken und deren Messung und Prüfung sollten domänenspezifisch, praxisorientiert standardisiert werden.

Aktuelle Auseinandersetzungen im deutschsprachigen Raum mit dem Thema grüne Software deuten an, dass das Thema immer mehr an Bedeutung gewinnt. Workshops, Konferenzen sowie Zeitungsartikeln zielen auf die Notwendigkeit eines standardisierten Zertifikates ab. Dieses Zertifikat sollte (vergleichbar wie Gerätesicherheit) messbare sowie prüfbare Metriken nutzen, die auf Benchmarking basieren. Dadurch können sowohl die Entwickler von Software als auch die Gesellschaft Unternehmen unter Druck setzen, Software umweltschonend und verantwortungsvoll zu entwickeln (Böhm, 2020; Stefan, 2020a, 2020b). Abbildung 10 zeigt Benchmark-Ergebnisse zwischen zwei Softwareapplikationen.

Einflussfaktoren: Auswahl der Software



Abbildung 10: Vergleich zwischen zwei Softwareapplikationen. Quelle: (Stefan, 2020a)

Das Fraunhofer Institut (vgl. Kompetenzzentrum Öffentliche Arbeit bei Fraunhofer Fokus, 2020) hat das Thema grüne Software in Deutschland als Trend längst erkannt. Das zeigt sich sowohl in den Suchanfragen als auch in der Anzahl der Publikationen über das Thema. Abbildung 11 und Abbildung 12 zeigen den deutlichen Anstieg von Suchanfragen sowie die Anzahl der Veröffentlichungen weltweit. Seit dem Jahr 2015 war die Tendenz steigend, da das Thema an Bedeutung verloren hat. Einer der Gründe für die absteigende Tendenz des Themas ist die Forschungslücke der vorliegenden Arbeit, was zeigt, dass Werkzeuge in der Praxis fehlen. Dazu kommt die Tatsache, dass empirisch validierte direkte oder indirekte Zusammenhänge zwischen Ökonomie als Säule und der klassischen Säulen in der Betriebswirtschaft in Bezug auf die Säulen der nachhaltigen Entwicklung kaum erforscht worden sind.

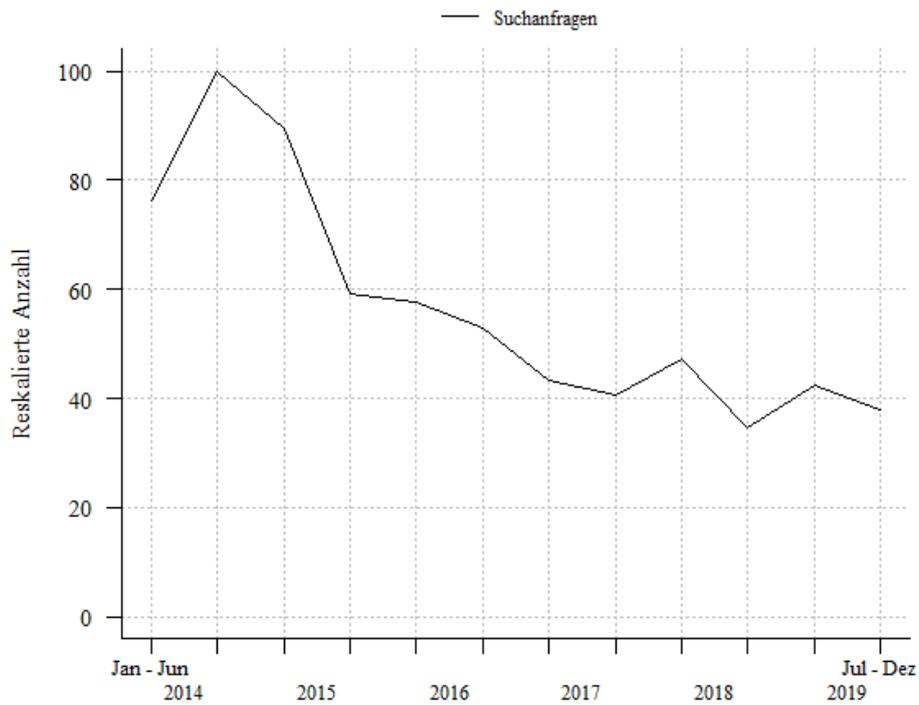


Abbildung 11: Suchanfragen von Green Software in den Jahren zwischen 2014 und 2019. Quelle: (Kompetenzzentrum Öffentliche Arbeit bei Fraunhofer Fokus, 2020)

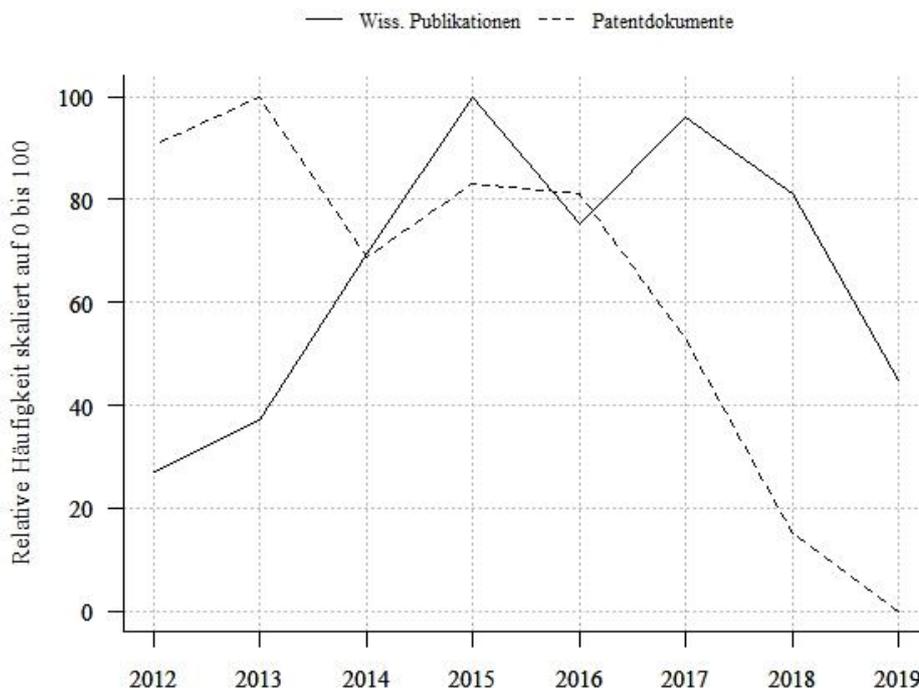


Abbildung 12: Veranschaulichung der Originalität sowie Bedeutung des Themas „Green Software“ anhand der Patentanmeldungen und wiss. Publikationen: Quelle: (Kompetenzzentrum Öffentliche Arbeit bei Fraunhofer Fokus, 2020)

Die Klassifizierung der grünen Software wird vom Fraunhofer Institut in Abbildung 13 veranschaulicht. Dabei geht das Institut ähnlich den internationalen Diskussionen davon aus, dass drei Kategorien in Betracht gezogen werden, wenn grüne Software näher betrachtet wird. Dabei geht es zum einen um die direkte und indirekte Einflussnahme der Software. Die direkte Kategorie bezieht sich auf Energie und Umweltkosten durch die Hardware, auf welcher die Software ausgeführt wird. Die indirekte Kategorie bezieht sich auf die Einflussnahme der Software auf den Verbraucher bzw. Nutzer. Die dritte und nicht zu vernachlässigende Kategorie stellen Rebound-Effekte dar, was nichts anderes bedeutet, als dass der Nutzer die Software bzw. Systeme durch grüne Software rücksichtslos und vermehrt einsetzt.

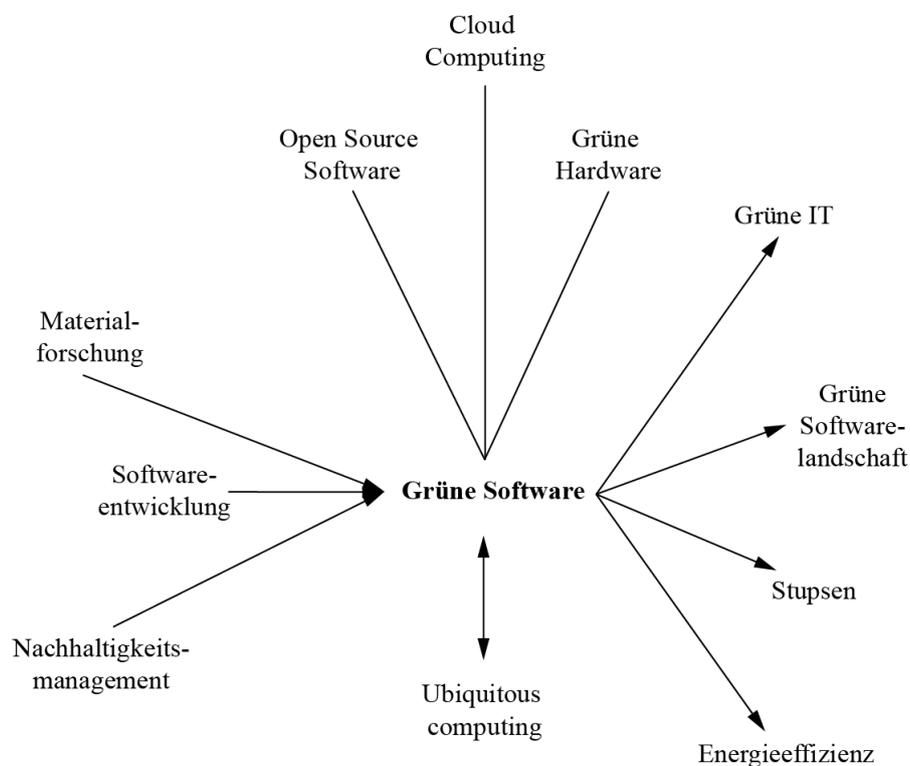


Abbildung 13: Eingrenzung und Mehrdeutigkeiten des Begriffes Green Software. Quelle: (Kompetenzzentrum Öffentliche Arbeit bei Fraunhofer Fokus, 2020)

Einige für die vorliegende Arbeit relevante Untersuchungsinhalte, Aussagen und Ergebnisse auf dem Gebiet der nachhaltigen Softwareentwicklung sind in Tabelle 5 zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 5: Ausgewählte relevante Literatur zu nachhaltiger Softwareentwicklung

Autor (Jahr)	Relevanter Untersuchungsinhalt	Forschungsmethoden/ empirische Basis	Relevante Aussagen/Ergebnisse
Calero, Piattini (2015)	Integration der Nachhaltigkeit in der praktischen Softwareentwicklung und -nutzung	primäre Forschung, systematische Beobachtung, Literaturlauswertung, Umfragen und Experimente	Stand der Forschung mit konkreten Maßnahmen über den gesamten Entwicklungsprozess, z. B. nachhaltiges Anforderungsmanagement
Zarnekow et al. (2013)	Integration von Green-IT-Aspekten in der Unternehmensstruktur	Experteninterviews und Umfragen	praktische Umsetzung der Green-IT-Maßnahmen im Unternehmen, z. B. Administration von Software-Artefakten
Murugesan, Gangadharan (2012)	Integration der Nachhaltigkeit in den Grundlagen der Softwareentwicklungsprozesse, -nutzung und -wartung	primäre Forschung, systematische Beobachtung, Literaturlauswertung, Umfragen und Experimente	Stand der Forschung mit konkreten Maßnahmen für die nachhaltige Softwareentwicklung, z. B. nachhaltige Qualitätssicherung

Die gezielte Betrachtung der nachhaltigen Entwicklung und nachhaltigen Software dient dazu, die folgenden relevanten Punkte auf Basis der Literatursichtung und Auswertung zusammenfassend im Fokus der Arbeit heranzuziehen:

- Green Software nur für das Softwareprodukt heranziehen. Projekte stellen nur den Rahmen dar. Die Messung des direkten und indirekten Zusammenhangs zwischen nachhaltigen Softwareindikatoren und den Säulen der Betriebswirtschaft sowie nachhaltigen Entwicklung.
- Green Software als implizite Kundenwünsche kommunizieren, da sie nicht eindeutig zu erkennen sind.
- Betrachtung des Stromverbrauches sowie effiziente Entwicklung von Software, die auf Hardware läuft.
- Es fehlen praktische Werkzeuge zur Messung von Green Software.
- Green durch IT kann dazu beitragen, die Umwelt zu schonen, was Gewinn verspricht.
- Für die Gesellschaft und Kunden einen Beitrag leisten, der sozial fördernd sein kann.

2.1.2. Softwareentwicklung und Risikomanagement

Softwareentwicklung und Risikomanagement haben sich seit Jahren als eigenständige Disziplinen durchgesetzt (vgl. Balzert und Ebert, 2008). Die theoretische Untersuchung der Softwareentwicklung hat dazu geführt, dass Praxis-Standards und harmonisierte Normen herangezogen werden, um Softwareprojekte erfolgreich abzuschließen (vgl. Sommerville, 2012). Bei der Softwareentwicklung in einem Unternehmen lassen sich fast immer zwei Formen der praktischen Auftragsausführung unterscheiden (vgl. Brooks, 1995): Entweder wird die Software von einer Entwicklungseinheit im Unternehmen entwickelt und getestet (interner Kunde) (vgl. Broy, 2006) oder die Software wird von einem externen Auftragnehmer für den Kunden entwickelt (externer Kunde) (vgl. W.Boehm und Selby, 2007). Die Rede ist hierbei immer von einem Projekt, das von der Idee bis zur Auslieferung und Wartung innerhalb des Unternehmens angesiedelt ist und bestimmten Regeln folgt, um bestimmte Ergebnisse zu liefern (vgl. Davis, 1995). Abbildung 14 veranschaulicht die Softwareentwicklung als Wertschöpfungskette innerhalb eines Unternehmens (vgl. Plewan und Poensgen, 2011):

- grobe Struktur des Ablaufs eines Softwareprojektes
- Aufspaltung des Softwareprojektes in einzelne Aktivitäten und Einordnung im Unternehmen.

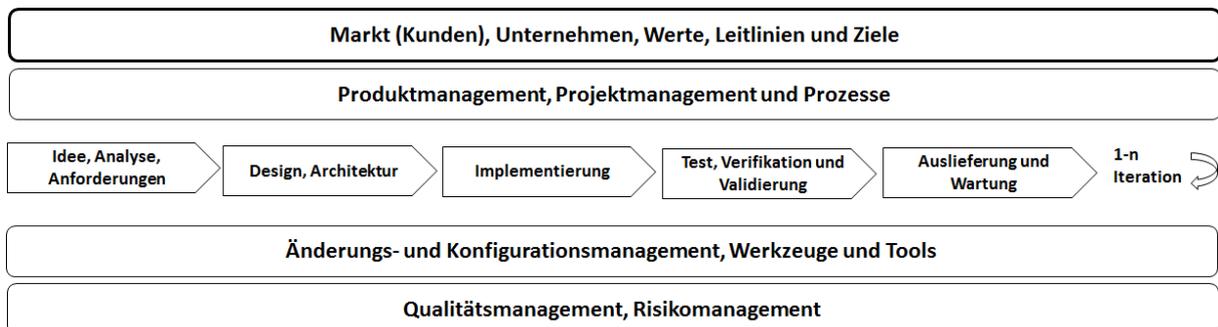


Abbildung 14: Softwareentwicklung. Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an Plewan, Poensgen, 2011, S. 12

Ein Softwareprojekt muss vernünftig geplant werden (vgl. Ludewig und Lichter, 2010), um die gewünschten Ergebnisse zu erreichen (vgl. Thaller, 2002). Um die Planung umzusetzen, spielen einzelne Aktivitäten bzw. Maßnahmen beim Softwareentwicklungsvorhaben wichtige Rollen (siehe Tabelle 6 (vgl. Ludewig und Lichter, 2010, S. 92)).

Tabelle 6: Typische Ergebnisse der Aktivitäten bei Softwarevorhaben. Quelle: angelehnt an Ludewig, Lichter, 2010, S. 92

Maßnahme/Aktivität	Ergebnis
Qualitätsmanagement, Risikomanagement, Konfigurationsmanagement und Produktmanagement	Risikomanagementplan, Konfigurationsmanagementplan, Entwicklungsplan und fortlaufende Dokumentation
Anforderungsanalyse (Lastenheft/Pflichtenheft)	Liste von Anforderungen und Anforderungsspezifikationen (z. B. Lastenheft/Pflichtenheft)
Design (Architektur auf System- und Modulebene)	Designplanungsdokument, Architekturdokument (z. B. Designkonzept der Software oder Prototyp)
Implementierung (Programmierung, Unit-Test)	Software-Implementierungsplan, Software-Code, Systemdokumentation oder Benutzerhandbuch
Test (Verifikation/Validierung)	Testplan, Testkonzept und Testbericht
Auslieferung und Transport	Rollout-Konzept und Installation der Anwendung

Auf diese Weise können Risiken der Softwareentwicklung abgeschätzt und reduziert bzw. minimiert werden. Eine Studie des Beratungsunternehmens Accenture, die im Jahr 2015 veröffentlicht wurde, zeigt, dass das Risikomanagement in Unternehmen immer mehr an Bedeutung gewinnt. Unternehmen setzen strategische sowie operative Werkzeuge und Prozesse ein, die darauf abzielen, dass Risiken frühzeitig erkannt und beseitigt werden, so dass Unternehmen Minderungsmaßnahmen und Handlungsmaßnahmen planen, umsetzen, kontrollieren, dokumentieren und steuern können (vgl. Accenture, 2015)(vgl. Accenture, 2015 abgerufen am 20.08.2016).

Der Risikomanagementprozess geht von folgenden Schritten aus, die nacheinander ablaufen (vgl. Wallmüller, 2014)

- Risiken erkennen
- Risiken bewerten
- Risiken abschwächen
- Risiken kontrollieren.

Wenn Risiken bewertet werden, fallen dabei Entscheidungen über Eintrittswahrscheinlichkeit und Schweregrad (vgl. Foo und Muruganantham, 2000). Häufig wird die Risikobewertung im Rahmen von Workshops durchgeführt, an denen Mitarbeiter aus verschiedenen Unternehmensabteilungen beteiligt sind. Hierbei werden z. B. Anforderungen, Ziele, Planungen, Prozesse, Werkzeuge und Kompetenzen des Unternehmens herangezogen, um Risiken zu erkennen und zu bewerten. Sodann werden Maßnahmen ausgearbeitet, die dazu führen, dass die Risiken im akzeptablen Bereich liegen (vgl. Wallace et al., 2004). Dieser Bereich wird im Rahmen der Strategie des Risikomanagements festgelegt (vgl. Boehm, 1991). Das Ergebnis des Schrittes „Risiken abschwächen“ ist eine priorisierte Aktionsliste mit Risiko-Kennzahlen, die im Projektreview herangezogen werden, um die Risiken zu kontrollieren (vgl. Ebert, 2013). Einige für die Dissertation relevante Untersuchungsinhalte, Aussagen und Ergebnisse auf dem Gebiet der Softwareentwicklung und des Risikomanagements sind in Tabelle 7 zusammengefasst dargestellt (vgl. Fairley, 1994). Die gezielte Betrachtung des Riskmanagements in der Softwareentwicklung dient dazu, die folgenden relevanten Punkte auf Basis der Literatursichtung und Auswertung zusammenfassend im Rahmen der Arbeit heranzuziehen (vgl. Kwak und Stoddard, 2004):

- Notwendigkeit für Risikomanagement sowie Integration der nachhaltigen Softwareindikatoren im Risikomanagement
- Risikodefinition und -auswertung
- Risikovermeidung und -eliminierung
- Risiko als Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schweregrad
- Risiko und Chance als Verhältnis ansehen, sowohl bezüglich Erfolg und Scheitern als auch bezüglich Gewinn und Verlust.

Tabelle 7: Ausgewählte relevante Literatur zu Softwareentwicklung und Risikomanagement

Autor (Jahr)	Relevanter Untersuchungsinhalt	Forschungsmethoden/ empirische Basis	Relevante Aussagen/Ergebnisse
Wallmüller (2014)	Best-Practice-Modelle, Verbindung zwischen Anforderungen und Risiken, Risikoprozesse, Techniken und Hilfsmittel, Fallstudie mit Lösung	systematische Beobachtung, Literaturlauswertung, Umfragen und Fallstudien	Stand der Forschung und Praxis des Risikomanagements mit konkreten Maßnahmen für die Umsetzung in der Softwareentwicklung, z. B. Checklisten zu Entwicklungsrisiken
Sommerville (2012)	Theorie und Praxis der Softwareentwicklung, Softwareentwicklungsprozesse sowie einzelne Aktivitäten und Maßnahmen	primäre Forschung, systematische Beobachtung, Literaturlauswertung, Umfragen	Stand der Forschung und Praxis bei der Softwareentwicklung, z. B. Artefakte des Prozesses
Ludewig, Lichter (2010)	Theorie und Praxis der Softwareentwicklung, Softwareentwicklungsprozesse sowie einzelne Aktivitäten und Maßnahmen	primäre Forschung, systematische Beobachtung, Literaturlauswertung, Umfragen	Stand der Forschung und Praxis bei der Softwareentwicklung, z. B. Faktor Mensch in der Entwicklung
Kwak, Stoddard (2004)	Softwareprojektrisiken und Retroperspektive der Risiken in der Softwareentwicklung	primäre Forschung, systematische Beobachtung	praktische Umsetzung des Risikomanagements und Aufstellung der möglichen Risiken im Projekt, z. B. Checkliste
DeMarco, Lister (2003)	Beraterwissen und ökonomische Betrachtung des Risikomanagements	systematische Beobachtung, Umfrage und Fallstudie	ökonomische Grundlagen von Risikomessung, z.B. Nutzen-Gewinn-Messmodell
Foo, Muruganantham (2000)	Analyse, Bewertung, Dokumentation und Steuerung der Softwareprojektrisiken	systematische Literaturrecherche, Befragung und Umfrage	Modell zur Umsetzung des Risikomanagements anhand einer Fallstudie, z. B. Risikominderung
Boehm (1991)	Leitfaden, Planung und Umsetzung des Risikomanagements im Unternehmen	primäre Forschung, systematische Beobachtung	Aufstellen von Handlungsmaßnahmen und den dahinterstehenden theoretischen Grundlagen, z. B. Risikoprozess

2.1.3. Instrumente zur industriellen Softwareentwicklung

Die theoretischen Grundlagen der Softwareentwicklung basieren auf industriellen und universitären Forschungsergebnissen sowie empirischen Untersuchungen von realen Softwareentwicklungsprojekten. Der Stand der Technik in der Industrie der Softwareentwicklung kann am besten wiedergegeben werden, indem die Entwicklungsprozesse analog zu denen der Herstellung eines Produktes aufgefasst werden. Dabei unterscheidet man zwischen folgenden zwei Zugängen, die in langfristigen großen, mittelfristigen mittleren und kurzfristigen kleinen Projekten ihren Einsatz finden (vgl. Cristal et al., 2008):

- klassische Softwareprozesse, wie in Deutschland das bekannte V-Modell des Bundes; diese eignen sich für große langfristige Projekte
- agile Softwareprozesse, wie z. B. Scrum; diese eignen sich für mittlere und kleine Projekte.

Die industrielle Softwareentwicklung folgt einem prozessorientierten Ansatz, der von der Idee bis zur Realisierung und Wartung einige inkrementelle und iterative Prozessschritte durchläuft. Abbildung 15 zeigt exemplarisch die Entwicklungsschritte im V-Modell (vgl. Spillner und Linz, 2012).

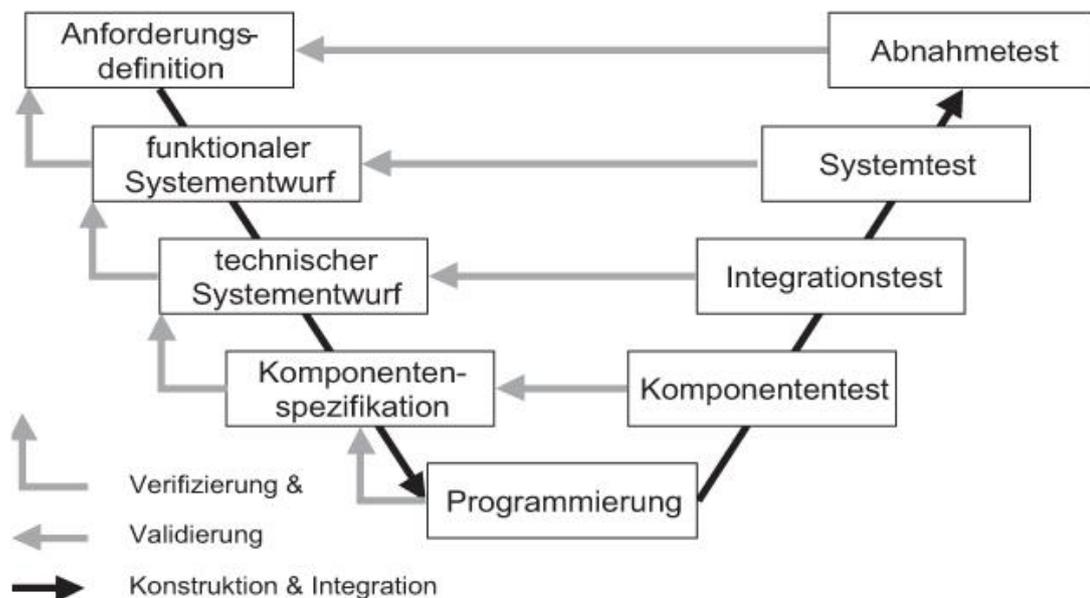


Abbildung 15: Entwicklungsschritte im V-Modell. Quelle: Spillner, Linz, 2012, S. 41

Für die Betrachtung der agilen Softwareentwicklung wird häufig Scrum herangezogen, da es in der Unternehmenspraxis am bewährtesten ist (vgl. Matharu et al., 2015). Dabei handelt es sich um ein agiles Projektmanagement-Framework. Die Arbeitsschritte in Scrum sind empirisch, inkrementell und iterativ. Das Vorgehen findet schrittweise in sich wiederholenden Etappen (Sprints) statt (vgl. Alby et al., 2016). Abbildung 16 zeigt exemplarisch das Vorgehen bei Scrum.

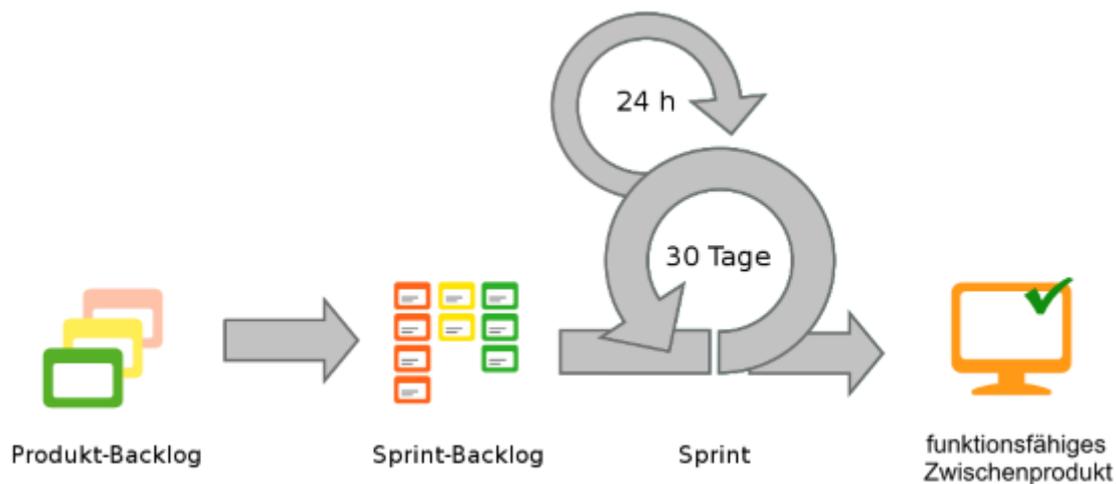


Abbildung 16: Die Arbeitsschritte in Scrum. Quelle: Alby et. al., 2016

Die agile Entwicklung gilt in der Industrie nach der Forrester Research Studie mittlerweile als De-facto-Standard (vgl. Neumann, 2010). In der Realität, so die Befragten der Studie (1300 IT-Fachkräfte), findet eine Kombination aus agilen (meistens Scrum-Praktiken) und nicht agilen Methoden (V-Modell) statt, die so abgestimmt werden, dass die organisatorischen Voraussetzungen der Unternehmen berücksichtigt werden. Die gezielte Betrachtung von Softwareentwicklungsprozessen dient dazu, die folgenden relevanten Punkte auf Basis der Literatursichtung und Auswertung zusammenfassend in den Fokus der Arbeit zu rücken:

- Prozessorientierter Ansatz bei der Entwicklung
- Werte und Prinzipien stellen die Basis für Werkzeuge und Handlungen dar
- Risikominimierung als Beitrag zum Erfolg
- Fokussierung und schrittweise schnelle reaktive Lieferungen.

2.1.4. Instrumente zur Messung und Bewertung der Softwareentwicklung

Die Softwaremessung und -bewertung hat sich als Teilbereich in der Softwaretechnik und Informatik etabliert (vgl. Dumke et al., 2013). Dabei geht es um die quantitative Untersuchung der Eigenschaften von Software-Produkten, -prozessen und -projekten. Mit der Disziplin der Einführung von Messsystemen, dem Extrahieren von Messdaten, dem Evaluieren der Softwarequalität und dem Entscheiden über Verbesserungsmaßnahmen werden Ziele wie Effizienzsteigerung, Projektkontrolle und Fehlerreduktion verfolgt. Softwaremessung und -bewertung forcieren professionelles Arbeiten und schaffen eine Basis, um exakte Antworten zu geben, statt zu spekulieren. Die Geschichte dieser Disziplin begann in der Praxis mit Messorientierung hinsichtlich des Programms und des Softwareprodukts. Mittlerweile wird die gesamte Softwareentwicklung samt Hilfsmitteln, Personal und Entwicklungsprozessen in die Messung miteinbezogen. Aktuelle Referenzmodelle zur Bewertung industrieller Softwareentwicklungsprozesse sind ohne Messung undenkbar. Beispiele dafür sind CMMI (Capability Maturity Model Integration), SPICE (Software Process Improvement and Capability Determination) und ITIL (IT Infrastructure Library) (vgl. Dumke et al., 2013). Der theoretische generelle Kontext einer Softwaremessung ist grundsätzlich im Normenausschuss ISO festgelegt (vgl. Mari, 2015). Tabelle 8 zeigt die Grundkomponenten einer Softwaremessung nach der ISO-Norm.

Tabelle 8: Grundkomponenten einer Softwaremessung nach Dumke et al., 2013, S. 508

Nummer	Schritte	Beschreibung
1	Metrologie	Wissenschaft der Messung und ihrer Anwendung
2	Messprinzip	wissenschaftliche Basis der Messung
3	Messmethode	logische Sequenz von Operationen
4	Messung	Ausführung von Operationen

Das Messen bzw. Analysieren von Software hat bereits Basili und Rombach dazu bewogen, eine grundlegende Methodik zu erarbeiten, die auch Goal-Question-Metrik (GQM) genannt wird (siehe Abbildung 17) (vgl. Basili, V. et al., 1994). Diese Methode bildet seitdem die Grundlage einer jeden Softwaremessung. Seither werden Messungen in der Softwareentwicklung typischerweise durch Instrumente wie GQM vorgenommen. Sie bieten einen Weg, um von Zielen ausgehend Fragen zu stellen, die den Weg zum Ziel darstellen bzw. abzuschätzen helfen, wann das Ziel erreicht sein wird. Auf Grundlage dieser Fragen werden Maße bzw. Metriken ermittelt, die ausdrücken, wo das Software-System in Bezug auf die Ziele steht bzw. wie weit die Entwicklung von den Zielen noch entfernt ist. Dabei

werden die Messindikatoren in der Softwareentwicklung als Metriken bezeichnet. Software-Metriken werden nach dem IEEE-Standard als Funktionen definiert, die Softwareeigenschaften in Zahlenwerten abbilden; so z. B. die Qualität der Software im Vergleich zur Anzahl der gefundenen Fehler bei deren Entwicklung (vgl. Huang, Lai, 2003, S. 327–330). Die GQM-Methode wurde mittlerweile um eine weitere Stufe ergänzt, nämlich um die Stufe der Kennzahlen. Nach Kütz definiert jede Metrik eine Gleichung mit Kennzahlen als Parameter, die ein bestimmtes numerisches Ergebnis liefert (vgl. Martin, 2007).

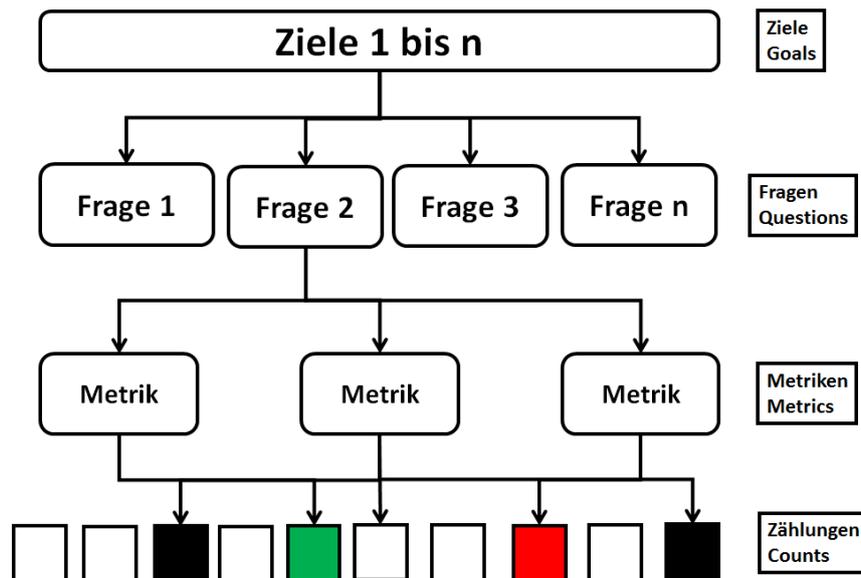


Abbildung 17: Darstellung der GQM-Methode. Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an Basili et al., 1994, S. 528–530; Kütz, 2007, S. 44–46

Die gezielte Betrachtung der Softwaremessung dient dazu, die folgenden relevanten Punkte bzw. Analogien auf Basis der Literatursichtung und Auswertung zusammenfassend in den Fokus der Arbeit zu rücken:

- Ziele der Softwaremessung sind die Thesen der Arbeit
- Fragen der Softwaremessung sind die Indikatoren zum nachhaltigen Erfolg und das Modell
- Metriken der Softwaremessung werden durch das Ergebnis der Messung der Indikatoren und Thesen (das Modell) abgebildet
- Zählungen der Softwaremessung werden durch die Simulation des Modells sowie das Ergebnis der Prognose bei der Anwendung des Modells abgebildet

2.1.5. Instrumente zur Nachhaltigkeit in der Softwareentwicklung

Um die Arbeit in die aktuelle Debatte im Bereich der nachhaltigen Entwicklung einordnen zu können, muss der aktuelle Stand im Bereich nachhaltige Softwareentwicklung zunächst exemplarisch erörtert werden. Die nachhaltige Softwareentwicklung ist in der Forschung längst ein Thema, in der Praxis jedoch weniger. Einige Forschungsprojekte, die sich in Deutschland und Europa mit diesem Thema beschäftigen, haben Ansätze und Modelle entwickelt. Ein Beispiel für solche Forschungsvorhaben ist das Projekt Green Software Engineering (GREENSOFT) des Umwelt-Campus Birkenfeld. Das Projekt beschäftigt sich mit Umweltbetrachtungen (Green in IT) im Rahmen des Software Engineering. Dabei geht es um die Entwicklung von Verfahren zur Messung und Visualisierung von Ressourcenverbräuchen durch Software mit dem Ziel, die Netzauslastung und den Speicher- und Rechenzeitbedarf zu reduzieren (vgl. Naumann, 2015). Ein weiteres Projekt, das sich mit dem Thema Nachhaltigkeit und Software-Technik beschäftigt, ist das ENE-Projekt – der Forschungsschwerpunkt „Nachhaltige Entwicklung“ der Hochschule Bochum. Das Projekt beschäftigt sich unter anderem mit integrativer Nachhaltigkeit und Software-Technik. Dabei wird der Begriff der „integrativen Nachhaltigkeit“ erst konkretisiert, um daraus Strategien für nachhaltige Softwareentwicklungsprozesse ableiten zu können. Einige konkrete Maßnahmen, die zu nachhaltigen Softwarelösungen führen sollen, wurden im Rahmen des ENE-Projekts publiziert (Schmidt, 2014). Das Fachgespräch „Nachhaltige Software“ am 28.11.2014 ist ein weiteres Beispiel dafür, wie dem Thema auf nationaler Ebene (Deutschland) mehr Bedeutung geschenkt werden kann, um die gesellschaftliche Aufmerksamkeit auf das Thema, seinen Nutzen, seine Definition und Standardisierung zu richten (Umwelt Bundesamt, 2015). International bemühen sich einige Wissenschaftler in Zusammenarbeit mit der Industrie um das Thema. Der Trend zu diesem Thema ist auch anhand der Veröffentlichungen in den internationalen Fachmedien deutlich zu erkennen. Ein Beispiel dafür ist der Band *Green in Software Engineering* (Calero und Piattini, 2015).

Die gezielte Betrachtung der grünen Software dient dazu, die folgenden relevanten Punkte auf Basis der Literatursichtung und Auswertung zusammenfassend in den Fokus der Arbeit zu rücken:

- Das Thema hat theoretische und praktische Relevanz
- Ein Modell, das die o.g. Projekte zusammenfassend in eine taugliche praktische industrielle Anwendung umwandelt, stellt eine Bereicherung dar.

2.1.6. Instrumente zur Nachhaltigkeitsbewertung

Die Bewertung der Nachhaltigkeit orientiert sich an Nachhaltigkeitsthemen, -zielen, -strategien und -prinzipien wie Suffizienz, wo die natürlichen Ressourcen und Grenzen berücksichtigt werden, Effizienz, wo ein Nutzen-Aufwand-Verhältnis beschrieben wird, und Konsistenz (Ökoeffektivität), wo die Vereinbarkeit von Natur und Technik untersucht wird (vgl. Kamiske, Pufé, 2012, S. 29–31). Dabei umfasst das Nachhaltigkeitsmanagement in einer Organisation folgende drei Dimensionen:

- Ökologische Nachhaltigkeit als Ziel bedeutet, die natürlichen Lebensgrundlagen maximal in einem solchen Maß zu beanspruchen, dass diese sich regenerieren können. Themen, wie z. B. Klimaschutz und die Ökobilanz des Unternehmens, fallen darunter.
- Ökonomische Nachhaltigkeit als Ziel bedeutet, dass eine Gesellschaft oder eine Organisation wirtschaftlich nicht über ihre Verhältnisse lebt, so dass die nachkommenden Generationen nicht beeinträchtigt werden. Themen, wie z. B. Risikomanagement und die Eigenkapitalquote, fallen darunter.
- Soziale Nachhaltigkeit als Ziel bedeutet, dass soziale Spannungen und Konflikte nicht eskalieren und friedlich auf zivilem Wege ausgetragen werden. Themen, wie z. B. Beziehungen zu Lieferanten und Kunden, Mitarbeiterbeteiligung und Gewerkschaften, fallen darunter.

Beispielhaft sind einige solcher Bewertungsmodelle im weltweiten Kontext in Tabelle 9 dargestellt. Die Modelle werden anhand ihrer Anwendungsziele unterschieden, z. B. in Selbstbewertungsmodelle mit Fragebögen, Benchmarking und Prozessbewertung. Die drei Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung sind in allen Modellen gegeben. Um auf Basis der aktuellen Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung ein Instrument zur Messung des nachhaltigen Erfolges empirisch entwickeln zu können, das praktische Relevanz bezüglich der Nachhaltigkeitsbewertung hat, sollen die theoretischen Voraussetzungen der Nachhaltigkeitsbewertung beachtet und ihre praktischen Regeln eingehalten werden. Dadurch ergeben sich folgende Rahmenbedingungen:

- Die Messindikatoren sollen die drei Nachhaltigkeitsdimensionen (ökonomisch, sozial und ökologisch) berücksichtigen.

- Das Messinstrument leitet die Anforderungen an die Messung und die Messkriterien aus der Nachhaltigkeitsstrategie/CSR des Unternehmens ab.
- Anhand der Messergebnisse soll in jeder Dimension eine Aussage hinsichtlich des nachhaltigen Erfolges getroffen werden können.

Tabelle 9: Einige Nachhaltigkeitsbewertungsmodelle, angelehnt an Singh et al., 2012, S. 281 sowie Grothe, 2016, S. 79

Bewertungsmodell	Beschreibung	relevanter Inhalt für die Arbeit
Driving Force Pressure State Impact Response (DPISIR)	Modell zur Darstellung von Umweltbelastungen und Umweltschutzmaßnahmen	Indikatoren-Framework für die Umweltberichterstattung; strategische Indikatoren in Umweltbelangen, wie z. B. Ressourcenverbrauch
Lowell Center Framework	Modell zur Darstellung nachhaltiger Produktionsindikatoren	Indikatoren-Framework für nachhaltige Produkte, wie z. B. Design und Wiederverwendbarkeit
Global Reporting Initiative (GRI) Framework	Richtlinie zur Erstellung von Nachhaltigkeitsberichten in Großunternehmen	Indikatoren zur Messung der Nachhaltigkeit wie z. B. ökonomische, soziale und ökologische Messindikatoren
Wuppertal Indikatoren-Framework für nachhaltige Entwicklung	Indikatoren-Framework für nachhaltige Entwicklung	Indikatoren zur Messung der Nachhaltigkeit, wie z. B. Wiederverwendbarkeit
Future-Nachhaltigkeitscheck 2003	Handlungsinstrument für die Praxis am Beispiel des Umweltmanagements	Indikatoren zur Beurteilung der Nachhaltigkeit anhand eines Fragenkatalogs, wie z. B. Beurteilung der Compliance der Europäischen Union hinsichtlich nachhaltiger Entwicklung
Sustainability Assessment for Enterprises (SAVE)	nachhaltige Selbstbewertung eines Unternehmens bzw. Teams zur Aufdeckung von Verbesserungspotential	Phasen der Bewertung, um Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten, z. B. Status-quo-Analyse
Bochumer Nachhaltigkeitscheck (BNC)	Selbstbewertungsinstrument für nachhaltiges Wirtschaften	Stärken und Schwächen analysieren und konkretisieren, um daraus Maßnahmen abzuleiten, z. B. für dauerhaften Profit
Sustainability Balanced Scorecard (SBSC)	Führungs-, Planungs- und Kontrollinstrument hinsichtlich der Nachhaltigkeit im Unternehmen am Beispiel der Vision/Strategie des Unternehmens	Kategorien zur Selbstbewertung, wie z. B. Finanzen, Kunden, Prozesse oder Lernen und Entwicklung

Die gezielte Betrachtung der Nachhaltigkeitsbewertungsmodelle dient dazu, die folgenden relevanten Punkte auf Basis der Literatursichtung und Auswertung zusammenfassend in den Fokus der Arbeit zu rücken:

- Bewertung der Nachhaltigkeit auf Makro- und Mikroebene ist längst Realität
- Indikatoren und Modelle stellen die Basis der Bewertung dar, die mit den empirischen Forschungsmethoden herausgearbeitet worden ist
- Fokussierung und Messung sind ein taugliches Instrument, um die Nachhaltigkeitsbewertung durchführen zu können.

2.1.7. Instrumente zur Risikobewertung in der Softwareentwicklung

Das Scheitern von Softwareprojekten wird in der Praxis durch Studien und Marktbeobachtungen regelmäßig mit Gründen, Daten und Fakten dokumentiert. Der in der Problemstellung der vorliegenden Arbeit referenzierte Bericht der Standish Group belegt durch Zahlen und Fakten die Gründe des Scheiterns und Erfolgsfaktoren. Eine weitere Publikation von Berntsson-Svensson und Aurum von der University of New South Wales in Sydney, Australien hat die Erfolgsfaktoren der Softwareentwicklungsprojekte durch eine empirische Studie ermittelt (vgl. Berntsson-Svensson, Aurum, 2006, S. 144–147). Einige ermittelte Erfolgsfaktoren der Studie waren Anforderungsmanagement, Know-how der Mitarbeiter sowie Qualitätsmanagement und -sicherung. An dieser Stelle setzt das Risikomanagement an, um die Erfolgchance von Softwareentwicklungsprojekten zu verbessern und den Risiken entgegenzuwirken (vgl. Boehm, 1991). Es gibt zum einen Arbeiten, die sich auf das Risikomanagement in der Softwareentwicklung konzentriert haben, beispielsweise auf das Vorhandensein eines Risikomanagementprozesses (vgl. Foo, Muruganatham, 2000, S. 536), und solche, die projektspezifische Kriterien, wie z. B. das Fehlen einer zukunftsfähigen Technologielandschaft im Projekt, herausgearbeitet haben (vgl. Kwak, Stoddard, 2004, S. 915–918).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die vorgestellten Arbeiten und Berichte darauf abzielen, die wesentlichen Risiken anhand von Kriterien oder Befragungstechniken abzuleiten, um eine grobe Abschätzung vorzunehmen, inwieweit diese Risiken das Softwareentwicklungsvorhaben negativ beeinflussen können.

Die gezielte Betrachtung der Risikobewertung in der Softwareentwicklung dient dazu, die folgenden relevanten Punkte auf Basis der Literatursichtung und Auswertung zusammenfassend in den Fokus der Arbeit zu rücken:

- Risikomanagement stellt einen notwendigen Prozess dar, um den Erfolg eines Produktes und Projektes abzusichern.
- Analytisches fokussiertes Vorgehen bei dem Risiko ist Stand der Technik, wobei stets angestrebt wird, das Risiko minimal zu halten.
- Es gibt längst allgemeingültige erprobte sowie praxistaugliche Indikatoren, die den Erfolg eines Softwareentwicklungsvorhabens (Projekt/Produkt) positiv beeinflussen.

2.1.8. Zusammenfassung der relevanten Grundlagen für die Messung und Prognose des nachhaltigen Erfolgs in der Softwareentwicklung

Im Rahmen des Grundlagenkapitels wurden verschiedene Instrumente näher betrachtet und beschrieben. Dabei war der Fokus zur Auswahl der Instrumente darauf gerichtet, dass sie einen **direkten** (grüne Markierungen) und **indirekten** (gelbe Markierungen) Einfluss auf die vorliegende Arbeit haben. Tabelle 10 und Tabelle 11 zeigen zusammenfassend die betrachteten ausgewählten Instrumente und ihre Wirkung auf die Zielstellung der Arbeit bei der Prognose des nachhaltigen Erfolgs in der Entwicklung von Softwareapplikationen.

Tabelle 10: Nachhaltige Entwicklung und Bewertung

Das betrachtete ausgewählte Instrument	Zusammenfassende inhaltliche Beschreibung	Beitrag zur vorliegenden Arbeit
Nachhaltige Entwicklung	geschichtliche Entwicklung und die Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung; Kreislaufwirtschaft und Öko-Bilanzierung als unterstützende Methoden bzw. Vorgehen	Die Dimensionen sowie das Denken in der Kreislaufwirtschaft der Rohstoffe und ihr Recycling; dazu die Bewertung anhand einer Sachbilanz
Nachhaltigkeitsbewertung	Bewertung des Unternehmens auf die Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung bezogen	Die Notwendigkeit der drei Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung

Tabelle 11: Softwareentwicklung und Bewertung

Das betrachtete ausgewählte Instrument	Zusammenfassende inhaltliche Beschreibung	Beitrag zur vorliegenden Arbeit
Softwareentwicklung	Probleme und ihre Ursachen bei der Softwareentwicklung und Produkten sowie den dahinterstehenden Prozessen	beschreibende einordnende Grundlagen zur Softwareentwicklung und der Lebenszyklus eines Softwareproduktes
Risikomanagement	Beschreibung des Prozesses des Risikomanagements und die dahinterstehende Risikobewertung	Fokussierung auf die Kette: Risikominderungsmaßnahme → Risiko → Erfolg. Der Einfluss und die Wirkung werden auf abstrakter Ebene kategorisiert.
Softwaremessung	beschreibende Grundlagen zur Softwaremessung und Kennzahlen sowie Methoden	Kennzahlen und Schätzungsverfahren als Vorbereitung und Analogie auf die Zielstellung der vorliegenden Arbeit
Nachhaltige Softwareentwicklung	Definition und Beschreibung des Stands der Technik; die Erläuterungen beginnen bei den Klimazielen und enden bei der Einordnung von Green Software in die Softwareentwicklung und Softwareprodukten	nachhaltige Indikatoren werden auf Basis der Grundlagen bezüglich nachhaltige Softwareentwicklung und Stand der Technik ausgewählt, um sie als Minderungsmaßnahmen in der gesamten Betrachtung heranzuziehen

2.2. Erfolgs-, Risikofaktoren und Risikominderungsmaßnahmen in traditionellen und nachhaltigen Softwareentwicklungsprojekten

2.2.1. Klassische Betrachtung und traditionelle Erfolgsfaktoren

Die steigende Herausforderung an Unternehmen bei der Entwicklung von Software hat dazu geführt, dass Softwareentwicklungsprojekte scheitern. Eine Auswertung der Jahre 1994 bis 2008 der Standish Group hat ergeben, dass 57 % der agilen Projekte und 74 % der traditionellen Projekte fehlgeschlagen sind bzw. nicht richtig umgesetzt wurden (vgl. The Standish Group Report, 2010, S. 15). Um Projekte erfolgreich abzuschließen, werden Erfolgsfaktoren und ihre Ermittlungstechniken als Voraussetzung verstanden, die zur Erreichung von wünschbaren Zuständen in Softwareentwicklungsprojekten beitragen (vgl. Jenny, 2010, S. 85); (vgl. Chow und Cao, 2008, S. 963). Um diese Voraussetzung zu erfüllen, werden die Erfolgsfaktoren bei Softwareentwicklungsprojekten im Rahmen dieser Arbeit auf projekt- und produktspezifischer Ebene ermittelt. Dabei wird ausgewählte primäre und sekundäre Literatur durch gezielte Suche in Literaturdatenbanken chronologisch analysiert und bewertet, um schlussendlich die projekt- und produktspezifischen Risiken zu ermitteln. Dadurch entwickelt sich ein Indikatorkatalog, der projekt- und produktspezifische Risiken beinhaltet (siehe Abbildung 18).

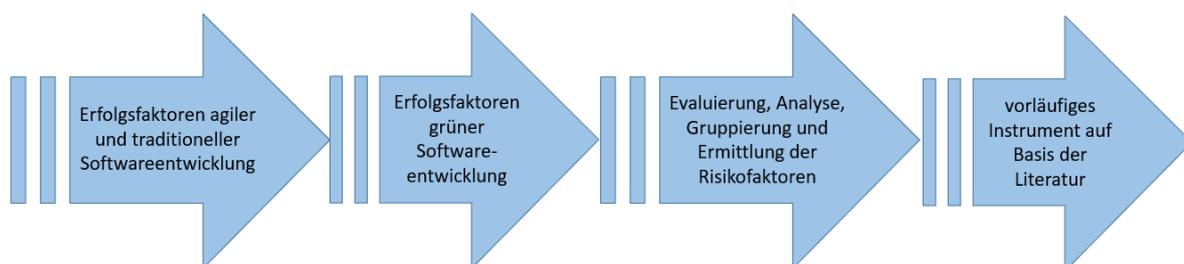


Abbildung 18: Entwicklung des Kriterienkatalogs. Quelle: Eigene Darstellung

Die Erfolgs- und Risikofaktoren in der Softwareentwicklung sind wissenschaftlich aufbereitet worden. Im Folgenden werden sie aus unterschiedlichen Quellen gruppiert und einer genaueren Betrachtung unterzogen. Im Jahr 1983 formulierte BOEHM bereits die sieben Grundprinzipien der Softwareentwicklung (Boehm, 1983). Laut GAULKE können diese

Grundprinzipien als Erfolgsfaktoren eines Softwareprojektes betrachtet werden (vgl. Gaulke, 2004, S. 53). Tabelle 12 zeigt diese Grundprinzipien der Softwareentwicklung nach BOEHM.

Tabelle 12: Die sieben Grundprinzipien der Softwareentwicklung nach BOEHM

Index	Erfolgsfaktoren
1 ²	Phasenweisen Entwicklungsplan verwenden
2	Validierung permanent durchführen
3	Kontrolle über das Softwareprodukt bewahren
4	Moderne Programmiermethoden verwenden
5	Klare Ergebnisverantwortung
6	Weniger und gute Mitarbeiter einsetzen
7	Bereit sein zur ständigen Prozessverbesserung

GAULKE stellte im Jahr 1994 die Studie „IT Runaway Systems“ im Auftrag des Beratungshauses KPMG Management Consulting vor, in der Erfolgsfaktoren (siehe Tabelle 13) herausgestellt worden sind (vgl. Gaulke, 2004, S. 41f).

Tabelle 13: GAULKE Erfolgsfaktoren im Jahr 1994 der Studie „IT Runaway Systems“

Index	Erfolgsfaktoren
8	Aussuchen von externen Lieferanten nach den Kriterien Zuverlässigkeit und Know-how
9	Besseres Einweisen von internem IT-Projektteam und Benutzern
10	In den einzelnen Projektphasen bei komplexen Projekten Review und Risikoanalyse anwenden
11	Kontrolle des kritischen Pfades und enge Zeitplanung
12	Einbindung des Managements auf angemessener Ebene
13	Die eingesetzte Technologie im Vorfeld des Projektes beurteilen
14	Zeit und Kosten genau planen
15	Alternativen im Falle von Änderungen der politischen oder strategischen Ausrichtung ausarbeiten

² Die Zahlen/Reihenfolge stellt die Indexierung der Erfolgsfaktoren dar und beginnt beim Index 1. Das hilft zum einen dabei, im Nachgang auf einzelne Faktoren direkt zu verweisen und zum anderen eine Summenbildung zu ermöglichen.

Anhand des „CHAOS-Report 1995“ der Standish Group hat GAULKE Erfolgsfaktoren genannt. Tabelle 14 fasst sie zusammen (vgl. Gaulke, 2004, S. 41f).

Tabelle 14: Erfolgsfaktoren nach dem CHAOS-Report 1995

Index	Erfolgsfaktoren
16	Benutzer einbinden
17	Unterstützung durch das Management
18	Eindeutige Anforderungen
19	Projekte richtig planen
20	Realistische Erwartungen
21	Kleinere Meilensteine
22	Kompetente Mitarbeiter

MCCONNEL hat im Jahr 1997 zehn wichtigste Erfolgsfaktoren der Softwareentwicklung zusammengestellt und beschrieben. In der Tabelle 15 sind sie aufgelistet (vgl. McConnell, 1997, S. 143).

Tabelle 15: Die zehn wichtigsten Erfolgsfaktoren der Softwareentwicklung nach MCCONNEL

Index	Erfolgsfaktoren
23	Der IT-Kompass des IT-Projektes ist das Vorhandensein von Produktspezifikation
24	Vorhandensein eines Prototyps für die Benutzerschnittstelle
25	Realistischer Zeitplan
26	Definierte Prioritäten
27	Aktives Risikomanagement
28	Qualitätssicherungsplan
29	Detaillierte Aktivitäten-Pläne
30	Softwarekonfigurationsmanagement
31	Entwicklung auf Basis einer Architektur
32	Integrationsplan

Eine Umfrage des Daily Telegraph aus dem Jahr 1998 nennt kritische Erfolgsfaktoren der Softwareentwicklung, wie GAULKE (siehe Tabelle 16) berichtet (vgl. Gaulke, 2004, S. 45).

Tabelle 16: Kritische Erfolgsfaktoren des Daily Telegraph aus dem Jahr 1998

Index	Erfolgsfaktoren
33	Das magische Dreieck aus Zeit, Kosten und Qualität gut einschätzen
34	Existenz eines Projektmanagementverfahrens
35	Vorhandensein einer Geschäftsstrategie, die dem Projekt zugrunde liegt
36	Anforderungen an das Projekt sollten detailliert und abgestimmt sein
37	Durchführung einer Projektrisikoaanalyse
38	Alle Vertragspartner/Lieferanten sollen überprüft und genehmigt sein
39	Messbare und klare Meilensteine
40	Kompetente Mitarbeiter, vor allem im Test und bei der Abnahme
41	Freiraum und breite Unterstützung für den Projektmanager

In einem Programm Management Survey der britischen Niederlassung von KPMG (Wirtschaftsprüfungs- und Beratungsunternehmen) im Jahr 2002 gelten folgende Erfolgsfaktoren eines IT-Projektes (siehe Tabelle 17), wie von GAULKE erwähnt (vgl. Gaulke, 2004, S. 47f).

Tabelle 17: Erfolgsfaktoren nach dem Programm Management Survey im Jahr 2002

Index	Erfolgsfaktoren
42	Das Management soll Unterstützung leisten
43	Vorbereitung und Planung sollen gründlich sein
44	Klare und gute Anforderungen
45	Qualitätssicherung
46	Überdurchschnittliche Anstrengung der Mitarbeiter

Im selben Jahr 2002 haben WETZEL und SEILER Grundprinzipien erfolgreicher großer Softwareprojekte benannt. Tabelle 18 gibt diese Faktoren wieder (vgl. Sanio, 2011, S. 10).

Tabelle 18: Erfolgsfaktoren nach WETZEL und SEILER

Index	Erfolgsfaktoren
47	Die Schnittstelle zwischen Business und IT soll wirksam ausgestaltet sein
48	Die Kommunikation zwischen Geschäftseinheiten und IT soll ständig verbessert werden
49	Frühe Lieferung von Ergebnissen

Im Jahr 2006 haben BUSCHERMÖHLE ET AL. Hypothesen aufgestellt, die den Einfluss unterschiedlicher Faktoren auf Softwareentwicklungsprojekten in Deutschland zusammenfassen (vgl. Buschermöhle et al., 2006, S. 291f). Das Ergebnis einer empirischen Untersuchung für verifizierte Erfolgsfaktoren ist in Tabelle 19 zu sehen. Im gleichen Jahr wurden in einer Publikation von Berntsson-Svensson und Aurum von der University of New South Wales in Sydney, Australien die Erfolgsfaktoren der Softwareentwicklungsprojekte durch eine empirische Studie ermittelt (vgl. Berntsson-Svensson, Aurum, 2006, S. 144–147). Tabelle 20 fasst das Ergebnis der empirischen Untersuchung zusammen.

Tabelle 19: Hypothesen von BUSCHERMÖHLE ET AL. und verifizierte Erfolgsfaktoren

Index	Erfolgsfaktoren
50	Projektteams sollen klein sein
51	Projekte sollen möglichst in kleinen Unternehmen durchgeführt werden
52	Kurze Projektlaufzeit
53	Reduzierung der Komplexität hinsichtlich der Projektergebnisse
54	Sehr hohe Kundeneinbindung
55	Das Management soll die Entwicklung unterstützen
56	Hohe Motivation des Projektteams
57	Kompetente Mitarbeiter des Projektteams
58	Teamkommunikation soll gefördert werden
59	Aufwands- und Kosteneinschätzungen sollen nachvollziehbar und verlässlich sein
60	Durchführung einer konsequenten Projektkontrolle

Tabelle 20: Erfolgsfaktoren nach der empirischen Studie von Berntsson-Svensson und Aurum von der University of New South Wales in Sydney

Index	Erfolgsfaktoren
61	Vollständige und akkurate Anforderungsbeschreibung am Projektbeginn
62	Vorhandensein von guten Schätzungen und Plänen
63	Bereitstellen von ausreichend viel Zeit für die Anforderungserhebung
64	Vorhandensein von definiertem und abgegrenztem Projektziel
65	Bezahlung der Projektmitarbeiter für Überstunden
66	Im Laufe des Projektes soll der Projektleiter nicht ausgetauscht werden
67	Keine Beschäftigung von zusätzlichem Personal, um Projektzeitplan einzuhalten

Im Rahmen der agilen Softwareprojekte haben MISRA ET AL. im Jahr 2009 neun signifikante Erfolgsfaktoren ermittelt, die einen Einfluss auf den Erfolg von agilen Softwareprojekten haben (vgl. Misra et al., 2009, S. 1884). Tabelle 21 beinhaltet die neun signifikanten Erfolgsfaktoren der agilen Softwareentwicklung.

Tabelle 21: Neun signifikante Erfolgsfaktoren nach MISRA ET AL. vom Jahr 2009

Index	Erfolgsfaktoren
68	Zufriedenheit des Kunden
69	Zusammenarbeit mit Kunden
70	Unternehmenskultur
71	Verantwortlichkeit der Kunden
72	Planung und Kontrolle
73	Potential der Mitarbeiter
74	Sozialkultur
75	Schnelle Entscheidungen
76	Trainieren und Lernen

2.2.2. Erfolgsfaktoren nach ASQF Certified Professional for Project Management

In der aktuellen Fassung der Aus- und Weiterbildung zum ASQF Certified Professional for Project Management vom Jahr 2016 werden Erfolgsfaktoren nach dem Projektlebenszyklus benannt und kategorisiert. Dabei werden Erfolgsfaktoren nach den Phasen Projektinitiierung (siehe Tabelle 22), Projektplanung (siehe Tabelle 23), Projektdurchführung (siehe Tabelle 24) und Projektabschluss (siehe Tabelle 25) aufgelistet (vgl. Johannsen et al., 2017, S. 209–210).

Tabelle 22: Erfolgsfaktoren der Aus- und Weiterbildung zum ASQF Certified Professional for Project Management vom Jahr 2016 in der Phase Projektinitiierung

Index	Erfolgsfaktoren in der Phase Projektinitiierung
77	Klare Projektziele
78	Anforderungen sollen klar, realistisch und vollständig sein
79	Vorhandensein von Sicherheit bezüglich technischer Machbarkeit (z. B. Performance)

Tabelle 23: Erfolgsfaktoren der Aus- und Weiterbildung zum ASQF Certified Professional for Project Management vom Jahr 2016 in der Phase Projektplanung

Index	Erfolgsfaktoren in der Phase Projektplanung
80	Gute Absprache mit Kunden
81	Abgestimmte Anforderungen (Vermeidung von Stakeholder-Konflikten)
82	Gute Risikobetrachtung
83	Realistische Schätzungen und Vorhandensein von Experten bezüglich der Schätzungen
84	Gute Planung und Vermeidung von Whisky-Syndrom ³
85	Realistische Vorgaben bezüglich des Termins und der Kosten

³ Whisky als Akronym steht für „Why isn't Sam coding yet?“. Es beschreibt den verbreiteten Fehler, trotz unklarer Vorgaben mit der Implementierung zu beginnen.

Tabelle 24: Erfolgsfaktoren der Aus- und Weiterbildung zum ASQF Certified Professional for Project Management vom Jahr 2016 in der Phase Projektdurchführung

Index	Erfolgsfaktoren in der Phase Projektdurchführung
86	Verfügbarkeit qualifizierter Mitarbeiter
87	Keine häufigen späten Änderungen von Anforderungen
88	Gute Erfahrung mit der neuen Technik
89	Vorhandensein von Software-Architektur
90	Zuverlässige, qualitative Zulieferung von Unterauftragsnehmern, Dienstleistern, anderen Projekten oder vom Kunden
91	Keine bzw. geringe Terminverschiebungen
92	Regelmäßiges Feedback durch den Kunden
93	Keine bzw. geplante Zusatzaufwände, z. B. für interne Audits

Tabelle 25: Erfolgsfaktoren der Aus- und Weiterbildung zum ASQF Certified Professional for Project Management vom Jahr 2016 in der Phase Projektabschluss

Index	Erfolgsfaktoren in der Phase Projektabschluss
94	Keine spät entdeckten, gravierenden Mängel
95	Hohe Akzeptanz durch den Kunden (z. B. aufgrund der frühzeitlichen Beachtung der Gebrauchstauglichkeit)
96	Keine Cashflow bzw. Liquiditätsprobleme, z. B. unterschiedliche Zahlungskonditionen des Kunden und der Zulieferer beachten

2.2.3. Erfolgsfaktoren im Bereich der grünen Software

Für den Bereich der grünen Software wird ausgewählte primäre und sekundäre Literatur durch eine gezielte Suche in Literaturlieferantenbanken analysiert und bewertet, so dass die Erfolgsstrategien in diesem neuen Bereich betrachtet werden, um sie schlussendlich in den projekt- und produktspezifischen Indikatorenkatalog zu integrieren. Folgende Literaturquellen werden ausgewählt, um einen groben Überblick der Erfolgsfaktoren des Themas „grüne Software“ auszuarbeiten: (Albertao et al., 2010; Amsel et al., 2011; Calero und Piattini, 2015; Hilty, 2008; Johann et al., 2012; Lami et al., 2012; Lami und Buglione, 2012; Marimuthu und Chandrasekaran, 2017; Murugesan und Gangadharan, 2012; Penzenstadler, 2013; Penzenstadler et al., 2012; Shenoy und Eeratta, 2011; Taina und Mäkinen, 2015; Zarnekow et al., 2013).

Der gemeinsame Nenner der Literatur ist die Aussage, dass sich die Bewertung der Nachhaltigkeit von Software oder Softwareprojekten bzw. Softwareentwicklungsprozessen nicht auf einzelne Maßnahmen oder Software-Merkmale bezieht. Die Gesamtbilanz muss positiv im Sinne der angestrebten nachhaltigen Entwicklung sein. Die Literatur bietet dafür Strategien und Indikatoren, anhand derer der nachhaltige Erfolg gemessen werden kann. Sie bietet Anhaltspunkte, um die Entwicklung in Richtung des nachhaltigen Erfolges positiv zu beeinflussen. Dadurch werden die Stakeholder (Kunde, Softwareentwickler, Projektleiter etc.) bezüglich Softwareentwicklung für das Thema sensibilisiert, da konkrete Instrumente zur Messung fehlen.

Grundsätzlich lassen sich zusammenfassend folgende Strategien zur nachhaltigen Softwareentwicklung ableiten:

- Maximierung des Wissens mit Fokus auf den Blick der Ziele der nachhaltigen Entwicklung
- Minimierung der eingesetzten Energiemenge und Ressourcen (Effizienzaspekt)
- Einsatz von regenerativen Energiequellen bei der Entwicklung und dem Betreiben der Software
- Schaffen langlebiger Softwarebausteine (längerer Produktlebenszyklus)
- Software-Artefakte haben u. a. einen breiten Zugang (soziale Gerechtigkeit)
- Erhöhung von Nachhaltigkeitsbewusstsein und Schaffung von Entfaltungspotenzialen
- Nachhaltige Software hat eine Wirkung auf die drei Nachhaltigkeitsdimensionen Ökologie, Wirtschaft und Gesellschaft
- Faire Löhne und sozialverträgliche Arbeitszeiten
- Home-Office-Modelle und nachhaltige Büroumgebung
- Möglichst nachhaltige Zulieferer

Zusammenfassend können die Indikatoren, die in der Tabelle 26 zu sehen sind, festgestellt werden. Dadurch kann der Erfolg eines Softwareentwicklungsprojektes auf Projekt- und Produktebene positiv beeinflusst werden.

Tabelle 26: Erfolgsfaktoren in der grünen Softwareentwicklung

Index	Erfolgsfaktoren in der grünen Softwareentwicklung
97	Ressourcenschonung. Die Erneuerung von Software muss von der Hardware-Erneuerung entkoppelt sein.
98	Modularität. Das Softwareprodukt muss modular aufgebaut sein, so dass nur Module im Arbeitsspeicher landen, die für die Anwendung nötig sind.
99	Die digitale Verfügbarkeit der Software muss nicht nur für die erste Welt oder gewisse Kreise gewährleistet sein, sondern für alle.
100	Softwareprodukt als Ressource/Wissen. Förderung der digitalen Nachhaltigkeit. Das muss erreicht werden, indem die Nutzung offener Schnittstellen und offener Datenformate sowie Plattformunabhängigkeit und Systemwechsel beachtet werden.
101	Technische Unabhängigkeit. Vermeidung von Insellösungen und Vendor-lock-ins. Keine feste Abhängigkeit zu einem Datenformat von einem einzigen Anbieter und Förderung der Vernetzung. Förderung der Plattformunabhängigkeit, so dass die Software nicht an eine einzige Hardware gebunden ist. Vermeidung von Monopolstellungen, indem offene Standards benutzt werden sowie der Einsatz von dezentraler Architektur bei einzelnen Instanzen. Förderung der Abwärtskompatibilität, so dass die Software auf alten Hardwaregeräten eingesetzt werden kann.
102	Knowledge Sharing. Lizenzfreie Software (auch teilweise) ermöglicht einen globalen Einsatz über alle kulturellen und staatlichen Grenzen hinweg. Dokumentation in Handbüchern und Missverständnisse während der Entwicklung, um den Wissensaufbau zu fördern.
103	Unix-Philosophie. Nur eine Aufgabe pro Software bzw. Computerprogramm. Programme müssen zusammenarbeiten und eine universelle Schnittstelle benutzen.
104	Förderung von Flexibilität (Anbindung an verschiedene Peripheriegeräte), Erhöhung des Datenschutzes (Verschlüsselung der sensiblen Daten und nur das Nötige erfragen). Transparenz bezüglich Energieverbrauch über den gesamten Lebenszyklus der Software und Erhöhung der Energieeffizienz. Erhöhung der Performance und Qualität. Default Einstellungen mit energieeffizienten User Szenarien

Weiterhin beschäftigt das Thema „grüne Software“ die internationale Forschungsgemeinde und stellt sich als ein durchaus immer wichtigeres anvisiertes Thema dar, das eine internationale Kooperation benötigt, um es umfassend zu analysieren und zu bewerten. Diese Tatsache wird durch eine detaillierte Übersicht der möglichen Kriterien nachhaltiger Software, „grüne Software“, im Kriterienkatalog für nachhaltige Software bestätigt, der durch eine internationale Kooperation entstanden ist. Der Katalog stellt erste Ergebnisse im UFOPLAN-Projekt „Sustainable Software Design Entwicklung und Anwendung von Bewertungsgrundlagen für ressourceneffiziente Softwareprodukte“ dar (vgl. Hilty et al., 2017). Dabei verfolgt das Projekt eine Formulierung von Mindeststandards durch die Erstellung von Kriterien für die Kennzeichnung nachhaltiger Softwareprodukte, um daraus eine Methodik zur Bewertung der Umweltwirkungen von Softwareprodukten zu entwickeln, die eingesetzt werden kann, um Umwelt- oder Gütezeichen für Softwareprodukte zu etablieren. Aus dem Kriterienkatalog können wichtige Erfolgsfaktoren eines Softwareproduktes abgeleitet werden, die auf dem Prinzip basieren, dass Umweltwirkungen eines Produktes dadurch entstehen, wenn im Lebenszyklus eines Produktes natürliche Ressourcen beansprucht werden. Abbildung 19 zeigt das Lebenszyklusprinzip anhand der Gegenüberstellung der Software/Hardware in den Phasen Produktion, Nutzung und Entsorgung.

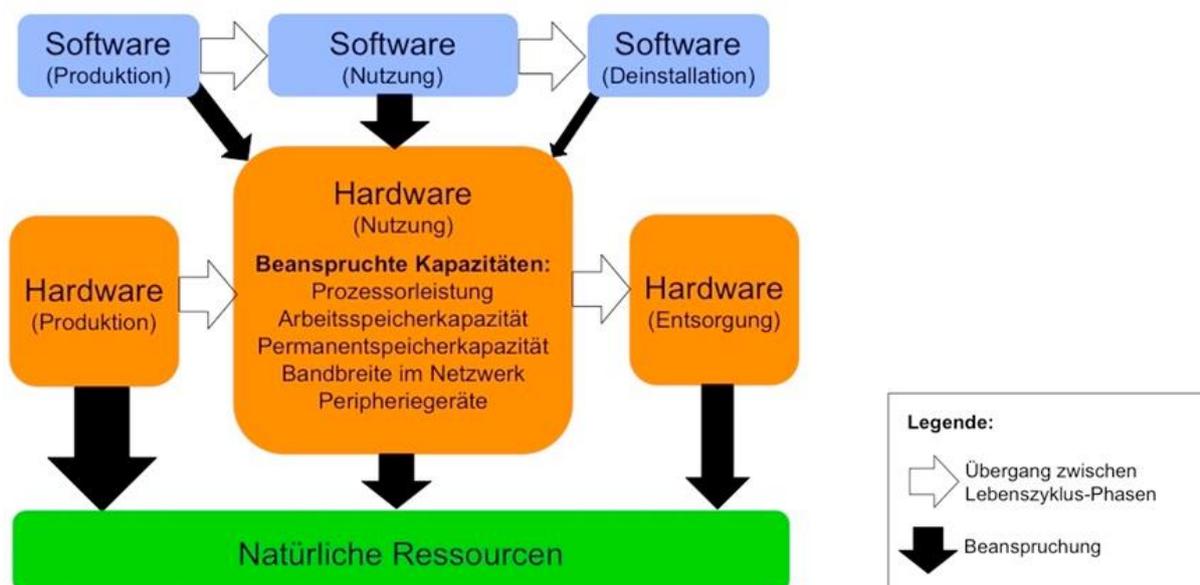


Abbildung 19: Lebenszyklusprinzip anhand der Gegenüberstellung der Software/Hardware in den Phasen Produktion, Nutzung und Entsorgung. Quelle: vgl. Hilty et al., 2017

Der Fokus des Projektes und der erfolgten Kriterien liegt auf der Nutzungsphase des Softwareproduktes, wobei die sozialen Bedingungen wie in der Hardware-Ebene bei der Produktion, Nutzung und Entsorgung des Softwareproduktes als wichtig erachtet werden, aber außerhalb der Betrachtung bleiben. Nach Analyse des Kriterienkatalogs ergeben sich folgende Faktoren, die in Tabelle 27 aufgelistet sind und einen positiven Beitrag leisten, um das Softwareprodukt erfolgreich zu gestalten. Die Indizes 105, 106 und 107 betrachten die Thematik der Ressourceneffizienz. Dabei spielen Hardwareeffizienz, Energieeffizienz sowie Ressourcenmanagement eine zentrale Rolle. Die Indizes 108, 109 und 110 betrachten die potenzielle Nutzungsdauer von Hardware. Dabei werden die Indikatoren Abwärtskompatibilität, Plattformunabhängigkeit und Portabilität sowie Hardwaresuffizienz berücksichtigt. Bei den Indizes 111, 112, 113, 114 und 115 handelt es sich um das Thema Nutzungsautonomie. Dabei soll der Nutzer in die Lage versetzt werden, das Softwareprodukt ohne funktionelle Nachteile ressourcenschonend zu betreiben.

Tabelle 27: Erfolgsfaktoren in der grünen Softwareentwicklung nach dem Kriterienkatalog

Index	Erfolgsfaktoren in der grünen Softwareentwicklung nach dem Kriterienkatalog
105	Hardwareeffizienz. Minimaler Ressourcenaufwand, welcher indirekt durch die Beanspruchung der Hardware erfolgt. Dabei liegt der Fokus auf die bereitgestellte Hardware, den genutzten Hardwarekapazitäten sowie der dabei beanspruchten Energie.
106	Energieeffizienz. Minimaler Verbrauch über die Nutzungszeit des Softwareproduktes von elektrischer Energie. Dabei liegt der Fokus auf der Standardkonfiguration des Softwareproduktes und Standardnutzungsszenarien durch den Anwender.
107	Ressourcenmanagement. Dabei liegt der Fokus auf den Eigenschaften des Softwareproduktes während des Betriebs, was dazu beitragen kann, dass die beanspruchte Energie (Ressource) effizient genutzt wird, um natürliche Ressourcen zu schonen. Ein Beispiel dafür wäre der Übergang in einen sparsamen Modus während des Betriebs, abhängig von den momentanen Anforderungen des Nutzenden oder von den zur Verfügung stehenden Hardwarekapazitäten.
108	Abwärtskompatibilität. Der Fokus liegt in der Garantie des Herstellers eines Softwareproduktes bei neueren Software-Releases, dass die Softwarenutzung unter vor n Jahren alter Betriebsumgebung (Hardware, Betriebssysteme, alte Frameworks) noch ausführbar ist.
109	Plattformunabhängigkeit und Portabilität. Der Fokus liegt auf der Nutzung des Softwareproduktes unter verschiedenen produktiven Systemumgebungen (Hardware- sowie Softwareumgebungen) und dass der Nutzer ohne Nachteile zwischen den Umgebungen wechseln kann.

110	Hardwareeffizienz. Bei Weiterentwicklung des Softwareproduktes sowie Funktionserweiterungen soll die beanspruchte Hardwarekapazität möglichst konstant bleiben.
111	Transparenz und Interoperabilität. Bei Transparenz handelt es sich um ein nachvollziehbares Nutzen-Aufwand-Verhältnis für den Nutzer bezüglich ressourcenrelevanter Aspekte des Softwareproduktes. Bei Interoperabilität wird die Möglichkeit der Nutzer des Softwareproduktes betrachtet, die erzeugten Daten mit anderen Softwareprodukten zu verwenden.
112	Deinstallierbarkeit. Dabei liegt der Fokus darauf, dass der Nutzer das Softwareprodukt ohne Nachteile und einfach deinstallieren kann. Das schließt die Möglichkeit, Daten zu löschen ein.
113	Wartungsfunktionen. Angebot von einfachen zu benutzenden Funktionen, um Mängel und Schäden von Softwareprodukten zu beheben wie z. B. die Durchführung einer Selbstreparatur und die Fähigkeit des Softwareproduktes, Daten wiederherzustellen.
114	Unabhängigkeit von Fremdressourcen. Kann das Softwareprodukt unabhängig von Ressourcen arbeiten, die der Anwender nicht unter seiner Kontrolle hat, wie z.B. Offlinefähigkeit?
115	Qualität der Produktinformation. Informationen an den Nutzer bezüglich ressourcenschonenden Betriebes des Softwareproduktes sollen einfach und verständlich in der Produktdokumentation enthalten sein. Das schließt die Lizenz- und Nutzerbedingungen mit ein.

2.2.4. Risiken und Minderungsmaßnahmen auf Basis der Erfolgsfaktoren

Die ausgearbeiteten Erfolgskriterien stellen eine grundlegende Sammlung dar, die aktuell in der Literatur diskutiert wird. Weitere Literatur heranzuziehen und weitere Kriterien aufzustellen, bewies sich als unbrauchbar, da sich die 115 Kriterien in weiteren Literaturquellen in Inhalt und Wirkung wiederholen. Nach der fundierten Erstellung der Erfolgsfaktoren durch die Literaturrecherche, um daraus Chancen und Risiken eines Softwareentwicklungsprojektes sowohl auf Projekt- als auch auf Produktebene abzuleiten, sollen im Rahmen dieser Arbeit sowohl Risiken als auch Maßnahmen zur Minderung bzw. Abschwächung dieser Risiken ausgearbeitet werden. Die Risiken werden durch analytisch-pragmatische Vorgehensweise in der Zusammenführung der Ergebnisse der Literaturrecherche im darauffolgenden Unterkapitel zusammengestellt. Für die Ausarbeitung der Minderungsmaßnahmen bietet die Softwareentwicklung Best Practice und Lösungen, die historisch sowohl aus theoretischen Überlegungen als auch aus praktisch fundierten Erfahrungen entstanden. Diese Best Practice sind ein fester Bestandteil von Reifegradmodellen, welche die Bewertung von Softwareentwicklungsprozessen und Unternehmen ermöglichen. Jedes dieser Modelle hat einen besonderen Fokus und verfolgt das Ziel einer ständigen Verbesserung der Entwicklungsprozesse, um Qualität in das Softwareprodukt zu integrieren. CMMI⁴, SPICE⁵, OPM3⁶ sind Beispiele für die meist eingesetzten bzw. verwendeten Modelle (Hoermann, 2012; Kneuper, 2007; Steinbach, 2008; Wentzel et al., 2010). Aufgrund der breiten Verwendung und Ähnlichkeit von CMMI und SPICE werden die Best Practice und Praktiken aus dem SPICE Reifegradmodell im Rahmen dieser Arbeit abgeleitet. Das Grundprinzip der Reifegradmodelle basiert auf der Einteilung des zu bewertenden Bereichs zunächst in Kategorien, die Prozessgruppen genannt werden. Das Reifegradmodell legt fest, welche Tätigkeiten der jeweilige Prozess beinhaltet und welche Ergebnisse daraus resultieren. Die Softwareentwicklung ist unter dem „Engineering-Process“ angesiedelt. Für die Prozessgruppen liefert das Modell eine Liste von Prozessen

⁴ CMMI (Capability Maturity Model Integration) ist im anglo-amerikanischen Bereich weit verbreitet. Seit 2010 gibt es die Version CMMI 1.3

⁵ SPICE (Software Process Improvement and Capability Determination) oder ISO/IEC 15504-5 ist in Europa weit verbreitet

⁶ OPM3 (Organizational Project Management Maturity Model) konzentriert sich auf das Thema Projektmanagement

und die dazugehörige Best Practice, deren Einhaltung die Grundlage für die Bewertung darstellt. Die Bewertung fordert für die Einhaltung der Best Practice Nachweise, um bei einem Assessment (Audit) vorgelegt werden zu können. Wie diese Nachweise entstehen und nach welcher Methode vorgegangen wird, geben die Reifegradmodelle nicht vor (vgl. Johannsen et al., 2017, S. 282). Abbildung 20 zeigt schematisch die Prozessgebiete nach ISO/IEC 15504 (SPiCE) (vgl. Wagner und Dürr, 2007, S. 33). Mit der Anwendung der Reifegradmodelle können die Prozesse nur besser werden. Für deren Einsatz können folgende drei Punkte als wesentliche Existenzberechtigungsgründe zusammengefasst werden (vgl. Johannsen et al., 2017, S. 283):

- Sie bieten Leitfäden für alle, die Prozesse neu definieren bzw. verbessern wollen.
- Identifikation von Verbesserungspotential
- Auditberichte bzw. Assessmentberichte dienen als Beweismittel, falls die Qualität der Prozesse in Frage gestellt wird.

Das Ergebnis eines Assessment ist die Erreichung einer bestimmten Reifegraddimension. Sie bildet das Notensystem ab, anhand dessen jedes Prozessgebiet durch den Nachweis der durchgeführten Praktiken gemessen wird. (vgl. Wagner und Dürr, 2007, S. 24). Abbildung 21 zeigt die Reifegraddimensionen nach SPICE. Die Best Practice bilden den Stand der Technik ab. Sie werden zur analytischen und pragmatischen Zuordnung der Erfolgskriterien passend zu den Risiken aufgestellt. Dabei werden folgende Literaturquellen herangezogen, um das Thema umfassend zu berücksichtigen. (vgl. Mueller et al., 2008; vgl. Orecka et al., 2012, S. 261–264); (vgl. Müller et al., 2016); (vgl. Kneuper, 2007); (vgl. Hoermann, 2012, S. 35ff). Das Ziel dieser Arbeit, ein Instrument zur Messung des nachhaltigen Erfolges eines Softwareentwicklungsprojektes, kann eingesetzt werden, um spezifische Ziele und Praktiken der folgenden Prozessgebiete zu erfüllen:

- Ursachenanalyse, Kontrolle und Beseitigung
- Entscheidungsfindung
- Fortgeschrittenes und quantitatives Projektmanagement
- Projektplanung
- Risikomanagement
- Technische Umsetzung, Verifizierung und Validierung

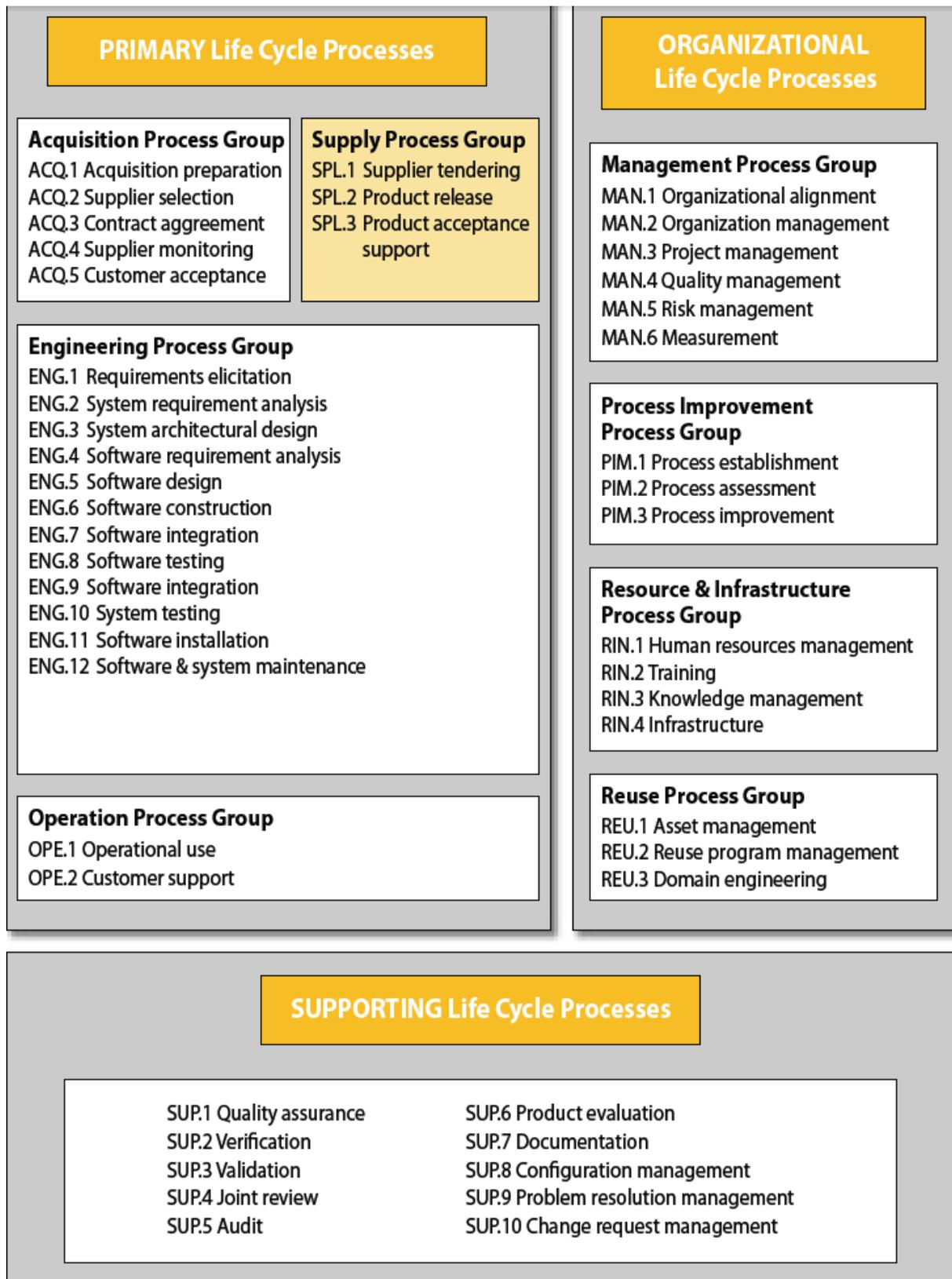


Abbildung 20: Prozessgebiete nach ISO/IEC 15504 (SPICE). Quelle: Wagner und Dürr, 2007, S. 33

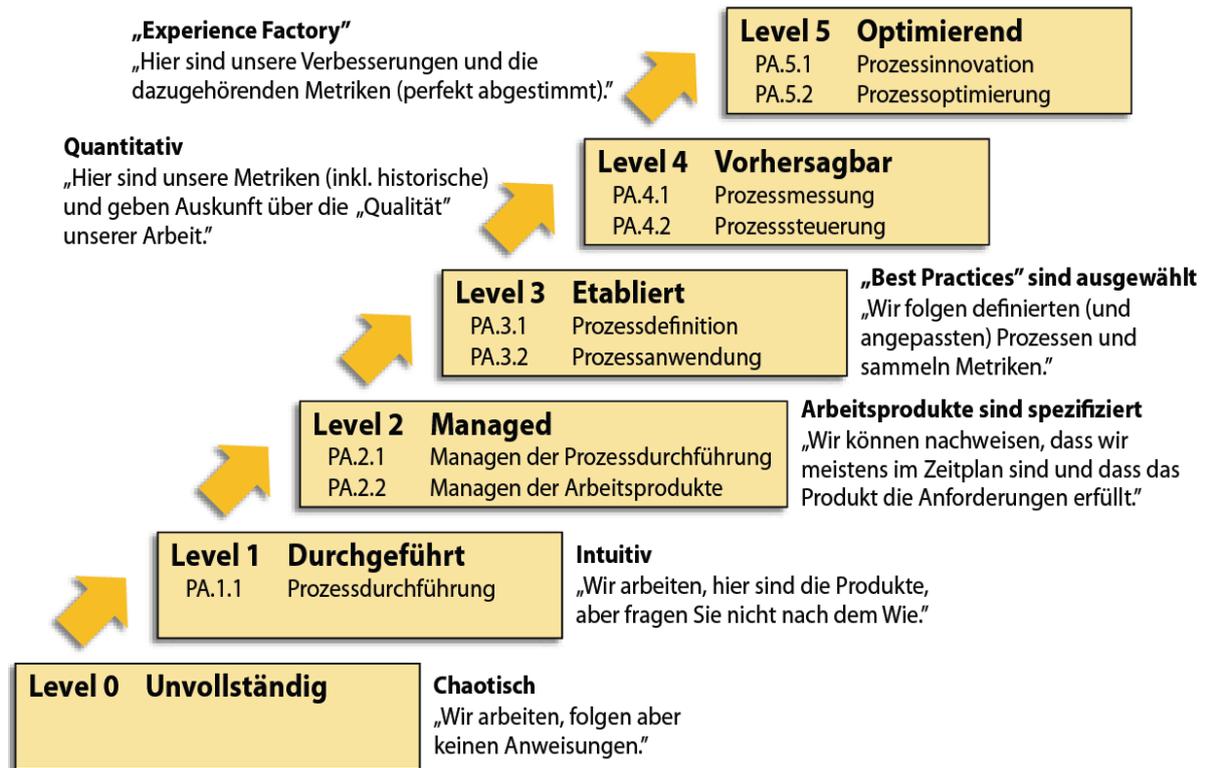


Abbildung 21: Reifegraddimensionen ISO/IEC 15504 (SPiCE). Quelle: Wagner und Dürr, 2007, S. 24

Um den Erfolg eines Softwareprojektes auf Projekt- und Produktebene sicherstellen zu können, stellen die spezifischen Praktiken der Reifegradmodelle eine solide Basis dar, um sie als Minderungsmaßnahmen in der Risikobewertung einsetzen zu können. Tabelle 28 zeigt schematisch die Zuordnung der Prozessgebiete zu den spezifischen Praktiken.

Tabelle 28: Zuordnung der spezifischen Praktiken nach den Prozessgebieten

Prozessgebiet	Spezifische Praktiken
„Ursachenanalyse, Kontrolle und Beseitigung“. Ermittlung, Identifikation von Ursachen wiederkehrender Probleme und Minderungsmaßnahmen bzw. Verbesserungsmaßnahmen planen, kontrollieren und umsetzen.	Die Ursache ausgewählter Probleme und Ergebnisse wird systematisch ermittelt und beseitigt. Die Maßnahmen werden bewertet und aufgezeichnet, um sie in Projekten innerhalb des Unternehmens zu verwenden.

<p>„Konfigurationsmanagement“. Die Arbeitsergebnisse eines Projektes werden sichergestellt, um ihre Integrität und Konsistenz während der Projektlaufzeit aufrechterhalten zu können.</p>	<p>Die Verwendung von Baselines⁷ der Arbeitsergebnisse ist etabliert. Lenkung und Verfolgung der Arbeitsergebnisse im Fall der Änderung innerhalb eines Konfigurationsmanagementsystems. Die Integrität und Konsistenz von Baselines im Laufe des Projektes werden sichergestellt und beibehalten.</p>
<p>„Entscheidungsfindung“. Systematische prozessorientierte Vorgehensweise, wenn das Unternehmen Entscheidungen trifft.</p>	<p>Unternehmensweite etablierte Kriterien und Richtlinien heranziehen, um Alternativen bei der Entscheidungsfindung systematisch zu bewerten.</p>
<p>„Fortgeschrittenes Projektmanagement“. Anpassung des Entwicklungsprozesses auf Basis der Standardprozesse im Unternehmen</p>	<p>Entwicklungsprozess wird von einem Satz von etablierten Standardprozessen im Unternehmen abgeleitet. Systematische Koordination der beteiligten Stakeholder im Projekt</p>
<p>„Messung und Analyse“. Systematische Erhebung, Analyse, Kontrolle und Berichterstattung von Kennzahlen im Projekt</p>	<p>Projekt-Messziele leiten sich aus den erkannten Unternehmenszielen und Informationsbedürfnissen ab.</p>
<p>„Organisationsweite Prozessentwicklung und Ausrichtung“. Vorhandensein von Standardprozessen und Hilfsmitteln, die aus praktischen Erfahrungen stammen. Systematische Identifikation und Planung von Verbesserungspotential der Standardprozesse</p>	<p>Festhalten und Etablieren von einem Satz von Standardprozessen. Aufstellen von Regeln und Richtlinien zum Umgang mit dem Satz von Standardprozessen. Regelmäßige Ermittlung von Verbesserungspotential der Standardprozesse. Systematische Planung und Umsetzung von Prozessverbesserungsmaßnahmen</p>
<p>„Organisationsweite Aus- Weiterbildung“.</p>	<p>Bereitstellung und Etablierung von Aus- und</p>

⁷ Baseline bedeutet, dass Arbeitsergebnisse im Laufe des Projektes einen Zwischenstatus haben, der eine bestimmte Version der Ergebnisse darstellt, was u. u. für die Berichterstattung notwendig ist.

Entwicklung des Wissens und der Fähigkeiten der Mitarbeiter	Weiterbildungsmaßnahmen und Programme für die Organisation. Planung, Aufzeichnung und Bewertung der Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen
„Produktintegration“. Systematische Planung und Sicherstellung der Qualität des Zusammenbaus eines Produktes aus seinen einzelnen Komponenten	Vorbereitung, Umsetzung und Bewertung der Produktintegration aus seinen einzelnen Komponenten. Verifizierung der Produktbestandteile und Validierung des gesamten Produkts vor der Auslieferung
„Organisationsweites Leistungsmanagement und Prozessleistung“. Systematische Analyse anhand von Kennzahlen der Leistung von organisationsweiten Prozessen	Leistung wird anhand qualitativer und quantitativer Kriterien gemessen. Verbesserungsmaßnahmen werden systematisch und auf Basis quantitativer Ergebnisse abgeleitet, um die Prozessleistung zu erhöhen.
„Projektplanung, Verfolgung und Steuerung“. Realistische Planung und Ermittlung von Korrekturmaßnahmen bei der Steuerung des Projektes, falls Abweichungen vom Plan identifiziert worden sind.	Einsatz von erfahrungsbasierten Schätzmethoden und Erstellung eines Projektplans. Überwachung des Projektfortschrittes gegenüber dem Projektplan und systematisches Einleiten von Korrekturmaßnahmen bei Abweichungen vom Plan.
„Prozess- und Produktqualitätssicherung“. Ein vorgegebenes Level an Prozess- und Produktqualität wird definiert und sichergestellt. Dadurch wird es möglich, die Qualität von allen Stakeholdern objektiv beurteilen zu können.	Objektive Bewertung der Arbeitsergebnisse unter Einhaltung der vorgeschriebenen Prozessbeschreibungen, gesetzlichen Vorgaben, Normen und Standards. Systematische Verfolgung und Beseitigung von Abweichungen. Dokumentation und Aufzeichnung der Arbeitsergebnisse. Regelmäßige Kommunikation und Berichterstattung der Ergebnisse an die Stakeholder.
„Risikomanagement“. Risiken analysieren	Vorbereitung, Durchführung und Umsetzung

<p>und Aus- und Bewertung, um Minderungsmaßnahmen zu identifizieren, so dass der Projekterfolg gesichert wird.</p>	<p>eines Risikomanagementprozesses. Risiken werden identifiziert, analysiert, bewertet und Minderungsmaßnahmen erarbeitet, umgesetzt und kontrolliert, um Risiken nach Bedarf abzuschwächen.</p>
<p>„Anforderungsentwicklung und Anforderungsmanagement“. Anforderungen an das Produkt werden systematisch und prozessorientiert ermittelt, analysiert, bewertet und dokumentiert.</p>	<p>Ermittlung der Kundenanforderungen durch Festlegung und Analyse des Umfelds mit den Stakeholdern. Systematische Ermittlung der Kundenanforderungen, um sie zu analysieren, zu bewerten und zu dokumentieren. Ein systematischer Ansatz wird festgelegt, um aus Kundenanforderungen die Produkthanforderungen abzuleiten. Eine abschließende Validierung der Anforderungen ist vorzufinden. Eine Anforderungsverwaltung und konsistente Analyse und Bewertung der Projektplänen sind vorhanden und etabliert.</p>
<p>„Auswahl von Zulieferern“. Die Zusammenarbeit mit Zulieferern wird klar geregelt. Die Zulieferer werden systematisch ausgewählt.</p>	<p>Festlegung und Etablierung von Vereinbarungen zur Auswahl und geregelte Zusammenarbeit mit externen Parteien (Zulieferer). Objektive Bewertung der Zusammenarbeit und Erfüllung der Vereinbarungen, sowohl von Projektbeteiligten als auch von Lieferanten</p>
<p>„Technische Umsetzung, Verifizierung und Validierung“. Sicherstellen, dass die Anforderungen erfüllt werden, indem die Zwischenarbeitsergebnisse verifiziert werden und das gesamte Produkt validiert wird.</p>	<p>Systematische Lösungsauswahl und Entscheidung in Bezug auf Alternativen. Design, Architektur und Entwicklung der Lösungen mit begleitender Dokumentation sicherstellen. Die Verifizierung der Arbeitsergebnisse und Validierung werden vorbereitet, durchgeführt, bewertet und</p>

	kontrolliert.
--	---------------

2.3. Zusammenführen der Erkenntnisse der Literaturrecherche und vorläufige Konzeption des Instrumentes

2.3.1. Zwischenfazit und Zusammenführen der Erkenntnisse der Literaturrecherche

Um die Erkenntnisse der Literaturrecherche zusammenzuführen, bietet es sich an, die Erfolgsfaktoren in Kategorien und Unterkategorien einzuteilen. Zusammenfassend bilden sich folgende Haupt- und Unterkategorien (siehe Tabelle 29 bis Tabelle 33):

- Prozessebene (Projektmanagement, Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung, Risikomanagement, Lieferantenmanagement)
- Produktebene (Entwicklungsmethoden und Werkzeuge (Vorgehensmodelle, Anforderungsmanagement, Konfigurationsmanagement, Architektur, Integration, Qualitätssicherung, Dokumentation, Hardware))
- Unternehmenskultur, Struktur und Umfeld (Leitlinien, Ziele und Strategien (z. B. Wertschätzung der Mitarbeiter, soziale Kultur im Unternehmen, Gesellschaft, Recht und Politik), Aufbau- und Ablauforganisation, Finanzierung und Kosten)
- Mitarbeiter und Team (Mitarbeiter-Know-how, Mitarbeiter-Motivation)
- Kunde und Anwender (Schulung, Nutzungsszenarien)

Tabelle 29: Hauptkategorie: Prozessebene

Index	Hauptkategorie	Unterkategorie
1,6,11,14,19 21,26,29,33, 34,39,43, 49,50,59,60, 62,67,71,72, 80,83,84,85, 87,91,93	Prozessebene	Projektmanagement
2,7,28,45	Prozessebene	Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung
10,27,37,82	Prozessebene	Risikomanagement
8,38,90	Prozessebene	Lieferantenmanagement

Tabelle 30: Hauptkategorie: Produktebene

Index	Hauptkategorie	Unterkategorie
3,4,10,13, 16,18,23,24, 26,30,31,32, 44,49,51,52, 53, 54,61,63,78, 79,81,88,89, 92,94,95,97, 98,101,102, 103,105,107, 108,109	Produktebene	Entwicklungsmethoden und Werkzeuge (Vorgehensmodelle, Anforderungsmanagement, Konfigurationsmanagement, Architektur, Integration, Qualitätssicherung, Dokumentation, Hardware)

Tabelle 31: Hauptkategorie: Unternehmenskultur, Struktur und Umfeld

Index	Hauptkategorie	Unterkategorie
5,15,17,20, 35,36,42,55, 64,66,70,73, 74,75,77,99, 100,102,104, 106	Unternehmenskultur, Struktur und Umfeld	Leitlinien, Ziele und Strategien (z. B. Wertschätzung der Mitarbeiter, soziale Kultur im Unternehmen, Gesellschaft, Recht und Politik)
12,41,47,48, 58,	Unternehmenskultur, Struktur und Umfeld	Aufbau- und Ablauforganisation
96	Unternehmenskultur, Struktur und Umfeld	Finanzierung und Kosten

Tabelle 32: Hauptkategorie: Mitarbeiter und Team

Index	Hauptkategorie	Unterkategorie
6,9,22,40,57,	Mitarbeiter und Team	Mitarbeiter-Know-how

76,86		
46,50,56,65	Mitarbeiter und Team	Mitarbeitermotivation

Tabelle 33: Hauptkategorie: Kunde und Anwender

Index	Hauptkategorie	Unterkategorie
9	Kunde und Anwender	Schulungen
111,112,113, 114,115	Kunde und Anwender	Nutzungsszenarien

Auf Basis der pragmatischen und analytischen Zusammenfassung der Erfolgsfaktoren in den oben gezeigten Kategorien und Unterkategorien kann man aus den Unterkategorien die Risikofaktoren und die dazugehörigen Minderungsmaßnahmen ableiten. Die Best Practice der Reifegradmodelle sowie die grüne Softwareentwicklung werden in den Minderungsmaßnahmen integriert und in Tabelle 34 bis Tabelle 38 veranschaulicht. Als Zusammenfassung der unten aufgeführten Tabellen können folgende Risiken identifiziert werden, die dazu dienen, das ganze Bild im Blick zu behalten:

- Mangelhaftes und unzureichendes Know-how, Einsatz, Anwendung und Akzeptanz des Projektmanagements; Methoden, Werkzeuge und Vorgehensmodelle innerhalb des Unternehmens und des Teams.
- Mangelhaftes und unzureichendes Know-how, Einsatz, Anwendung, Verständnis und Akzeptanz des Qualitäts- und Testmanagements; Philosophie, Methoden, Werkzeuge und Dokumentation innerhalb des Unternehmens und des Teams.
- Mangelhaftes und unzureichendes Know-how, Einsatz, Anwendung und Akzeptanz des Risikomanagements; Philosophie, Methoden, Werkzeuge und Ablauf über die Projektphasen innerhalb des Unternehmens und des Teams.
- Mangelhaftes und unzureichendes Know-how, Einsatz, Anwendung und Akzeptanz des Lieferantenmanagements; Philosophie, Lieferantenauswahl-Methoden, Werkzeuge innerhalb des Unternehmens und des Teams
- Mangelhaftes und unzureichendes Know-how, Einsatz, Anwendung und Akzeptanz der Entwicklungsmethoden und Werkzeuge – von der Idee und Planung des Produktes bis zur Anforderungsdefinition, Design, Implementierung, Test,

Auslieferung und Wartung und Dokumentation des Produktes innerhalb des Unternehmens und des Teams

- Unzureichende und mangelhafte Beachtung der technischen Unabhängigkeit des Produktes und Tests der Ressourcenverbräuche der Software auf der Zielhardware
- Mangelhafte und unzureichende Berücksichtigung der Wertschätzung der Mitarbeiter, sozialen Kultur im Unternehmen (interne Faktoren), Gesellschaft, Recht und Politik (externe Faktoren) innerhalb des Unternehmens und des Teams
- Unzureichende und mangelhafte Beachtung der Flexibilität des Produktes, zum einen bezüglich der technischen Aspekte (Anbindung an verschiedene Geräte) und zum anderen bezüglich kultureller und umweltrelevanter Aspekte (Datenschutz, Verschlüsselung, der globale Einsatz über kulturelle Grenzen hinweg und minimaler Ressourcenverbrauch (Energie) in der Nutzungszeit der Software)
- Mangelhafte und unzureichende frühzeitige Planung und Umsetzung der Aufbau- und Ablauforganisation innerhalb des Unternehmens und des Teams
- Mangelhafte und unzureichende Kommunikation und Abstimmung mit den Zulieferern (Zahlungsmodalitäten, Liefertermine, Fristen und Qualität)
- Unpassendes und unzureichendes Know-how der Mitarbeiter innerhalb des Teams
- Unmotivierte Mitarbeiter innerhalb des Teams
- Mangelhaftes, unpassendes und unzureichendes Schulen von Benutzern und Kunden
- Mangelhafte, unpassende und unzureichende Produktinformationen bezüglich der Nutzung und einfachen Wartung und Löschung der Software in der produktiven Umgebung
- Fehlen der Interoperabilität der Software, so dass die Software unabhängig von fremden Ressourcen (z. B. Internetzugang) und in Kooperation mit anderen Produkten weiter funktionieren kann

Tabelle 34: Risiko als Fragestellung in der Hauptkategorie-Prozessebene

Unterkategorie (Risikominderungsansatz)	Risiken (Ziele der Minderungsmaßnahmen)	Minderungsmaßnahmen
Projektmanagement	<ul style="list-style-type: none"> - Kein ausreichendes Betriebskonzept - Falsche bzw. unrealistische Zeitplanung - Mangelhafte Projektkontrolle - Falsche bzw. unrealistische Budgetplanung und Schätzung - Projektleiterausfall bzw. Projektleiterwechsel - Keine Akzeptanz des Projektleiters - Unzureichende Einarbeitung von Mitarbeitern bzw. Projektleitern - Mangelhafte und späte Bindung von Kunden - Falsche Auswahl des Vorgehensmodells, so dass kein Nutzen / keine Akzeptanz entsteht 	<ul style="list-style-type: none"> - Entwicklung der Software wird gemäß eines phasenweisen Entwicklungsplans durchgeführt - Angemessene Schätzungen, Planung, Umsetzung, Steuerung und Abschluss des Projektes, welche die definierten Prioritäten nach Zeit, Kosten, Qualität und kleineren Meilensteinen berücksichtigen - Keine Beschäftigung von zusätzlichen Mitarbeitern, um Zeitpläne einzuhalten - Klare Festlegung zur Verantwortlichkeit des Kunden und seine rechtzeitige Einbindung, um die phasenweisen Lieferungen des Softwareproduktes abzunehmen, so dass keine häufig späteren Anforderungsänderungen zugelassen werden müssen
Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung	<ul style="list-style-type: none"> - Unzureichende und mangelhafte Festlegung 	<ul style="list-style-type: none"> - Planung von Qualitätssicherung

	<p>der Qualitätsmerkmale im Vorgehensmodell</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fehlende Testmentalität und Motivation im Team - Mangelhafte und unzureichende Testinfrastruktur - Falscher Einsatz des Testmanagements und Reporting - Unzureichendes Qualitätsbewusstsein der Mitarbeiter, so dass keine ständige Prozessverbesserung möglich ist 	<ul style="list-style-type: none"> - Permanentes Durchführen von Validierungen - Ständige Prozessverbesserung
Risikomanagement	<ul style="list-style-type: none"> - Unzureichende und mangelhafte Risikoidentifikation des Produktes und des Projektes - Fehlerhafte Risikobewertung und Abschwächung - Spekulationen über die Risiken des Projektes und Produktes, so dass keine vorausschauenden und präventiven Maßnahmen rechtzeitig geplant sind 	<ul style="list-style-type: none"> - Durchführung von aktiver Risikoanalyse in einzelnen Projektphasen (in der Vorphase, Planungs- und Umsetzungsphase)
Lieferantenmanagement	<ul style="list-style-type: none"> - Unzureichende Auswahl der Lieferanten 	<ul style="list-style-type: none"> - Auswahl der Lieferanten nach den Kriterien

	<ul style="list-style-type: none"> - Mangelhafte zugelieferte Komponenten und Produkte von externen Dienstleistern - Starke Abhängigkeit von externen Dienstleistern 	<p>Zuverlässigkeit, Qualität und Know-how</p> <ul style="list-style-type: none"> - Überprüfung und Genehmigung der Lieferanten
--	--	---

Tabelle 35: Risiko als Fragestellung in der Hauptkategorie Produktebene

Unterkategorie (Risikominderungsansatz)	Risiken (Ziele der Minderungsmaßnahmen)	Minderungsmaßnahmen
<p>Entwicklungsmethoden und Werkzeuge (Vorgehensmodelle, Anforderungsmanagement, Konfigurationsmanagement, Architektur, Integration, Qualitätssicherung, Dokumentation, Hardware)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Unklare Zielvorstellung des Projektes, Produktes und der verwendeten Werkzeuge - Sehr hohe Systemkomplexität - Unzureichende und mangelhafte Anforderungsqualität - Späte und falsche Einbindung des Benutzers und Kunden - Mangelhafte Definition von funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen - Spätes, unzureichendes und mangelhaftes Design von Gebrauchstauglichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> - Kontrolle stets wahren - Verwendung von modernen Programmiermethoden - Review als statische Methode einsetzen - Verwendete Technologie im Vorfeld beurteilen - Zu Beginn des Projektes akkurate, realistische, eindeutige, klare, abgestimmte und gute Anforderungen stellen - Ausreichend Zeit zur Verfügung stellen, um die Anforderungen zu erheben - Benutzer und Kunde früh einbinden und Ergebnisse früh liefern - Erstellung einer Produktspezifikation - Erstellung eines Prototyps für

	<p>(Usability)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hohe Veränderungsrate und Umfang der Anforderungen - Schlechter Softwareentwurf und mangelhaftes Domänenmodell - Mangelhafte Funktionalität und Vernachlässigung der Tests - Unzureichende und fehlende Benutzerakzeptanz - Technische Abhängigkeit - Unzureichende Dokumentation und mangelhafte Anwenderschulung 	<p>die Benutzerschnittstelle</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prioritäten während der Entwicklung stets definieren - Verwendung von Software-Konfigurationsmanagement - Integration der Software auf Basis einer Planung - Architektur der Software erstellen, um auf deren Basis die Entwicklung voranzutreiben - Kleine Projektteams bei der Entwicklung auswählen und Reduzierung der Komplexität der Ergebnisse - Vorhandensein von guten Erfahrungen und technische Machbarkeit der neuen Technik - Regelmäßiges Feedback vom Kunden, so dass die Akzeptanz durch den Kunden steigt (z. B. frühe Beachtung der Gebrauchstauglichkeit) - Vermeiden, dass Mängel spät entdeckt werden - Die Erneuerung von Software ist von der Hardwareerneuerung entkoppelt - Das Softwareprodukt muss modular aufgebaut sein, so dass nur Module im
--	--	---

		<p>Arbeitsspeicher landen, die nötig sind</p> <ul style="list-style-type: none">- Förderung der technischen Unabhängigkeiten, so dass keine Abhängigkeit zu einem Datenformat bzw. einer Plattform sowie Anbietern entsteht- Dokumentation der Software in Handbüchern- Dokumentation der Probleme während der Entwicklung, um den Wissensaufbau zu fördern- Förderung der Unix-Philosophie. Das bedeutet: nur eine Aufgabe pro Computerprogramm; Programme müssen zusammenarbeiten und eine universelle Schnittstelle benutzen- Förderung der Hardwareeffizienz bzw. minimaler Ressourcenaufwand, welcher indirekt durch die Beanspruchung der Hardware erfolgt (die benutzte Hardwarekapazität, beanspruchte Energie)- Förderung des Ressourcenmanagements
--	--	---

		<p>während der Laufzeit des Softwareproduktes. Das Ziel besteht darin, die beanspruchte Ressource (Energie) effizient zu verwalten. Abhängig von der Hardwarekapazität bzw. den Anforderungen des Nutzens kann das Softwareprodukt in einen sparsamen Modus übergehen.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Förderung der Abwärtskompatibilität - Förderung der Plattformunabhängigkeit und Portabilität
--	--	--

Tabelle 36: Risiko als Fragestellung in der Hauptkategorie Unternehmenskultur, Struktur und Umfeld

Unterkategorie (Risikominderungsansatz)	Risiken (Ziele der Minderungsmaßnahmen)	Minderungsmaßnahmen
Leitlinien, Ziele und Strategien (z .B. Wertschätzung der Mitarbeiter, soziale Kultur im Unternehmen, Gesellschaft, Recht und Politik)	<ul style="list-style-type: none"> - Machtkämpfe im Team oder im Unternehmen - Mangelhafte Kommunikation nach außen (Richtung Gesellschaft, Politik und Recht) - Unzureichende Rückendeckung und Unterstützung durch die Geschäftsleitung 	<ul style="list-style-type: none"> - Bemühen um klare Ergebnisverantwortung und Festlegung von Rollen im Team - Planung und Festlegung von Alternativen im Falle der Änderungen der politischen oder strategischen Ausrichtungen - Ständige Unterstützung des Managements

	<p>und Auftraggeber</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hohe Veränderungsrate der Ziele, Visionen und Projektabgrenzung - Budgetproblematik (falsche Schätzungen und unrealistische Zielvorgaben) - Mangelhafte Ressourcen (Mitarbeiter bzw. Material und Werkzeuge) 	<ul style="list-style-type: none"> - Vorhandensein von realistischen Erwartungen - Vorhandensein von Geschäftsstrategien, die dem Projekt sowie dem Produkt zugrunde liegen - Anforderungen und Ziele an das Projekt sowie das Produkt müssen klar, detailliert, abgegrenzt und abgestimmt sein, bevor man mit dem Projekt beginnt - Kein Austausch des Projektleiters bzw. Verantwortlichen des Projektes während der Projektlaufzeit - Unternehmens- und Sozialkultur sowie Eigenschaften der Mitarbeiter müssen beachtet werden - Förderung von schnellen Entscheidungen - Förderungen der digitalen Verfügbarkeit. Das Softwareprodukt muss nicht nur der ersten Welt bzw. gewissen Kreisen zugänglich sein, sondern für alle. - Förderung der digitalen Nachhaltigkeit. Nutzung von offenen Schnittstellen und
--	--	---

		<p>Datenformaten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Förderung von Knowledge Sharing. Globaler Einsatz über alle kulturellen und staatlichen Grenzen hinweg. - Erhöhung der Flexibilität (Anbindung an verschiedene Geräte) und des Datenschutzes durch Verschlüsselung - Energieeffizienz. Förderung des minimalen Verbrauchs von elektrischer Energie über die Nutzungszeit des Softwareproduktes - Faire Löhne und gute Arbeitsbedingungen (Remote, wenig Überstunden, ergonomische Arbeitsplätze, Kinderbetreuung und Ähnliches) - Auswahl von Lieferanten, die stark auf Nachhaltigkeit und ethische Leitlinien achten (insb. bei Lieferanten aus Entwicklungs- und Schwellenländern)
<p>Aufbau- und Ablauforganisation</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mangelhafte und unzureichende Kommunikation nach außen zum Management und 	<ul style="list-style-type: none"> - Einbindung des Managements in die ausgewählte Projektorganisation - Unterstützung des

	<p>innerhalb des Teams</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mangelhafte Kommunikation zwischen den Abteilungen des Unternehmens (Team und IT-Abteilung) 	<p>Projektmanagers durch das Management (Anbieten von freiem Raum und schnellen Entscheidungswegen)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Effiziente und wirksame Gestaltung und Kommunikation der Schnittstelle zwischen IT und Management - Förderung der Teamkommunikation
Finanzierung und Kosten	<ul style="list-style-type: none"> - Cashflow bzw. Liquiditätsprobleme der Zulieferer - Budgetproblematik bezüglich Zulieferer - Kommunikations- und Abstimmungsprobleme mit den Zulieferern 	<ul style="list-style-type: none"> - Beachtung der Zahlungskonditionen der Zulieferer (z. B. Cashflow bzw. Liquiditätsprobleme) - Beachtung und Festlegung der Kommunikationskanäle und Fristen mit den Zulieferern - Auswahlkriterien festlegen, was Termine, Fristen, Kosten, Qualität und Zuverlässigkeit der Zulieferer angeht

Tabelle 37: Risiko als Fragestellung in der Hauptkategorie Mitarbeiter und Team

Unterkategorie (Risikominderungsansatz)	Risiken (Ziele der Minderungsmaßnahmen)	Minderungsmaßnahmen
Mitarbeiter-Know-how	<ul style="list-style-type: none"> - Unpassendes Know-how der Mitarbeiter - Mangelhaftes Teamwork - Kommunikations- und Abstimmungsprobleme 	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz von weniger, aber guten Mitarbeitern - Besseres Einweisen von Mitarbeitern - Auswahl und Beschäftigung

	<p>innerhalb des Teams</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mitarbeiterfluktuation - Sprachbarrieren 	<p>von kompetenten Mitarbeitern, vor allem im Test und in der Abnahme</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ständiges Trainieren und Förderung der Weiterbildung der Mitarbeiter - Sicherstellen, dass qualifizierte Mitarbeiter immer zur Verfügung stehen
Mitarbeiter-Motivation	<ul style="list-style-type: none"> - Unmotivierte Mitarbeiter - Mitarbeiterfluktuation 	<ul style="list-style-type: none"> - Förderung der überdurchschnittlichen Anstrengungen der Mitarbeiter - Kleine Projektteams - Förderung der Motivation des Projektteams z. B. durch Teamevents - Bezahlung der Mitarbeiter für Überstunden

Tabelle 38: Risiko als Fragestellung in der Hauptkategorie Kunde und Anwender

Unterkategorie (Risikominderungsansatz)	Risiko als Fragestellung (Ziele der Minderungsmaßnahmen)	Minderungsmaßnahmen
Schulung	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Rate an Kundenbeschwerden - Budgetproblematik (Wartungskosten und Support) 	<ul style="list-style-type: none"> - Optimiertes Einweisen von Benutzern und Kunden
Nutzungsszenarien	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Rate an Kundenbeschwerden - Budgetproblematik (Wartungskosten und 	<ul style="list-style-type: none"> - Förderung von Transparenz (nachvollziehbarer Nutzen-Aufwand für den Endnutzer und faire Verwendung von

	<p>Support)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fehlende Interoperabilität der Software mit anderen Produkten bzw. in der Kundenumgebung - Mangelhafte Qualität der Produktinformation 	<p>Nutzerdaten innerhalb der Software) und Interoperabilität (die Möglichkeit anbieten, die erzeugten Daten mit anderen Softwareprodukten zu verwenden)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Förderung der Möglichkeit der Deinstallierbarkeit des Softwareproduktes ohne Nachteile und so, dass Daten gelöscht werden bzw. dass es für den Nutzer transparent ist, was gelöscht wird und was nicht - Förderung von einfachen Wartungsfunktionen, um Mängel und Fehler einfach und schnell zu beheben - Förderung von Offlinefähigkeiten, sodass das Softwareprodukt unabhängig von fremden Ressourcen weiter funktionieren kann - Erhöhung der Qualität von Produktinformationen, so dass der Benutzer über den ressourcenschonenden Betrieb des Softwareprodukts informiert wird, ohne gleichzeitig neue Ressourcen zu verbrauchen
--	---	--

2.3.2. Vorläufige Konzeption des Instrumentes

Um eine vorläufige Konzeption des Instruments zur Prognose des nachhaltigen Erfolges in der Entwicklung der Softwareapplikation entwickeln zu können sowie die Basis für eine empirische Voruntersuchung zu legen, bedarf es eine kritische Auseinandersetzung mit dem Literaturteil. Hiermit zielte die vorläufige Konzeption auf die Auflistung wesentlicher erarbeiteter Erfolgsfaktoren im Literaturteil, die den nachhaltigen Erfolg im betriebswirtschaftlichen Sinne positiv beeinflussen, ohne dabei einen direkten oder indirekten Zusammenhang messen zu können. Der Literaturteil strebte eine gezielte Darstellung ausgewählter Grundlagen an, die einen direkten sowie indirekten Einfluss haben. Dies wiederum diene der Erreichung der Ziele der vorliegenden Arbeit sowie zur Beantwortung der Forschungsfragen und Thesen. Neben der gezielten Betrachtung der ausgewählten Grundlagen diene die Literaturrecherche dazu, den Zusammenhang zwischen klassischen und grünen Erfolgsfaktoren sowie Risikofaktoren und grünen Softwareindikatoren in ihrer Einflussnahme zu untersuchen, zu indexieren und zu kategorisieren, um die Basis für eine Voruntersuchung abbilden zu können. Das Ergebnis des Literaturteils ergab, dass ein vorläufiges Instrument zur Risikominderung, Erfolgssteigerung und Lieferung konkreter Handlungsmaßnahmen sowie die Messung/Bestimmung des Berücksichtigungsgrades der Handlungsmaßnahmen vorläufig konzipiert werden können, indem grüne Softwareindikatoren im Risikomanagement eingesetzt werden, um sie als Minderungsmaßnahmen einzubeziehen. Eine weitere Vertiefung und Ausbreitung der Recherche würden dazu führen, dass die erzielten Ergebnisse sich wiederholen. Das Ergebnis des Literaturteils kann nur in standardisierten Werkzeugen in der praktischen industriellen Softwareentwicklung ihren Einsatz finden und bildet daher die Grundlage für die empirische Untersuchung der vorliegenden Arbeit. Die Risiken/Erfolgsfaktoren sowie Minderungsmaßnahmen wurden anhand der Literaturrecherche gründlich ausgearbeitet, so dass auf deren Basis die Minderungs- und Handlungsmaßnahmen abgeleitet worden sind. Am Ende des Literaturteils war festzustellen, dass sich die Ergebnisse für eine vorläufige Konzeption eignen, welches jedoch weitere Untersuchungen bedarf, um sie abzugrenzen bzw. konkreter abzubilden und neues Wissen zu generieren. Dies ist wiederum Aufgabe der empirischen Voruntersuchung.

Um ein vorläufiges Konzept aufzustellen, bedarf es eine Aufklärung über wesentliche praktische Werkzeuge, um deutlich hervorzuheben, warum der Literaturteil sowohl in der Praxis als auch als Grundlage für die Voruntersuchung der vorliegenden Arbeit notwendig war. Die folgenden praktischen Werkzeuge führen dazu, dass die Literaturerkenntnisse zielführend in ein vorläufiges Konzept überführt werden. Als Erstes werden das Risikomanagement und die Risikobewertung in der Softwareentwicklung betrachtet.

Die Aktivitäten des Risikomanagements beginnen in der Projektvorphase und durchlaufen alle Projektphasen, wie in Abbildung 22⁸ zu sehen (vgl. Morgenroth und Schmied, 2017). Die Risikobewertung stellt eine Funktion zwischen Eintrittswahrscheinlichkeit der Risiken und ihrer Schweregrade dar, wie in Abbildung 23 zu sehen ist. Dabei fließen die Wahrscheinlichkeiten der Gefährdung (mögliche Schäden) und die Gefährdungssituation (die Möglichkeit, dass ein Schaden entsteht) in die Gesamtbewertung als Risikoprioritätszahl (RPZ) (vgl. Heidenreich und Neumann, 2015, S. 31). Bei der Risikobewertung unterscheidet man zwischen qualitativer und quantitativer Bewertung.

Erstere dient der groben Einschätzung ohne genaue prozentuale Angabe der Risikobewertung (vgl. Morgenroth und Schmied, 2017). Im praktischen Risikomanagement der Softwareentwicklung ist es üblich, dass bei der Festlegung der Projekt- und Produktrisiken in der Projektinitiierungsphase (erste Risikoanalyse der Projektvorphase wie in Abbildung 22 zu sehen) eine Checkliste angefertigt wird. Die Darstellung der Checkliste stellt eine Risikomatrix dar, die in die Eintrittswahrscheinlichkeit der Risiken (Y-Achse) und den Schweregrad der Risiken (X-Achse) unterteilt wird.

Abbildung 24 zeigt eine übliche Darstellung der Risikomatrix, die in der Praxis angewendet wird. Dabei werden die Schweregrade und Eintrittswahrscheinlichkeiten in gerader Anzahl wiedergegeben.

⁸ Abbildung 22, Abbildung 23, Abbildung 24, Abbildung 25 werden wegen ihrer Größe auf zwei Seiten am Ende der textuellen Beschreibungen angehängt.

Die Risikoprioritätszahl ergibt sich aus der Multiplikation der Werte der X-Achse mit den dazugehörigen Wahrscheinlichkeiten aus der Y-Achse. Bei den Schweregraden gibt es vier Unterteilungen (gering=1, spürbar=2, ernst=3 und katastrophal=4). Demgegenüber stehen für die Eintrittswahrscheinlichkeiten die Unterteilungen (unwahrscheinlich=1, gering=2, möglich=3 und wahrscheinlich=4). Die Matrix selbst besteht aus 16 Feldern, welche in drei Bereiche eingeteilt werden: akzeptabel=grüner Bereich; akzeptabel, aber mit Minderungsmaßnahmen=gelber Bereich, und nicht akzeptabel=roter Bereich. Die Anzahl der Risiken, die durch ihre RPZ beschrieben und quantifiziert sind, werden in den Feldern der Risikomatrix in ihrer Anzahl eingetragen (siehe Abbildung 25). Die Festlegung der grünen, gelben und roten Bereiche leitet sich aus der Risikopolitik der Firma bzw. der Abteilung ab. Die anvisierten Ergebnisse der vorliegenden Arbeit setzen genau da an, indem quantifizierte Risiken zur Verfügung stehen, die durch die Festlegung der grünen, gelben und roten Bereiche in die Risikomatrix eingetragen werden können. Ein verantwortlicher Risikomanager bzw. Projektleiter legt die Bereiche von 1 (gering, unwahrscheinlich) bis 16 (katastrophal, wahrscheinlich) in den drei Kategorien (grün, gelb und rot) fest, so dass die quantifizierten Risiken vor und nach den Minderungsmaßnahmen gegenübergestellt werden können, um Risiko-Nutzen-Verhältnisse zu beurteilen und die Kommunikation an das obere Management in dieser Form zu ermöglichen. Dadurch können Entscheidungen und Planungen besser erfolgen, um Softwareentwicklungsprojekte nachhaltig und erfolgreich zu gestalten (vgl. Johannsen et al., 2017, S. 217–220). Als Zweites wird die Goal Question Metric (GQM) als systematischer Ansatz herangezogen, der bei der Entwicklung von Qualitätsmodellen in der Softwareentwicklung eingesetzt wird. Diese Vorgehensweise stellt eine Baumstruktur dar, die mit einem Blatt als Ziel (Goal) beginnt und sich über Fragen (Questions) als Knoten zu den unteren Blättern (Metric, auf Deutsch Metriken) fortpflanzt. Zum Schluss verfeinert sich diese Baumstruktur in Zählungen (Counts). Die Qualitätsmodelle lassen sich in der Softwareentwicklung durch die GQM entwickeln, indem man folgende Fragestellungen beantwortet (vgl. Basili und Rombach, 1988, S. 234; vgl. Dumke, 2003, S. 28–31; Ebert und Dumke, 1996):

- a. Was ist die Zielstellung? Was möchte man durch die Messung erreichen (Goal)?

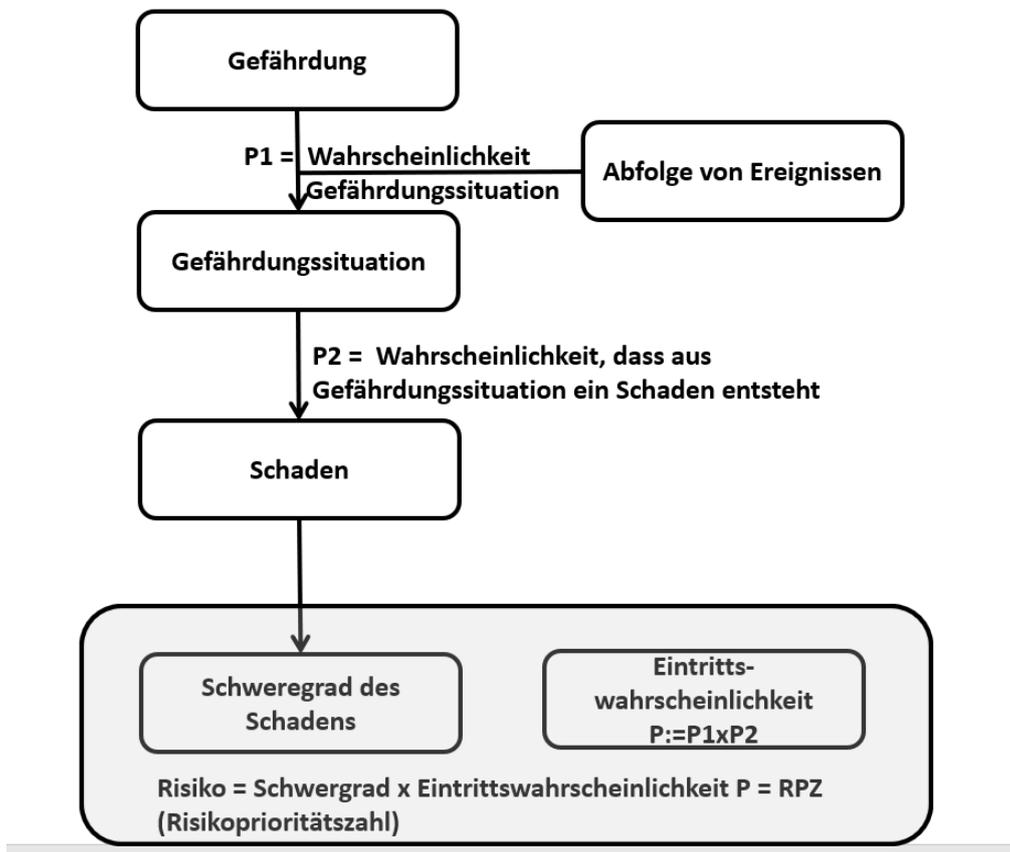


Abbildung 23: Gefährdung, Schaden, Risiko und RPZ nach der ISO 14971. Quelle: (Heidenreich und Neumann, 2015, S. 31)

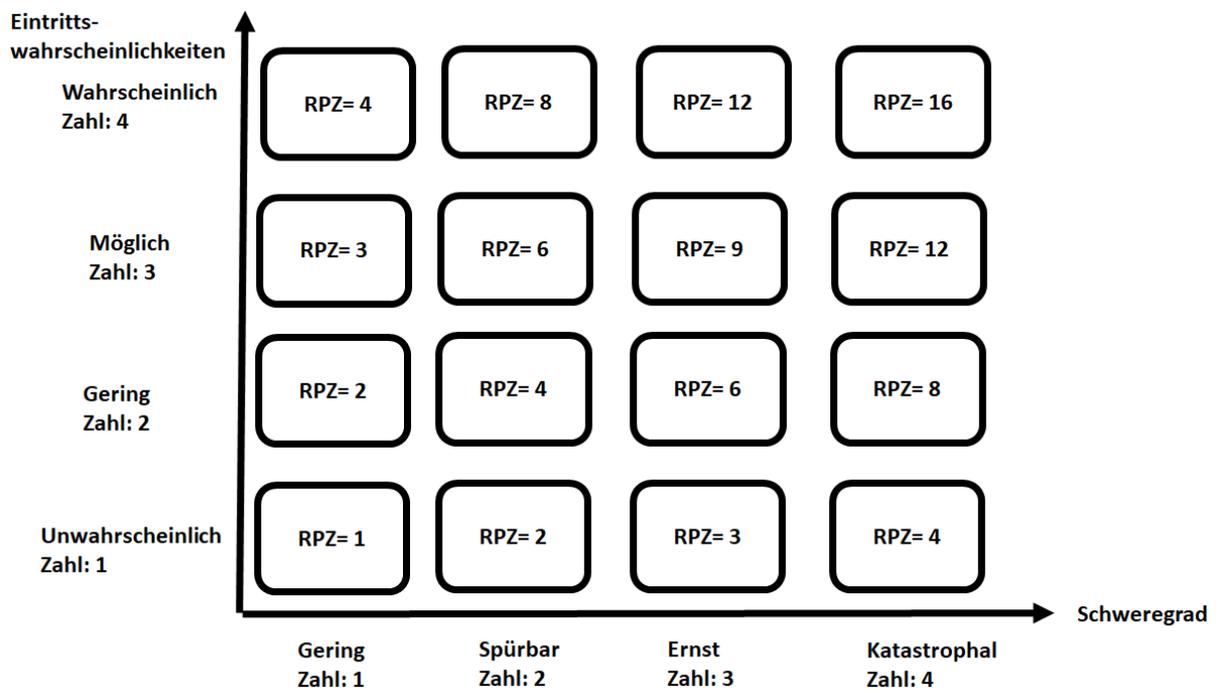


Abbildung 24: Risikomatrix. Quelle: eigene Darstellung angelehnt an (vgl. Johannsen et al., 2017, S. 217–220)

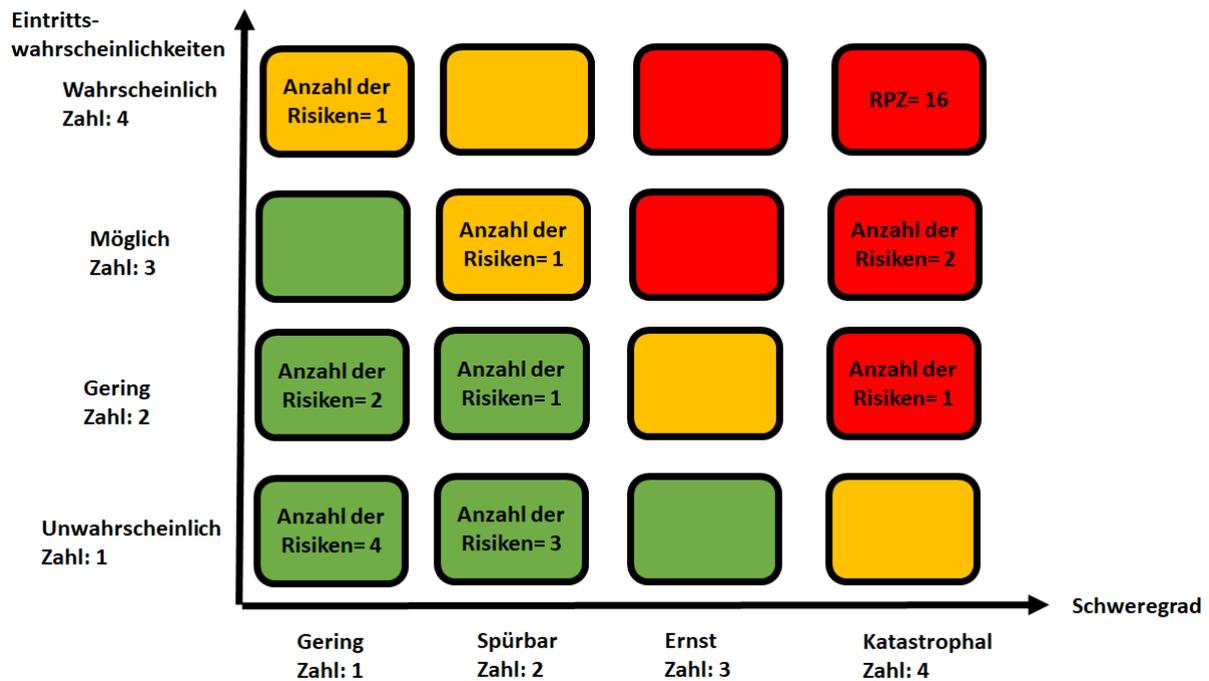


Abbildung 25: Risikobewertungsmatrix. Die Anzahl der Risiken, die in der Matrix eingetragen sind, sind rein fiktiv. Sie bilden die Anzahl der Risiken nach der Bewertung, also die Berechnung der RPZ. Quelle: eigene Darstellung angelehnt an (vgl. Johannsen et al., 2017, S. 217–220)

Die vorgestellten praktischen Werkzeuge bilden zum einen die Grundlage wie beim GQM-Ansatz, wenn eine Messung in der Softwareentwicklung ansteht, und zum anderen ein Risikomanagementwerkzeug welches in der praktischen Softwareentwicklung eingesetzt werden kann, wenn ein Nutzen-Risiko-Verhältnis ausgearbeitet werden soll. Die Ergebnisse des Literaturteils können bei der Entwicklung von Applikationssoftware nur durch solche praktischen Werkzeuge integriert werden, sodass sie praktisch in einem standardisierten Prognose des Erfolges in betriebswirtschaftlicher Hinsicht herangezogen werden können. Das vorläufige Instrument stellt die praktische Relevanz und die Bedeutung der Ergebnisse des Literaturteils in den Vordergrund, so dass die erarbeiteten Risiken und Erfolgsfaktoren und die ausgearbeiteten grünen Risikominderungsmaßnahmen die Basis für die empirische Voruntersuchung darstellen. Um ein empirisches Hypothesenmodell aufzustellen bzw. eine präzise Prognose abgeben zu können, die auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse beruht, die über den Status-quo der Literaturrecherche hinausgehen, bedarf es empirischer Forschung, um genauere Ergebnisse zu erzielen. Der empirische Teil der vorliegenden Arbeit versucht daher, die bis dahin erzielten Ergebnisse des Literaturteils zu bestätigen, zu quantifizieren und zu validieren.

3. Empirischer Teil: Entwicklung eines Instrumentes zur Messung des nachhaltigen Erfolges von Softwareentwicklungsprojekten

3.1. Methodisches Vorgehen

3.1.1. Grundlagen zum Forschungsprozess

3.1.1.1. Vorüberlegungen zum Forschungsprozess

Um das Instrument zur Messung des nachhaltigen Erfolges bei der Entwicklung von Softwareapplikationen, welches sowohl die Projektebene als auch die Produktebene betrachtet, zu entwickeln, wird im Rahmen der Untersuchung empirisch analytisch vorgegangen. Der Forschungsprozess teilt sich in eine empirische Voruntersuchung bzw. Vorstudie und in eine Hauptuntersuchung auf, wobei Methoden der empirischen Forschung und statistische Analysen eingesetzt werden. Speziell wird eine Kombination zwischen qualitativer Forschung (Voruntersuchung) und quantitativer Forschung (Hauptuntersuchung) ausgewählt, die ermöglicht, das Instrument unter Beachtung der Richtlinien eines qualitativen und quantitativen Forschungsprozesses ordnungsgemäß zu entwickeln und prüfen zu können. Dadurch wird es möglich, dass die Problemstellung der Arbeit und allgemeingültige Aussagen der Thesen über die persönliche Meinung und Erfahrung hinausgehen, so dass zum einen das Ziel des empirischen Forschungsprozesses erreicht wird und zum anderen die erbrachten Forschungsergebnisse intersubjektiv erarbeitet werden können. Somit kann sowohl in der Forschung als auch in der Praxis ein Wissensfortschritt erreicht werden (vgl. Stangel, 2017). Im Rahmen dieses Unterkapitels werden zuerst die Grundlagen und die Struktur des empirischen Forschungsprozess näher dargestellt, die sowohl für qualitative als auch quantitative Forschung gültig sind. Anschließend werden das allgemein gültige Forschungsdesign, die Erhebungsverfahren und die Auswertungsmethoden der qualitativen und quantitativen Untersuchung dargestellt.

Die Inhalte dieses Kapitel sind an primäre und sekundäre Literatur angelehnt, die das Studienmaterial für den Studiengang Business Administration in mittelständischen Unternehmen an der Carl von Ossietzky Universität ausgearbeitet hat (vgl. Litz und Rosemann, 2010a; vgl. Rübken und Wetzel, 2017).

Empirische Methoden zu verwenden, bedeutet, erfahrungsorientiert vorzugehen. Das Wort Empirie (im Griechischen „empeiria“) steht für Erfahrung. Die Ergebnisse einer empirischen Forschung beziehen sich auf Aussagen, die auf Erfahrungen basieren. Empirische Verfahren zählen zur Kategorie der Zähl- und Messverfahren. Dabei werden Aussagen über Phänomene der Wirklichkeit überprüft. Diese Aussagen (Hypothesen) zu überprüfen bedeutet gültiges Wissen. Faktoren, die die Aussagen verfälschen können, werden falsifiziert, da der Zugang zur Wirklichkeit nicht möglich ist. Die Überprüfungsergebnisse können die Hypothesen bestätigen, um für Erklärungen und Problemlösungen herangezogen bzw. mehrfach wiederlegt zu werden, so dass die Hypothesen dann aussortiert werden (vgl. Bortz und Döring, 2015, S. 4–5); (vgl. Rübken und Wetzel, 2017, S. 9).

Nach ROST verfolgen empirische wissenschaftliche Untersuchungen folgende drei Ziele (vgl. Rost, 2017):

- Beschreibung, Ordnung und Quantifizierung der untersuchten Phänomene
- Das Aufstellen von Regeln soll diese Phänomene erklären und vorhersagen.
- Die Anwendung der Untersuchungsergebnisse soll eine Optimierung des untersuchten Verhaltens beeinflussen, so dass sie den zukünftigen Entscheidungen korrektiv zur Verfügung steht.

Um die unterschiedlichen Verfahren und Methoden der empirischen Forschungsarbeit verstehen zu können, soll an dieser Stelle eine grobe Struktur einer empirischen Forschungsarbeit von der Problemstellung bis zur Auswertung und Publikation der Ergebnisse präsentiert werden, die sowohl für die qualitative, quantitative Forschung als auch für die Mischformen gilt. Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Prozess der empirischen Untersuchung folgende Arbeitsschritte beinhaltet (vgl. Eco, 2010; vgl. Karmasin und Ribing, 2012; vgl. Litz und Rosemann, 2010a):

- Problemstellung (Entstehungsgründe wie z. B. eigene Erfahrungen und Entwicklung)
- Entwicklung des theoretischen Rahmens
- Konzeptuelle Phase
- Operationalisierung (Entwicklung des Messinstrumentes)
- Untersuchungseinheit auswählen
- Datenerhebung
- Datenauswertung
- Dateninterpretation
- Publikation der Ergebnisse

Für die Durchführung einer empirischen Forschungsarbeit können Methoden und Techniken der empirischen Sozialforschung abhängig von der Problemstellung eingesetzt werden. Dabei unterscheidet man zwischen qualitativen und quantitativen Forschungsrichtungen. Beide methodologische Richtungen sind laut WOLF und PRIEBE in einigen Punkten unterschiedlich, können sich aber gegenseitig nicht ausschließen. In der Praxis wird meist eine Kombination der beiden Richtungen (qualitative und quantitative Forschung) verwendet, da man beide Ansätze nicht trennen und voneinander abgrenzen kann (vgl. Wolf et al., 1995, S. 318). Qualitative und quantitative Ansätze unterscheiden sich in spezifischen Besonderheiten. Quantitative Forschung agiert objektbezogen, numerisch und statistisch, indem sie versucht, Erklärungen und Ursache-Wirkungszusammenhänge zu identifizieren. Qualitative Forschung rückt das subjektive Verständnis der Zusammenhänge in den Vordergrund und versucht, sie interpretativ textuell zu veranschaulichen. Das Untersuchungsumfeld quantitativer Forschung legt Wert auf Experimente im Labor, während qualitative Forschung die natürliche Umgebung anvisiert (vgl. Lamnek und Krell, 2010). Die quantitative Forschung betrachtet objektiv die Realität und erfasst sie mit kontrollierten Methoden. Dabei setzt sich das quantitative Paradigma das Ziel, Wirklichkeitsphänomene als Modell, Wechselwirkungen und numerische Daten genau zu erfassen, um sie vorhersagbar zu machen. Das wird sowohl durch Zerlegen der Realität in messbare Einheiten als auch durch die Definition der Realität als Beobachtungseinheit erreicht. Das quantitative Vorgehen ist deduktiv, indem theoriegeleitet Daten gesammelt werden. Dabei sollen die Gütekriterien (Objektivität, Reliabilität und Validität) während des Forschungsprozesses beachtet werden, damit die vorangestellten Theorien und Hypothesen

sicher unter einem standardisierten Prozess geprüft werden können. Die quantitative Forschungsmethode wird jedoch oft kritisiert, da sie das Subjekt nicht im Fokus hat und mehr an der strengen mechanistischen Vorgehensweise festhält, wo oft ihre Praxistauglichkeit in Frage gestellt wird. Nichtsdestotrotz ist quantitative Forschung sehr gut geeignet, wenn für den Untersuchungsgegenstand ausreichend Kenntnisse vorhanden sind, um Hypothesen über die möglichen Zusammenhänge zu generieren und ein theoretisches Modell aufzustellen (vgl. Bortz und Döring, 2015, S. 93–96). Die qualitative Forschung setzt ihren Fokus auf das Subjekt bzw. das menschliche Subjekt als Untersuchungsgegenstand, um Fehlinterpretation und Verzerrungen zu vermeiden. Sie sucht den direkten Zugang zu den Akteuren, wie z. B. durch ein persönliches Interview. Ein wesentliches Merkmal dieser Forschungsrichtung ist die holistische Vorgehensweise, wo das Untersuchungsumfeld die natürliche Umgebung der Betroffenen ist. Ein weiteres Merkmal ist ihre Offenheit, um flexibel auf Unvorhersehbares zu reagieren. Weiterhin können unbekannte Aspekte besser kontrolliert werden. Die Datenauswertung erfolgt interpretativ, da die Annahme verfolgt wird, dass Untersuchungsgegenstände subjektive Absichten darstellen, deren Bedeutung unterschiedlich interpretiert werden können (vgl. Mayring, 2002, S. 25ff). Zusammenfassend ist die qualitative Forschungsrichtung hypothesengenerierend und kann eingesetzt werden, um eine Theorie schrittweise zu entwickeln (vgl. Winter, 2017). Die Objektivität ist jedoch meist ein Kritikpunkt qualitativer Forschung, da die Interpretation nicht kontrollierbar ist. Laut WINTER ist sie am besten geeignet, wenn man individuelle Meinungen und Eindrücke differenziert und ausführlich beschreiben möchte (Röbken und Wetzel, 2017, S. 13); (vgl. Hussy et al., 2013). Die Entscheidung für die eine oder andere Forschungsrichtung im Forschungsprozess (also qualitativ, quantitativ oder eine Kombination der beiden) hängt sehr stark vom Forschungsgegenstand ab. Beide Richtungen haben Vor- und Nachteile. Entscheidend bei der Auswahl der Forschungsrichtung ist die Unterscheidung der Erhebungsmethoden und Auswertungsverfahren beider Paradigmen (qualitativ und quantitativ), da sie Rahmenbedingungen, Ablauf und klare Kommunikationsregeln zwischen Untersuchungsobjekt und Forscher darstellen. Eine grobe Übersicht über das Forschungsdesign, die Erhebungstechniken und Auswertungsverfahren wird in den kommenden zwei Unterkapiteln gegeben (vgl. Müller und Haeger, 2010, S. 35); (vgl. Röbken und Wetzel, 2017, S. 16).

3.1.1.2. Qualitativer Forschungsprozess (Design, Datenerhebung und Auswertung)

Im Rahmen dieses Kapitels wird auf das häufig verwendete qualitative Forschungsdesign, das Erhebungsverfahren und die Auswertungsmethoden eingegangen, die für die Praxis relevant sind.

3.1.1.2.1 Qualitatives Forschungsdesign

Beim Forschungsdesign werden folgende, häufig in der betrieblichen Praxis eingesetzte, Forschungsdesigns betrachtet:

- Einzelfallanalyse
- Feldforschung
- Dokumentenanalyse
- Aktionsforschung
- Evaluationsforschung

Dabei wird der Fokus der Betrachtung von qualitativen Forschungsdesigns auf die Vorgehensweise, zentralen Aspekte und Möglichkeiten zu deren Anwendung gelegt. Einzelfallstudien behandeln einzelne Fälle wie z. B. eine Person, eine Familie oder eine Veranstaltung. Die Einzelfallstudie ist eine der häufigsten ausgewählten Forschungsdesigns qualitativer Forschung in der Soziologie. Sie setzt das Ziel, unbekanntes Wissen über einen Menschen (z. B. Mitarbeiter eines Unternehmens) in einem bestimmten Kontext zu verstehen, um Ideen über den Fall zu generieren, so dass dieser in seiner Komplexität rekonstruiert und abgebildet werden kann. Dieses Forschungsdesign bietet sich an, wenn ein Fall in seinem Umfeld sehr gründlich analysiert werden soll. Nach MAYRING kann das Vorgehen der Fallanalyse in fünf Schritten abgebildet werden (vgl. Mayring, 2002, S. 43–44):

- Jede Fallstudie beantwortet eine Forschungsfrage, die ganz am Anfang definiert werden soll.
- Auswahl von geeigneten Fällen zur Studie (extrem, ideal und ein seltener Fall)
- Festlegung von Methoden, die zur Datenerhebung herangezogen werden
- Strukturierung des Falls, indem die erhobenen Daten aufbereitet werden

- Datenauswertung, Zuordnung der Ergebnisse in einem Zusammenhang und Vergleichen der Ergebnisse mit anderen Fallstudien und Theorien, um die Gültigkeit der Ergebnisse zu überprüfen

Bei der Feldforschung bzw. deskriptiven Feldforschung handelt es sich um die Beteiligung der Forscher an der natürlichen Umgebung der Betroffenen. So lassen sich die Forschungserkenntnisse von innen aus Sicht der Untersuchungsobjekte genau erfassen. Die teilnehmende Beobachtung stellt die wichtigste Datenerhebungsmethode der Feldforschung dar. Damit wird erreicht, dass die Forschungsergebnisse nicht durch den Forscher beeinflusst werden (vgl. Girtler, 2001). Dieses Forschungsdesign hat Vor- und Nachteile. Zu den Vorteilen gehört der leichte Zugang zum Forschungsgegenstand. Man braucht durch teilnehmende Beobachtung keine Erlaubnis von den Betroffenen, an Geschehnissen in der natürlichen Umgebung teilzunehmen. Dadurch reduziert sich das Reaktivitätsproblem drastisch. Dies bedeutet, dass Verzerrungen und Verfälschungen der Ergebnisse durch Betroffene nicht vorkommen bzw. minimal sind (vgl. Hussy et al., 2013, S. 57). Zwei Nachteile stehen den Vorteilen jedoch gegenüber. Zum einen muss der Forscher immer besorgt arbeiten, da er entdeckt werden kann; zum anderen kann die teilnehmende Beobachtung ethische Probleme verursachen, da ohne Erlaubnis die Privatsphäre der Untersuchungsobjekte verletzt werden könnte (vgl. Bryman, 2012, S. 4435f). Laut HUSSY ET AL. gliedert sich die Feldforschung in die folgenden fünf Schritte (vgl. Hussy et al., 2013, S. 205ff):

- Forschungsfrage und Problemstellung müssen vor Beginn der Untersuchung definiert sein.
- Kontakt zur verantwortlichen Person in der natürlichen Umgebung aufbauen, um einen Zugang zu bekommen.
- Sammeln von Material durch beobachtende Teilnahme an der natürlichen Umgebung der Untersuchungsobjekte.
- Beenden der teilnehmenden Beobachtung, indem sich der Forscher unbemerkt aus dem Feld zurückzieht.
- Datenauswertung, indem der Forscher die teilnehmende Beobachtung protokolliert und im Anschluss analysiert. Hier stehen Mittel wie Codierung oder qualitative Inhaltsanalyse zur Verfügung.

Ein weiteres Forschungsdesign der qualitativen Forschung stellt die Dokumentenanalyse dar. Sie gehört zu den non-reaktiven Verfahren, da die Lösung der Problemstellung nicht durch Datenerhebungsverfahren (wie z. B. teilnehmende Beobachtung) erfolgt, sondern durch bereits vorhandenes Material wie Zeitungsberichte, Videoaufnahmen oder Tagebücher. Zu den Vorteilen dieses Forschungsdesigns gehören zum einen, dass die Messergebnisse durch den Forscher wie bei der teilnehmenden Beobachtung nicht beeinflusst werden können; zum anderen kann bei der Analyse des Forschungsgegenstandes vielfältiges Material eingesetzt werden. Die Dokumentenanalyse gliedert sich wie folgt (vgl. Mayring, 2002, S. 48):

1. Vor Beginn der Untersuchung sollen die Problemstellung und Fragestellung festgelegt sein.
 - Festlegung der Kriterien, die erfüllt sein sollen, um sie in der Untersuchung einbinden zu können. Dazu gehört, dass die Dokumente wie bei der Literatursauswahl kritisch hinterfragt werden.
 - Das gesammelte Material muss interpretativ ausgewertet werden.

Alle bis jetzt behandelten Forschungsdesigns agieren wertneutral. Bei der Handlungs- bzw. Aktionsforschung werden konkrete Probleme gemeinsam durch Forscher und Praktiker angegangen, um die Praxis zu verändern. Folgende Merkmale nach HUSSY ET AL. sind bei der Handlungsforschung von zentraler Bedeutung (vgl. Hussy et al., 2013, S. 208):

- Man versucht, ein praktisches Problem zu lösen.
- Man versucht, die Praxis zu verändern, um das Problem zu lösen. Ein Veränderungsprozess wird in die Praxis umgesetzt.
- Forscher und Praktiker arbeiten gemeinsam und gleichberechtigt an der Lösung und Praxisumsetzung.
- Unmittelbare Evaluierung der Forschungsergebnisse, die in die Spirale des Forschungsprozesses einfließen.

Im Unterschied zur Handlungsforschung, bei der nicht in die Praxis eingegriffen wird, steht die qualitative Evaluationsforschung. Dabei werden Veränderungen einer Organisation durch eine Maßnahme oder die Wirkung eines organisatorischen sozialen Programms bewertet und beurteilt. Schematisch lässt sich die qualitative Evaluationsforschung laut MAYRING wie folgt beschreiben (vgl. Mayring, 2002, S. 62):

- Evaluationsforschung beginnt mit dem Design. Das bedeutet, Beurteilungskriterien aufzustellen, um die Wirksamkeit der Veränderung zu überprüfen.
- Festlegung der Ziele der Veränderung bzw. neuer Maßnahmen, um sie überprüfen zu können.
- Festlegung von Messindikatoren, um zu messen, ob die Ziele erreicht sind.
- Evaluierung, Analyse und Betrachtung der Praxisveränderung, um zu beurteilen, ob weitere Maßnahmen umgesetzt werden sollen.

3.1.1.2.2 Qualitative Datenerhebung

Nachdem das Forschungsdesign festgelegt ist, überlegt sich der Forscher, welche Daten notwendig sind und wie sie erhoben werden sollen, um die Problemstellung zu bearbeiten. Die qualitative Forschung bietet sowohl sprachliche (z.B. Interviews) als auch visuelle (Beobachtung) Erhebungsverfahren.

Folgende drei Erhebungstechniken der qualitativen Forschung werden näher erläutert:

- Leitfadeninterview
- Narratives Interview
- Gruppendiskussion

Eine Abgrenzung der Begrifflichkeiten, wie das offene Interview, unstrukturierte Interview und das qualitative Interview, ist notwendig, um die Erhebungstechniken besser einzuordnen. Die Beschreibungen und Abgrenzungen sind in Tabelle 39 zu sehen (vgl. Mayring, 2002, S. 66f).

Tabelle 39: Abgrenzung der Begrifflichkeiten zum Experteninterview

Art des Interviews	Beschreibung und Abgrenzung
Das offene Interview	Der Unterschied zum geschlossenen Interview besteht darin, dass dem Befragten Freiheitsgrade zur Verfügung stehen, so dass die Antworten auf die Fragen frei formuliert werden können.
Das unstrukturierte Interview	Der Unterschied zum strukturierten Interview besteht darin, dass dem Interviewten ein flexibler Fragenkatalog vorgelegt wird, bei dem mehr Freiheitsgrade bei den Antworten zur

	Verfügung stehen.
Das qualitative Interview	Der Unterschied zum quantitativen Interview besteht darin, dass bei der Auswertung rein qualitativ-interpretative Methoden zum Einsatz kommen.

Ein Leitfadeninterview kombiniert das standardisierte und offene Interview, so dass die Fragen während des Gesprächsverlaufs an die Situation und Antworten angepasst werden. Es wird als teilstandardisiertes Interview bezeichnet, wobei Fragen des Leitfadens als Strukturierungshilfe dienen. Der Ablauf des Interviews ist abhängig von den Fragearten, die typischerweise in drei verschiedenen Kategorien gestellt werden (vgl. Hussy et al., 2013, S. 225f):

1. Einleitung: Fragen zum „Warm werden“, um eine angenehme Gesprächsatmosphäre mit dem Befragten zu schaffen.
2. Strukturierte Leitfadenfragen: bilden den Kern des Interviews. Durch eine sorgfältige Vorbereitung werden diese Fragen vor dem Interview ausgearbeitet.
3. Ad-hoc-Fragen: spontane Fragen, die sich aus dem Gespräch ergeben.

KVALE formuliert zehn Kriterien, die ein Interviewer erfüllen muss, um bei einem Leitfadeninterview hochwertige Daten zu erheben (vgl. Kvale, 1996).

1. Der Interviewer kennt sich sehr gut mit dem Thema des Interviews aus.
2. Die Struktur basiert auf einer Einleitung, strukturierten Fragen mit einer Zielstellung und rundet das Thema ab.
3. Klare, kurze verständliche Fragen stellen
4. Dem Befragten stets Zeit zum Ausreden und Nachdenken geben
5. Dem Befragten genau zuhören
6. Flexibel sein und Ad-hoc-Fragen stellen.
7. Der Interviewer steuert das Gespräch in Richtung der Zielstellung.
8. Kritisch den Antworten gegenüber sein
9. Herstellung eines Zusammenhanges, zu dem was der Befragte zuvor schon sagte.
10. Zusammenfassen und Interpretieren der Aussagen des Befragten

Im Gegensatz zum Leitfadeninterview werden beim narrativen Interview keine vorformulierten Fragen festgehalten, sondern nur Themenblöcke ausgearbeitet, die das

Thema abdecken und in Richtung der Problem- und Zielstellung steuern. Der Befragte erzählt und steuert das Interview, so dass unerforschte subjektive und latente Sinnstrukturen aufgezeigt werden. Die Konzeption dieser Erhebungstechnik ist vom Bielefelder Soziologen Fritz Schütze (vgl. Mayring, 2002, S. 74). Das narrative Interview besteht aus den folgenden Phasen (vgl. Hussy et al., 2013, S. 227f):

1. Beginn der Erzählung des Befragten
2. Zuhören der Hauptgeschichte
3. Stellen von Rückfragen durch den Forscher, falls etwas nicht klar ist
4. Stellungnahme und Bewertung des Befragten: die Erzählung zusammenfassen und durch den Befragten bewerten.

Im Gegensatz zum Leitfadeninterview und narrativen Interview stellt die Gruppendiskussion eine weitere Erhebungsmethode dar, bei der mehrere Befragte in die Untersuchung einbezogen werden. Die Gruppendiskussion ist geeignet, um kollektive Meinungen oder Einstellungen zu erheben. Sie hat Vor- und Nachteile. Zu den Vorteilen gehören wenig Ängste und emotionale Blockaden. Zu den Herausforderungen einer Gruppendiskussion gehört, dass der Interviewer der Moderationsfähigkeit bedarf, da Gruppeninteraktion im Vergleich zu einem individuellen Interview deutlich komplexer ist. Dazu kann die Menge der erhobenen Daten sehr schnell umfangreich werden, was die Analyse und Bewertung erschwert. Die Gruppendynamik und Koordination der Gruppendiskussion stellen weitere Herausforderungen dar (vgl. Bryman, 2012, S. 516ff; vgl. Hussy et al., 2013, S. 230f).

Nachdem der Forscher die Datenerhebung abgeschlossen hat, müssen die Daten aufbereitet werden (Transkription). Dabei bietet es sich an, den genauen Wortlaut der erhobenen Daten aufzuschreiben bzw. eine Zusammenfassung der Daten direkt bei der Verschriftlichung vorzunehmen. Weiterhin kann ein Gedächtnisprotokoll dazu dienen, Umstände der Gesprächssituation zu erfassen, so dass Eindrücke über das Interview bzw. Beobachtungen festgehalten werden, um sie bei der Auswertung heranzuziehen.

3.1.1.2.3 Qualitative Datenauswertung

Nachdem die Daten in schriftlicher Form erhoben sind, muss der Forscher entscheiden, welche qualitative Auswertungsmethode angewendet wird, um die Daten zu bearbeiten. Folgende drei Auswertungsverfahren werden näher erläutert, da sie für die vorliegende Arbeit und betriebliche Forschung besonders relevant sind:

- Codierung
- Qualitative Inhaltsanalyse
- Computergestützte Auswertungsmethoden

Das meistverwendete qualitative Auswertungsverfahren ist die Codierung. Der Forscher analysiert die erhobenen Daten mit einer spezifischen Fragestellung. Diese Tatsache grenzt die Codierung von hermeneutischen Verfahren ab, die die Gesamtbedeutung der erhobenen Daten im Visier haben. Codierung bedeutet, dass der Forscher in den erhobenen Daten nach bestimmten „Codes“ oder Etikettierungen sucht, um sie auf einer abstrakten Ebene zu beschreiben. Bei der Codierung geht man meistens induktiv oder explorativ vor. Induktiv, wenn die Codierungen und Querbezüge aus den Daten ausgearbeitet werden. Die induktive Vorgehensweise eignet sich sehr gut, wenn die erhobenen Daten zusammengefasst und die Originalaussagen auf einer abstrakten Ebene dargelegt werden. Die explorative Codierung bedeutet, dass der Forscher die Codes hinterfragt und zusätzlich Material zu den abstrakten Codes heranzieht, um die erhobenen Daten anzureichern, so dass neue Erkenntnisse gesammelt werden können (vgl. Hussy et al., 2013, S. 253).

Die Codierung ist eine sehr flexible Auswertungsmethode, was zugleich ein Vorteil und Nachteil sein kann. Sie eignet sich, wenn die erhobenen Daten heterogen sind, da individuelle Meinungen und Einstellungen berücksichtigt werden. Ein Nachteil besteht jedoch darin, dass es keinen einzigen richtigen Code gibt und Textmaterial unterschiedlich gelesen und interpretiert werden kann. Hier kann die qualitative Inhaltsanalyse nach MAYRING den Nachteilen der Codierung entgegenwirken, da sie eine standardisierte Form der Datenauswertung darstellt.

Die qualitative Inhaltsanalyse wurde in den 1980er Jahren entwickelt und bietet eine systematische Bearbeitung von erhobenen Daten. Das Vorgehen ist methodisch und kontrolliert. Der Forscher zerlegt das vorliegende Material in Einheiten und bearbeitet es

systematisch, indem Kategorien (wie bei der Codierung Code bzw. Etikett) anhand von Aspekten aus dem Material herausgearbeitet werden. In der sehr starken systematischen Vorgehensweise liegt auch der Unterschied zur interpretativen Hermeneutik oder Codierung. Dabei kann der Forscher induktiv, deduktiv oder deduktiv-induktiv bei der systematischen Erarbeitung von Kategorien vorgehen. Induktiv, indem aus dem ausgearbeiteten Material die Kategorien gebildet werden. Deduktiv setzt voraus, dass der Forscher theoretische Vorüberlegungen durch bereits vorhandene Forschungserkenntnisse einsetzt, um die Kategorien zu bilden. Deduktiv-induktiv geht der Forscher vor, wenn bereits aus der Literatur Ergebnisse vorliegen, die für die Kategorienbildung eingesetzt werden können (deduktiv). Durch das erhobene Material kann der Forscher die Kategorien ergänzen bzw. erweitern (induktiv). Die Zuordnung der Textpassagen zu den Kategorien bezeichnet man als Codierung (vgl. Rübken und Wetzel, 2017, S. 30–32).

Für die strukturierte Unterstützung der qualitativen Analyse und Bewertung können Computerprogramme eingesetzt werden. Diese PC-Programme stellen das Ergebnis der Forschungsarbeiten in Zentren qualitativer Forschung an Universitäten dar (vgl. Mayring, 2002, S. 138f).

- AQUAD von der Universität Tübingen. Detaillierte Informationen können von <http://www.aquad.de/index.html> gewonnen werden. Das Werkzeug bietet zeilenweise Codierung, Suchfunktionen und Memofunktion für Kommentare.
- ATLAS/TI von der TU Berlin. Detaillierte Informationen können von <http://www.atlasti.de> gewonnen werden. Das Werkzeug bietet Codierung buchstabenweise, Anbindung zu SPSS (Werkzeug zur quantitativen Analyse), Grounded Theory und qualitative Inhaltsanalyse.
- WINMAX ist ein weiteres Werkzeug und bieten wie die beiden davor ähnliche Funktionen. Detaillierte Informationen können von <http://www.quarc.de/winmax.html> gewonnen werden.

Um ein Forschungsprojekt anhand qualitativer Forschungsansätze erfolgreich durchführen zu können, bieten sich Gütekriterien an. So lässt sich der Forschungsprozess beurteilen. Laut MAYRING sind folgende Kriterien ausschlaggebend, um den qualitativen Forschungsprozess (Design, Erhebung und Auswertung) beurteilen zu können (vgl. Mayring, 2002):

- Dokumentation des Verfahrens: Das Ziel ist es, den Forschungsprozess (Forschungsdesign, Datenerhebung, Aufbereitung und Auswertung) bis ins Detail zu dokumentieren, so dass der Prozess für andere nachvollziehbar ist.
- Sicher argumentative Interpretation: Für die Formulierung der Interpretation gilt es, dass Argumente und theoriegeleitetes Vorwissen explizit dargelegt werden.
- Systematische Vorgehensweise: Offenheit gilt als Eigenschaft qualitativer Forschungsprozesse, nichtsdestotrotz soll das Vorgehen systematisch erfolgen. Das Material wird in Einheiten zerlegt und analysiert (Codierung bzw. Kategorienbildung).
- Nähe zum Gegenstand: Der Forscher hat Bezug zur Untersuchung und ist nah am Untersuchungsobjekt und an seinem Alltag.
- Kommunikative Validierung: Die gewonnenen Ergebnisse werden vom Beforschten überprüft, indem sie ihm zur Überprüfung vorgelegt werden.
- Triangulation: Verwendung verschiedener Datenquellen, Theorieansätze und Methoden, um unterschiedliche Lösungswege für die Fragestellung zu finden und zu bewerten.

Die Befolgung der oben genannten Kriterien, ob zusammen oder in Teilen, sichert die Forschungsergebnisse ab.

3.1.1.3. Quantitativer Forschungsprozess (Design, Datenerhebung und Auswertung)

Im Folgenden werden die Grundlagen und ausgewählte Methoden der quantitativen Forschung vorgestellt, die von der Systematik her an die Darstellung von HUSSY ET AL. angelehnt sind (vgl. Hussy et al., 2013).

Folgende quantitative Forschungsdesigns werden herangezogen und erläutert:

- Experiment
- Umfrageforschung
- Korrelationsstudien

Für die Erhebungsmethoden des quantitativen Forschungsprozesses werden folgende näher erläutert:

- Beobachten, Zählen und Messen
- Befragung und Rating
- Datenerhebung im Internet

Die Datenaufbereitung und ausgewählte Auswertungsmethoden quantitativer Untersuchungen werden erläutert. Folgende Aspekte bei der Bewertung quantitativer Untersuchungen werden näher beschrieben:

- Skalenniveau
- Häufigkeitsanalyse
- Analyse einzelner Parameter
- Streuungsmaße wie Standardabweichung und Varianz

Eine allgemeine Betrachtung der Gütekriterien quantitativer Untersuchungen schließt das Kapitel ab.

3.1.1.3.1 Quantitatives Forschungsdesign

Das Forschungsdesign „Experiment“ erlaubt als einzige Forschungsform, die kausalen Beziehungen zwischen den untersuchten Variablen zu überprüfen. Die untersuchten Variablen haben eine kausale Beziehung zueinander, wenn sie in einem empirisch nicht umkehrbaren und asymmetrischen Zusammenhang stehen. Ein Experiment stellt einen planmäßigen, wiederholbaren Vorgang dar, welcher systematisch die Bedingungen variieren und konstant halten kann. Der Forscher hält gewisse Bedingungen konstant und ändert

mindestens eine unabhängige Variable, um Änderungen bei der abhängigen Variable beobachten zu können (vgl. Klauer, 2006, S. 77ff). Um den Sachverhalt eines Experimentes zu verstehen und abhängige Variable und unabhängige Variable zu unterscheiden, werden folgende Experimente als Beispiel herangezogen. An einem Fließband möchte ein Forscher untersuchen, inwieweit die Beleuchtungsstärke die Leistungsfähigkeit eines Mitarbeiters am Fließband beeinflusst. Man manipuliert die unabhängige Variable (UV) „Beleuchtungsstärke“, um ihren Einfluss auf die abhängige Variable (AV) „Arbeitsleistung eines Mitarbeiters am Fließband“ zu untersuchen. Der Forscher teilt die Mitarbeiter nach einem Zufallsprinzip in Gruppen, die bei unterschiedlichen Beleuchtungsstärken am Fließband arbeiten. Durch die manipulierte unabhängige Variable „Beleuchtungsstärke“ beobachtet der Forscher bei möglichst konstanter Haltung aller anderen Variablen, wie sich die Arbeitsleistung je nach Beleuchtungsstärke ändert. Somit wird sichergestellt, dass der Forscher den eindeutigen Effekt der Beleuchtungsstärke auf die Arbeitsleistung interpretieren kann. Die unabhängige Variable „Beleuchtungsstärke“ wird vom Forscher manipuliert. Eine Messung im Experiment findet statt, wenn die Einwirkungen der unterschiedlichen Ausprägungen der unabhängigen Variable „starke bzw. schwache Beleuchtungsstärke“ auf die abhängige Variable „Arbeitsleistung“ gemessen werden. Dabei spricht man von einem einfaktoriellen Versuchsplan, da nur eine unabhängige Variable betrachtet wurde. Wenn mehrere unabhängige Variablen manipuliert werden, spricht man von einem mehrfaktoriellen Versuchsplan (vgl. Köller und Möller, 2008, S. 17). Kann nicht unter Laborbedingungen gearbeitet werden, so dass mehrere unabhängige Variablen manipuliert werden und nicht alle anderen Variablen konstant gehalten werden können, spricht man von einem Quasi-Experiment. Ein weiteres Beispiel hierzu stammt aus der betrieblichen Forschung und behandelt ein Experiment, bei dem ein Forscher Marketingmaßnahmen für ein Produkt in Supermärkten untersuchen möchte.

Der Forscher teilt die Supermärkte in Experimentalgruppe (Supermärkte mit Marketingmaßnahmen) und Kontrollgruppe (Supermärkte ohne Marketingmaßnahmen). Für die Untersuchung berücksichtigt der Forscher weitere unabhängige Variablen wie die Supermarktgröße und das sozioökonomische Umfeld, was von außen nicht manipuliert werden kann. In diesem Fall spricht man von einem Quasi-Experiment, was den Nachteil hat, dass sich die Bedingungen der untersuchten Objekte (Supermärkte) unterscheiden, was einen Einfluss auf die Messung ihrer Einwirkung auf die abhängige Variable haben kann. Wenn ein Supermarkt in einem reichen Stadtteil sich befindet, dann führt das dazu, dass ein

Produkt dort besser verkauft wird. Dies ist auf das soziökonomische Umfeld des Supermarkts zurückzuführen und nicht auf die Einführung der Marketingmaßnahmen. Um dieses Problem zu lösen, bietet sich die Baseline-Erhebung als Methode an. Dabei wird der durchschnittliche Verkauf des Produktes vor der Einführung der Marketingmaßnahmen in einem Supermarkt erfasst, um den Unterschied vor dem Experiment in der Experimentalgruppe und Kontrollgruppe zu erhalten. In diesem Beispiel spielen weitere Variablen bei der Untersuchung eine Rolle, deren Einfluss auf die abhängige Variable berücksichtigt werden muss. Dabei spricht man von Störvariablen wie Supermarktgröße, Umsatz und Produktvielfalt im Supermarkt. Die folgende Aufzählung fasst alle drei Variablentypen zusammen:

- **Unabhängige Variable:** Der Untersuchungsfokus liegt auf der unabhängigen Variable. Im Experiment wird die unabhängige Variable planmäßig manipuliert. In den obigen beiden Beispielen war die unabhängige Variable einmal die Beleuchtungsstärke sowie die Marketingmaßnahmen.
- **Abhängige Variable:** Der Gegenstand einer Untersuchung ist ihre Abhängigkeit von der unabhängigen Variable. In den obigen beiden Beispielen waren Arbeitsleistung und Verkaufszahlen die abhängigen Variablen.
- **Störvariablen:** Alle Variablen, die nicht planmäßig manipuliert werden können, bezeichnet man als Störvariable. Der Forscher versucht sie möglichst konstant zu halten. Im Fall des Beispiels der Marketingmaßnahmen waren Störvariablen die Lage des Einkaufszentrums sowie die Tageszeit während der Untersuchung (Durchführung des Experimentes).

Zu den nicht-experimentellen Verfahren zählt die Umfrageforschung, die häufig unter Markt- und Meinungsforschung bekannt ist. Wahlforschung gehört zu den beliebtesten Beispielen solch einer Forschungsmethode. Aus einer speziellen Forschungsfrage werden standardisierte Informationen gesammelt, was durch eine Befragung einer Stichprobe zu einer Population zustande kommt. Der Forscher erhebt ein repräsentatives Meinungsbild einer bestimmten Population. Die Bestimmung der Stichprobe hängt zum einen von den finanziellen Fragestellungen zur Erhebung und zum anderen von statistischen Überlegungen ab. Es wird stets angestrebt, einen Kompromiss zwischen finanziellen Grenzen und

statistischer Genauigkeit zu finden, so dass eine repräsentative objektive Aussage aus der Stichprobe zu der Population erhoben werden kann. Die Umfrageforschung ist anwendungsnah und wird im betrieblichen Umfeld sehr oft zur Erhebung und Auswertung von Informationen verwendet, um unternehmensbezogene Entscheidungen abzusichern (vgl. Hussy et al., 2013, S. 157). Die Bestimmung der Stichprobe spielt bei der anwendungsnahen Umfrageforschung eine wichtige Rolle. Die folgende Betrachtung bezüglich der Bestimmung der Stichprobe und wie man sie systematisch bzw. zufällig auswählt, ist an die Veröffentlichungen von HÖPFLINGER und HÄDER angelehnt (vgl. Häder, 2015, S. 170ff; vgl. Höpflinger, 2017, S. 167–169).

Eine Stichprobe bildet einen Ausschnitt aus einer Grundgesamtheit bzw. einer Population ab. Wenn ein Forscher z. B. untersucht, welche Faktoren die Einführung von neuen Bachelor- und Masterstudiengängen positiv beeinflussen, müssen alle Hochschulen auf der Welt befragt werden, da sie die Grundgesamtheit ausmachen. Da so ein Unterfangen sehr umständlich und schwer ist, beschränkt man sich auf die Auswahl eines Ausschnittes bzw. einer Stichprobe, die Rückschlüsse auf die Grundgesamtheit ermöglicht. Somit stellt die Bestimmung einer Stichprobe eine Herausforderung dar, um einen repräsentativen Ausschnitt zur Grundgesamtheit abbilden zu können. Um diese Herausforderungen zu bewältigen, bedient man sich folgender grundsätzlicher Formen zur Auswahl der Stichprobe:

- Einfache Variante, Zufallsstichprobe: Man zieht zufällig aus einer Kartei, in der jedes Mitglied der Grundgesamtheit vertreten ist, so viele Proben wie nötig. Diese Variante ist in der Praxis nur schwer umzusetzen, da Dateien, bei denen jedes Mitglied der Grundgesamtheit vertreten ist, schwer zugänglich sind.
- Systematische Zufallsstichprobe: Man zieht systematisch aus einer Kartei, in der jedes Mitglied der Grundgesamtheit vertreten ist, jedes x-te Mitglied. Das Problem der Praxistauglichkeit bleibt jedoch bei dieser Form der Stichprobenbestimmung bestehen, um eine genaue Abbildung der Grundgesamtheit zu ermöglichen.
- Quotenauswahl: Im Stichprobenplan werden einige im Vorfeld bedeutsame Merkmale der Zielgruppe (wie Geschlecht und Alter) im Verhältnis zur Grundgesamtheit in der Auswahl repräsentiert. Dies ermöglicht es, eine

systematische Zufallsauswahl nach den bekannten Merkmalen getrennt durchzuführen.

- Klumpen und Mehrstufenverfahren: Diese Form wird meist in mündlichen Interviews eingesetzt, um Distanzprobleme bei der Untersuchung zu vermeiden, indem bei der Stichprobenauswahl „Klumpen“, also nur ein Anteil der Grundgesamtheit, berücksichtigt werden.

Eine weitere Form der nicht-experimentellen Forschungsmethoden ist die Korrelationsstudie, die das Ziel verfolgt, die Höhe und Art des Zusammenhangs zwischen bestimmten Variablen zu beschreiben. Die Art des Zusammenhangs ist entweder positiv oder negativ; die Höhe drückt sich mit Korrelationskoeffizienten aus. Diese Art der Forschungsmethoden ist bestens geeignet, um Relationen zwischen Variablen zu beschreiben, aber nicht zu erklären. Eine kausale Interpretation des Zusammenhangs ist nicht zulässig. Der Forscher kann eine Korrelationsmatrix bilden, wenn es mehr als zwei Variablen zu analysieren gilt. Die Matrix stellt Korrelationskoeffizienten dar, die zwischen -1 und +1 variieren können: +1 bedeutet einen maximalen positiven Zusammenhang und -1 einen maximalen negativen Zusammenhang.

3.1.1.3.2 Quantitative Erhebungsmethoden

Nachdem einige ausgewählte Forschungsdesigns quantitativer Forschungsmethoden behandelt wurden, werden nun einige ausgewählte Erhebungsmethoden näher erläutert. Das primäre Ziel der quantitativen Erhebungsmethoden besteht darin, das Verhalten der untersuchten Akteure numerisch zu erfassen. Zu den Erhebungsmethoden zählen Beobachtungen, Zählen, Messen, Befragungen (persönlich, telefonisch und schriftlich) und Online-Befragungen (die Möglichkeit, mittels des Internets Informationen zu erheben).

Beobachtungen werden oft eingesetzt, wenn der direkte Zugang zu dem Untersuchungsobjekt nicht möglich ist, um eine Befragung durchzuführen. Sie werden systematisch durchgeführt, indem vor der Untersuchung festgelegt wird, nach welchem Codierungsschema die Beobachtungen vom Forscher standardisiert durchgeführt werden. Darin liegt auch der Unterschied zur Beobachtung im alltäglichen Leben. Im Anschluss an eine Beobachtung werden Zähl- und Messverfahren angewendet, um die Intensität und Häufigkeit einzelner Ereignisse erfassen zu können. Ob Zählen oder Messen im Anschluss

einer Beobachtung eingesetzt werden, hängt vom untersuchten Merkmal ab. Bei diskreten Merkmalen wird gezählt (z. B. Verkaufsartikel), bei stetigen Merkmalen wird z. B. die Körpergröße gemessen. Der Forscher ermittelt vor der Datenerhebung das Skalenniveau bestimmter zu untersuchender Ereignisse, um zu entscheiden, ob Zählen (Häufigkeit des Auftretens) oder Messen (Ausmaß des Auftretens) zur Erfassung eines bestimmten Ereignisses geeignet ist (vgl. Hussy et al., 2013, S. 63ff). Können bestimmte Ereignisse wie Gefühle, Einstellungen eines Betroffenen, nicht durch Beobachtung erfasst werden, werden schriftliche oder mündliche Befragungen und Rating in der empirischen Forschung eingesetzt. Befragungen verlangen vom Forscher einiges an Vorwissen, da er bereits die Fragen und Antwortalternativen kennen muss. Um eine Befragung erfolgreich durchführen zu können, sollten einige Aspekte bei der Formulierung der Fragen beachtet werden. Folgende zusammengefasste Aspekte können berücksichtigt werden (vgl. Hussy et al., 2013, S. 76–77):

- Einfach, verständlich und klar formulierte Fragen (die Sprachgewohnheiten der Zielgruppe beachten),
- Ordnung festlegen, also eine Einleitung mit Warm-up-Phase,
- Bezug zum Thema immer im Fokus behalten (eine Frage pro Sachverhalt),
- Die Fragen im Fragebogen müssen nicht mit NEIN beantwortet werden.

Rating stellt eine besondere Form der Befragung dar. Die Befragten beurteilen einen bestimmten Sachverhalt, indem sie die Fragen auf einer bestimmten Skala beantworten. Man bezeichnet die Fragen im Rating auch als Items. Diese können sowohl als Frage als auch als Urteil formuliert werden, indem der Befragte dem Sachverhalt zustimmt oder ihn ablehnt. Dabei spielen bei der Konstruktion von Skalen auf Basis der Items, ob Frage oder Urteil, verschiedene Aspekte eine Rolle, um Urteilsfehler bzw. Verzerrungen bei der Verwendung von Ratingskalen zu vermeiden. Folgende Probleme treten häufig bei der Verwendung von Ratingskalen auf (vgl. Hussy et al., 2013, S. 79f):

- Tendenz zur Mitte: Vermeidung von Extremurteilen durch die Befragten, so dass der Befragte immer die Mitte des Skalenniveaus auswählt.
- Primacy Effekt: Die Reihenfolge der Items beeinflusst die Urteiltendenz der Befragten.
- Halo-Effekt: Wenn die Befragten verschiedene Merkmale beurteilen müssen, das Urteil aber nur von einem dieser Merkmale abhängt.

Um diese Probleme zu vermeiden, können folgende Aspekte herangezogen werden (vgl. Hussy et al., 2013, S. 74ff):

- Tendenz zur Mitte kann vermieden werden, indem der Befragte ausführlich über den Sachverhalt informiert wird.
- Der Primacy Effekt kann vermieden werden, indem die Reihenfolge der Fragen bzw. Items systematisch variiert wird.
- Der Halo-Effekt und alle zuvor genannten Probleme können vermieden werden, wenn bestimmte Aspekte bei der Konstruktion von Skalen berücksichtigt werden:
 - Die Skalen können unipolar sowie bipolar formuliert werden. Unipolare Skalen adressieren die Ausprägung eines Merkmals (wenig wichtig sehr wichtig), bipolare Skalen präsentieren einen Pol und Gegenpol bei der Ausprägung (ruhig angespannt).
 - Festlegung einer geeigneten Anzahl und einer geeigneten Kennzeichnung von Abstufungen bei den Ratingskalen. Anzahl der Abstufungen, gerade oder ungerade Anzahl von Abstufung. Die Kennzeichnung kann numerisch, verbal oder graphisch erfolgen.

Wenn Datenerhebungsmethoden unabhängig von der Distanz zwischen Forscher und Teilnehmer durchgeführt werden, bietet das World Wide Web als Datenerhebungsinstrument eine kostengünstige Lösung, die mit relativ wenig Aufwand eine hohe Anzahl von Versuchsteilnehmern erreicht. Mit der Datenerhebung im Internet kann der Forscher eine umfangreiche Stichprobe der Grundgesamtheit erreichen. Für die Zusammenarbeit zwischen Forschern bedeutet dies, dass die erhobenen Daten jederzeit für alle leicht zugänglich sind. Die Repräsentativität und Generalisierbarkeit der erhobenen Daten (Stichproben) zur Population leiden jedoch meist bei der Nutzung des Internets als Datenerhebungsmethode, da der Bildungsgrad und sozioökonomische Status der Teilnehmer eine entscheidende Rolle spielen, um bei einer Befragung im Internet teilnehmen zu können. Zumeist sind die Teilnehmer im Alter zwischen 20 und 40 Jahren und werden oft durch den Forscher selbst selektiert. Zusammenfassend bietet das Internet die Möglichkeit, viele Teilnehmer leicht zu erreichen, was zu Lasten der Repräsentativität und Generalisierbarkeit der gewonnenen Ergebnisse geht (vgl. Hussy et al., 2013, S. 108).

3.1.1.3.3 Quantitative Auswertung

Nachdem der Forscher die Daten erhoben hat, müssen diese in einer quantitativen Form zur Analyse überführt werden. Meistens werden die Daten in geeignete Zahlen (z. B. weiblich=1, männlich =2) überführt, um im Anschluss in ein bestimmtes Format in ein Statistikprogramm (z. B. SPSS oder STATA) übertragen zu werden. Einige Analysemethoden werden abhängig von der Organisation der Daten angewendet, um Hypothesen zu testen sowie Forschungsfragen zu beantworten. Die univariate Analysemethode betrachtet nur eine Variable und ermittelt univariate statistische Kennwerte. Häufigkeitsauszählungen, Mittelwertberechnungen, Anteilswerte und Streuungsmaße gehören zu den meistverwendeten Verfahren bei der univariaten Analysemethode. Die bivariate Analysemethode betrachtet zwei Variablen und ermittelt zum einen den Zusammenhang zwischen den beiden Variablen und zum anderen die Signifikanz durch einen Signifikanztest. Kreuztabellierungen, Korrelationen, bivariate Regressionen und Mittelwertvergleiche gehören zu den meist verwendeten bei der bivariaten Analysemethode. Die multivariate Analysemethode betrachtet mehr als zwei Variablen und verfolgt zwei Ziele. Zum einen werden die Zusammenhänge der Variablen auf Basis theoretischer Überlegungen überprüft (Deduktion), zum anderen werden die Zusammenhänge der Variablen entdeckt (Induktion). Partielle Korrelationen, multiple Regressionen, Varianzanalysen, Strukturgleichungsmodelle, Faktorenanalyse, Clusteranalyse und multidimensionale Skalierung gehören zu den meist verwendeten Verfahren der multivariaten Analysemethode (vgl. Hussy et al., 2013, S. 168).

Im Anschluss an die Datenaufbereitung werden die erhobenen Daten ausgewertet, um sie zu beschreiben und geeignet darzustellen, so dass allgemeine Aussagen über den Sachverhalt getroffen werden können. Der Forscher betrachtet bei der Auswertung der Daten nicht nur einen Fall, sondern macht Aussagen über alle Fälle, die über die Individualebene hinausgehen. Um sowohl separate Werte im Rahmen der Untersuchung zu bündeln als auch allgemeine zusammenfassende Aussagen zu treffen, wird die Deskriptivstatistik zur Lösung der Aufgabe eingesetzt. Dabei unterscheidet man zwischen univariater (Betrachtung einer einzigen Variable) und multivariater Deskriptivstatistik (Betrachtung mehrerer Variablen). Die Ergebnisse der Deskriptivstatistik können in Tabellen, Diagrammen und Graphiken visualisiert werden. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Deskriptivstatistik dazu dient, quantitative Daten auszuwerten. Dies ist erst möglich, wenn die Daten in einem

bestimmten Skalenniveau vorliegen, um unterschiedliche Rechenoperationen mit den Daten durchzuführen. Dabei unterscheidet man bei dem Skalenniveau der Daten zwischen verschiedenen Formen, die dementsprechend verschiedene Analysemethoden ermöglichen. Man unterscheidet zwischen nicht-metrischen Skalen und metrischen Skalen. Nominalskala und Ordinal-Skala gehören zur Gruppe der nicht-metrischen Skalen. Intervall-Skala, Verhältnis-Skala und Absolut-Skala gehören zur Gruppe metrische Skalen. Bei der Nominalskala besteht eine Äquivalenzbeziehung zwischen den Ausprägungen und ihrer numerischen Zuordnung. Ein Beispiel dafür wäre die Zuordnung der Ausprägung „männlich“ und „weiblich“ beim Thema Geschlecht zu den numerischen Zahlen „1“ und „2“. Bei einer Ordinalskala werden die Daten in eine Ordnung gebracht, so dass sie nach Wertigkeit sortiert werden. Ein Beispiel dafür wäre die Ordnung „sehr gut“, „gut“ und „ausreichend“ und ihre Zuordnung zu Ziffern wie „sehr gut=1“, „gut=2“ und „ausreichend=4“ bei Schulnoten. Der Forscher kann bei diesem Skalenniveau nicht beschreibend aussagen, dass die Schulnote „gut=2“ doppelt so gut ist wie ein „ausreichend=4“. Die Festlegung einer Intervall-Skala setzt jedoch voraus, dass die Skalenwerte identische und definierte Differenzen aufweisen. Ein Beispiel dafür wäre, dass die Temperaturdifferenz zwischen 15 und 10 die gleiche wie zwischen 25 und 20 ist. Bei der Verhältnis-Skala als Erweiterung der Intervall-Skala haben die Skalenwerte einen natürlichen Nullpunkt und stehen in einer proportionalen Beziehung zueinander. Dabei können beliebige Zahlen abgebildet werden. Im Gegenzug dazu können bei Absolut-Skalen nur ganze Zahlen vorkommen. Zusammenfassend ist Folgendes festzustellen: Je höher das Skalenniveau ist, desto mehr Rechenoperationen können darauf angewendet werden (vgl. Litz und Rosemann, 2010b). Zur Auswertung quantitativer, aufbereiteter Daten werden deskriptivstatistische Verfahren herangezogen. Dabei unterscheiden sich die festgelegten Kategorien und die zugeordneten Variablen in diskrete und kontinuierliche Variablen. Das Geschlecht nur mit den Ausprägungen „männlich“ und „weiblich“ gehört zur Gruppe der diskreten Variablen. Hat eine Variable unendlich viele Ausprägungsmöglichkeiten, spricht man von kontinuierlichen Variablen, die in Kategorienbreiten bzw. Intervallen festgelegt werden, so dass es unwahrscheinlich ist, dass ein Wert zwei Mal oder mehrmals vorkommt. Für diskrete sowie kontinuierliche Variablen können Häufigkeitsanalysen angewendet werden. Dafür eignen sich sowohl absolute Häufigkeitsanalysen als auch relative (oder prozentualen) Häufigkeitsanalysen, die z. B. in Tabellen, Balkendiagrammen oder Kreisdiagrammen veranschaulicht werden können. Eine weitere Anwendung der Häufigkeitsanalysen ist die Auswertung der kumulierten

Häufigkeiten, die meist bei ordinal skalierten Daten ihren Einsatz findet (vgl. Röbbken und Wetzel, 2017, S. 47–50). Eine weitere Analysemöglichkeit ist die einzelne Parameteranalyse, die Kennwerte bzw. Parameter der Ausprägung der Variablen in der Stichprobe zuordnet, um dann die Häufigkeit eines einzelnen Wertes in den erhobenen Daten (Modalwert) bzw. den Durchschnittswert (arithmetisches Mittel) zu berechnen. Weiterhin lässt sich die Abweichung der Werte voneinander berechnen. Man spricht bei dieser Abweichung vom Streuungsmaß, welche sich zum einen im Maße der zentralen Tendenz und zum anderen um Streuungsmaß unterscheiden. Erstere besitzt die drei Ausprägungen „Modus“, „Median“ und das „arithmetische Mittel“. Der Modus ist der häufigste Wert in den Beobachtungen, wenn die Daten gruppiert und geordnet vorliegen. Der Modus weist die absolute Häufigkeit eines Wertes unter der Beobachtung und wird bei ordinal skalierten Daten sowie allen höheren Skalenniveaus angegeben. Wenn es bei einer Verteilung nur einen Modalwert gibt, dann spricht man von einem unimodalen Wert. Bei zwei Modalwerten spricht man von bimodalen Werten. Der Median ist eine weitere Ausprägung im Maß der zentralen Tendenz. Bei einer geordneten Reihe der Beobachtungen liegen 50% der Werte unter und 50% der Werte über dem Median. Der Median ist ein tatsächlicher Wert, wenn die geordnete Beobachtung aus ungeraden Zahlen besteht.

Bei einer geraden Anzahl der geordneten Beobachtungen ist der Median das arithmetische Mittel der benachbarten Messwerte der Mitte der geordneten Beobachtung. Das arithmetische Mittel wird am häufigsten gegenüber Modus und Median eingesetzt, ist aber im Vergleich zu den beiden sehr empfindlich gegen Ausreißer. Eine andere umgangssprachliche Bezeichnung für das arithmetische Mittel ist der „Durchschnitt“. Wegen der Empfindlichkeit des Durchschnitts gegenüber Ausreißern reicht es bei der Auswertung quantitativer Daten nicht aus, nur Werte heranzuziehen, die auf die Durchschnittsbildung aufbauen. Hier kann die Streuung mit den beiden Ausprägungen „Standardabweichung“ und „Varianz“ eingesetzt werden, um die zu analysierenden Daten optimal zu analysieren. Standardabweichung beschreibt, inwieweit die beobachteten Werte von dem Mittelwert abweichen. Formal wird der Wert der Standardabweichung als Wurzel aus der Varianz definiert. Die Varianz hängt von der Entfernung der Werte vom Mittelwert ab. Wenn der Wert weit entfernt vom Mittelwert ist, dann ist die Varianz groß. Sie ist klein, wenn der Wert dementsprechend nicht weit vom Mittelwert entfernt ist. Formal ist die Varianz das Ergebnis aus der mittleren quadrierten Abweichung der individuellen Werte der Variable von ihrem Mittelwert (vgl. Röbbken und Wetzel, 2017, S. 49–51). Wie bei der Behandlung qualitativer

Forschungsmethoden gilt es, die Gütekriterien im Fall der quantitativen Forschung zu berücksichtigen. Dabei handelt es sich um die Einschätzung der Ergebnisse. Das Ziel ist, Maßstäbe festzulegen, anhand dessen die Forschungsergebnisse gemessen werden können. In der quantitativen Forschung spielen die drei folgenden Maßstäbe bei der Beurteilung der Ergebnisse eine entscheidende Rolle:

- Objektivität: Das Messinstrument ist unabhängig vom Untersuchenden.
- Reliabilität (Zuverlässigkeit): Wird das Experiment unter den gleichen Bedingungen wiederholt, kommt man zu den gleichen Ergebnissen.
- Validität (Gültigkeit): Ein Erhebungsinstrument muss das messen, was es messen soll bzw. was es zu messen vorgibt.

3.1.2. Mixed Methods als Forschungszugang der Arbeit

3.1.2.1. Grundlagen zu Mixed Methods

Die Kombinationen von qualitativen und quantitativen Forschungsprozessen als Mischformen werden im angloamerikanischen Raum als Mixed Methods bezeichnet (vgl. Buber und Holz Müller, 2007, S. 250). Abbildung 26 zeigt den sequenziellen als auch den parallelen Zugang mit einer Untergliederung in Methodendesign und Forschungsdesign. In der Darstellung in Abbildung 25 symbolisiert grundsätzlich ein Quadrat den quantitativen Forschungsprozess und ein Kreis den qualitativen Prozess. Dazu ist in der Abbildung deutlich erkennbar, dass die Vorgehensweise spiegelverkehrt denkbar ist. Das bedeutet, dass sowohl der quantitative Prozess als auch der qualitative Prozess als Erstes begonnen werden kann. Ein Unterscheidungsmerkmal in den Untergliederungen zwischen Methodendesign und Forschungsdesign ist ein vorgelagerter übergeordneter Teilprozess in der Konzeptionsphase. Dieser Teilprozess ist in Abbildung 26 als Meta-Fragestellung gekennzeichnet (vgl. Foscht et al., 2007, S. 115).

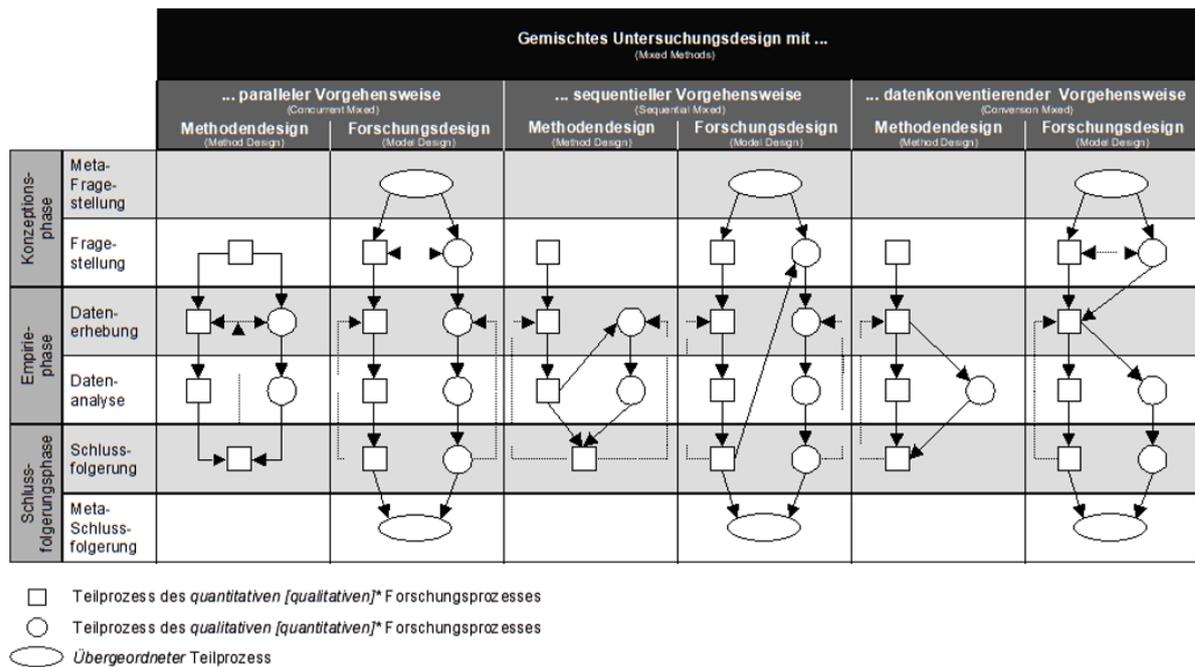


Abbildung 26: Mixed Methods mit ihren Vorgehensweisen. Quelle: (vgl. Buber und Holzmüller, 2007, S. 115)

3.1.2.2. Überblick und Argumentation der eingesetzten Methoden in der vorliegenden Arbeit

Der ausgewählte Zugang bzw. Forschungsprozess der vorliegenden Arbeit ist in Abbildung 26 unter der sequenziellen Vorgehensweise als Forschungsdesign dargestellt. Dabei dient der qualitative Zugang als Vorläufer eines quantitativen Zugangs. Werkzeuge beider Zugänge werden herangezogen, um zum einen die Thesen der Arbeit, die Risikoindikatoren und Kategorien sowie Minderungsmaßnahmen der nachhaltigen Softwareindikatoren qualitativ zu testen, abzugrenzen und zusammenzufassen und vor allem um neues Wissen zu generieren. Zum anderen bilden die ausgearbeiteten Ergebnisse aus dem Literaturteil die Basis für eine Voruntersuchung, um ein Leitfadeninterview mit Experten durchzuführen, so dass anschließend eine qualitative Inhaltsanalyse durchgeführt werden kann (siehe Abbildung 27). Die Ergebnisse der Voruntersuchung bilden eine Grundlage für die Hauptuntersuchung, was wiederum die Basis für eine Online-Befragung (quantitativ) schafft. Die Online-Befragung hat zum einen das Ziel, die Risikoindikatoren vor und nach den Minderungsmaßnahmen zu quantifizieren und zum anderen die Thesen der Arbeit quantitativ zu falsifizieren. Die Auswertung und Interpretation der Online-Befragung stellen das finale Ergebnis dar, um das erarbeitete Modell in eine praktische Anwendung

überführen zu können, so dass eine Prognose des nachhaltigen Erfolges ermöglicht werden kann.



Abbildung 27: Überblick der eingesetzten Methoden. Quelle: eigene Darstellung

Im Folgenden werden die eingesetzten Methoden detailliert behandelt. Dabei wird beschrieben, wie ihre Einordnung, Abgrenzung und ihre Vor- und Nachteile sowie wie der Umgang mit der empirischen Methode vorgesehen ist.

3.1.2.3. Experten Interview: Leitfadeninterview und qualitative Inhaltsanalyse

Ein Leitfadeninterview und die anschließende qualitative Inhaltsanalyse sind Mittel der qualitativen Forschungsmethoden, um Daten zu erheben und anschließend auszuwerten. Um sowohl das Leitfadeninterview als Datenerhebungsmethode als auch die qualitative Inhaltsanalyse besser verstehen zu können, muss als Erstes der Begriff „Interview“ definiert werden. Darauf aufbauend soll das Leitfadeninterview charakterisiert werden, um sich dann auf die Aspekte der Erstellung und Durchführung zu konzentrieren. Ein Interview ist eine systematische Methode mit einer wissenschaftlichen Zielstellung, bei der die Versuchspersonen durch gezielte Fragen zu einer Reaktion veranlasst werden (vgl. Aghamanoukjan et al., 2009, S. 415–417). Die Interviews unterscheiden sich im Grad ihrer Strukturierung. Wurden die Art der Fragen und ihre Reihenfolge sowie die Antwortmöglichkeiten im Vorfeld festgelegt, spricht man von einem standardisierten Interview. Diese Interviewart hat den Vorteil, dass mehrere Versuchspersonen leicht und relativ schnell befragt werden können, so dass die Ergebnisse problemlos verglichen werden können. Auf der anderen Seite mangeln standardisierte Interviews an Flexibilität, wodurch wichtige spontane Aspekte verloren gehen. Im Gegensatz zum standardisierten Interview bietet das offene (unstrukturierte) Interview mehr Spielraum und Flexibilität, so dass der

Interviewer keine festgelegten Fragen bezüglich Formulierung sowie Reihenfolge vorbereitet. Die Versuchspersonen können sich frei über einen bestimmten Sachverhalt äußern. Der Interviewer kann so eine Vielzahl von Informationen gewinnen und bei bestimmten Aspekten in die Tiefe gehen. Die Flexibilität ermöglicht einen hohen Informationsgewinn, hat aber auch den Nachteil, dass die Auswertung meist komplex ist und die Vergleiche der Ergebnisse aufwendig sind. Um die Vorteile der zuletzt genannten Interviewart nutzen zu können und die Nachteile zu minimieren, setzen Forscher bei der empirischen Datenerhebung eine Mischform des standardisierten und offenen Interviews ein. Das halbstrukturierte Interview nutzt einen Fragenkatalog bzw. Gesprächsleitfaden. Das Leitfadeninterview zählt zu diesen halbstrukturierten Interviews, denen Datenerhebungsmethoden der qualitativen Sozialforschung zugeordnet werden können.

In Abbildung 28 sind die Interviewformen mit ihren Charakteristika und Vor- und Nachteilen zusammengefasst (vgl. Flick et al., 2005, S. 349ff).

Interviewform	Charakteristik	Vorteil/ Nachteil
Offenes Interview	<ul style="list-style-type: none"> • Freies Antworten • Freies Formulieren 	<ul style="list-style-type: none"> • Viele Informationen • Schlechte Vergleichbarkeit
Halbstrukturiertes Interview	<ul style="list-style-type: none"> • Kein starrer Fragenkatalog • Fragen und Themen werden je nach Interviewsituation frei formuliert 	<ul style="list-style-type: none"> • Mehr Raum für eigene Formulierungen • Weniger Vergleichbarkeit
Standardisiertes Interview	<ul style="list-style-type: none"> • Formulierung, Reihenfolge der Fragen, Antworten vorgegeben 	<ul style="list-style-type: none"> • Viele Daten können in kurzer Zeit erhoben werden • Zusatzinformationen gehen verloren

Abbildung 28: Vor- und Nachteile der Interviewarten nach Mayring Quelle: Flick et al., S. 349ff

Neben der Unterscheidung der Interviewarten anhand der Struktur können Interviews in ihrer Durchführungsart unterschieden werden. Dabei kann es sich zum einen um Face-to-Face Interviews handeln, wenn eine Person direkt und persönlich vom Interviewer befragt wird. Zum anderen können Interviews telefonisch mittels Befragungen am Telefon durchgeführt werden sowie schriftlich (Pencil Interviews) mittels eines ausgedruckten Fragebogens. Die Interviewarten können dann in Einzelbefragungen bzw. in Gruppendiskussionen eingesetzt werden (vgl. Flick et al., 2005, S. 340ff). Im Rahmen dieser

Arbeit wird das Leitfadeninterview mittels telefonischer Einzelbefragung eingesetzt, da die Erhebungsmethode für mehr Spielraum und der Wissensgenerierung dient sowie folgende positive Aspekte berücksichtigt:

- Da die Experten räumlich weit entfernt sind, bietet die Einzelbefragung anhand des Leitfadeninterviews mittels Telefongesprächen eine gute Möglichkeit, das Gespräch effizient durchführen zu können.
- Der festgelegte Fragenkatalog bezüglich Formulierung und Reihenfolge bietet den Vorteil, in kürzerer Interviewzeit von maximal einer Stunde viele Informationen zu sammeln.
- Die Kosten für die Durchführung des Interviews sind minimal. Dazu können die Ergebnisse ohne großen Aufwand analysiert, bewertet und verglichen werden.

Als Datenauswertungsmethode im Anschluss des Leitfadeninterviews wird die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring eingesetzt, die besagt, dass folgendes Ablaufmodell computergestützt zugrunde liegen muss (vgl. Larcher, 2010, S. 3–4; vgl. Mayring, 2015, S. 55ff):

Die erste Stufe des Ablaufmodells stellt eine theoriegeleitete Differenzierung der Fragestellung und eine Festlegung der Analyserichtung neben der Bestimmung der Analysetechniken und Festlegung des konkreten Ablaufs dar. Im Anschluss gilt es, den Inhalt des Materials zu paraphrasieren sowie die Bestimmung des Abstraktionsniveaus festzulegen. Als Nächstes kommt es zu einer empirischen Schleife des Forschenden zwischen Induktion und Deduktion sowie Deduktion und Induktion dahingehend, was geistlich ablaufen wird, um ein Codesystem abzubilden, sodass das transkribierte und paraphrasierte Material dokumentiert, gebündelt, reduziert und gruppiert und das paraphrasierte Material in Richtung des angestrebten Abstraktionsniveaus integriert wird. Zum Schluss werden die neuen erarbeiteten Aussagen in einem Kategoriensystem zusammengefasst (vgl. Flick et al., 1995, S. 11ff; vgl. Gläser und Laudel, 2010b, S. 111ff; vgl. Mayring, 2015, S. 11–13; vgl. Strauss, 2010, S. 43ff). Die Ergebnisse in einem Kategoriensystem werden dann analysiert und interpretiert, sodass eine Rückführung in Richtung des Literaturteils der vorliegenden Arbeit sowie die Beantwortung der Forschungsfragen ermöglicht werden, wobei die inhaltsanalytischen Gütekriterien entlang des Ablaufs angewendet werden können. Die

Erfüllung der inhaltsanalytischen Gütekriterien ist gegeben, wenn der beschriebene Ablauf einer Inhaltsanalyse eingehalten wird, was eine systematische Dokumentation der Ergebnisse und der erarbeiteten Aussagen und ihrer Interpretation vorsieht.

Um die Voruntersuchung der vorliegenden Arbeit abzuschließen, werden die transkribierten Interviews einer qualitativen Inhaltsanalyse unterzogen, um zum einen neues Wissen zu generieren und zum anderen das Instrument zur Prognose des nachhaltigen Erfolgs weiterzuentwickeln. Damit dient sie dazu, die Arbeit weiter einzugrenzen sowie zielführend einzuordnen und ermöglicht, dass die Grundlagen für die empirische Hauptuntersuchung gegeben sind.

3.1.2.4. Empirische Hauptuntersuchung: Online-Befragung und Auswertung

Der explorative Zugang am Beispiel des Experteninterviews und die anschließende Inhaltsanalyse sollen dazu dienen, das Thema zu erkunden sowie die Hypothesen und das Modell aufzustellen. Die empirische Hauptuntersuchung der vorliegenden Arbeit zielt auf die Überprüfung der Hypothesen und die Validierung des Modells. Um die Ziele der empirischen Hauptuntersuchung erreichen zu können, bedarf es sowohl eines deskriptiven als auch eines explikativen Zugangs. Der deskriptive Zugang dient dazu, Erklärungen und Beschreibungen ohne Ursachenforschung zu untersuchen. Beim explikativen Zugang geht es um die Untersuchung von Zusammenhängen und Kausalitäten sowie die Erforschung von Wirkungen. Dabei stellt das quantitative Forschungsdesign bzw. der Versuchsplan die Basis einer empirischen wissenschaftlichen Untersuchung dar. Für die Auswahl eines quantitativen Forschungsdesigns stehen drei Zugänge zur Verfügung: Experimentelles Design, Quasiexperimentelles Design und Ex-post-facto-Design (nichtexperimentelles Design) (vgl. Steiner und Benesch, 2018, S. 41–43).

Mit Experiment ist eine methodische Versuchsanordnung gemeint, die auf eine Prüfung oder auf einen Beweis abzielt. Dabei variiert der Forscher systematisch mindestens eine Variable, um einen Effekt zu registrieren. Bei einem experimentellen Design handelt es sich um zufällige, ausgewählte gruppierte, also randomisierte Untersuchungsobjekte, wobei das quasiexperimentelle Design auf natürliche Gruppen setzt. Die Randomisierung im experimentellen Design kann Störvariablen neutralisieren und hat den Nachteil, dass eine Überrepräsentation einer Variablen nicht möglich ist (vgl. Bortz und Döring, 2015, S. 54). Bei einem quasiexperimentellen Design ist die Zuordnung zwischen abhängigen Variablen zu den unabhängigen Variablen aufgrund der natürlichen Gruppen nicht eindeutig. Ex-post-facto-Design (nichtexperimentelles Design) wird eingesetzt, wenn die Bedingungen der letzten zwei Zugänge nicht erfüllt werden können und es sich um die Messung der abhängigen und unabhängigen Variablen handelt, um daraus korrelative Aussagen abzuleiten sowie Zusammenhänge zu untersuchen (vgl. Steiner und Benesch, 2018, S. 44).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde ein Ex-post-facto-Design (nichtexperimentelles Design) ausgewählt, um Zusammenhänge korrelativ zu untersuchen und um **intern** und extern valide, aussagekräftige, gültige, **eindeutig interpretierbare** und signifikante Ergebnisse zu erzielen, die intern und extern valide sind (vgl. Bortz und Döring, 2015, S. 53).

Auf Basis des Untersuchungsdesigns wird zum einen ein Stichprobenzugang ausgewählt, zum anderen werden die Daten erhoben, was einer Datenerhebungsmethode zugrunde liegt und einer anschließenden statistischen Auswertung bedarf. Dabei wird als Erstes zwischen deskriptiver Statistik und Inferenzstatistik unterschieden. Deskriptive Statistik bezieht sich auf die Datenaufbereitung und die deskriptive Darstellung der Ergebnisse in Form von Graphiken und Tabellen und die dazugehörigen statistischen Kennzahlen, die den Daten zugrunde liegen. Um aus den Ergebnissen der repräsentativen Stichprobe auf die Grundgesamtheit zu schließen, werden Methoden wie der Signifikanztest der Inferenzstatistik angewendet.

Die Stichprobe bildet dabei eine Teilmenge der Grundgesamtheit. Die Stichprobenauswahl anhand eines Planes setzt Hypothesen voraus, da es notwendig ist, eine repräsentative Stichprobe aus der Grundgesamtheit auszuwählen. Für die zufällige Stichprobenauswahl stehen vier Zugänge zur Verfügung: die einfache Zufallsstichprobe, die geschichtete Zufallsstichprobe, die Klumpenstichprobe und die Ad-hoc Stichprobe (vgl. Steiner und Benesch, 2018, S. 24).

Bei einer Zufallsstichprobe hat jedes Element der Grundgesamtheit die gleiche Wahrscheinlichkeit, ausgewählt zu werden (vgl. Bortz und Döring, 2015, S. 87).

Bei der geschichteten Stichprobe wird eine Segmentierung in homogene unterschiedliche Schichten vorgenommen, was voraussetzt, dass die Verteilung der untersuchten Merkmale der Grundgesamtheit bekannt ist (vgl. Bortz und Döring, 2015, S. 88). Können die Elemente der Grundgesamtheit nicht erfasst werden, liegen dafür aber Informationen zugrunde, werden alle Untersuchungsteilnehmer zufällig in Klumpen (Cluster oder Schichten) ausgewählt (vgl. Bortz und Döring, 2015, S. 88).

Abbildung 29 zeigt neben der Zufallsauswahl auch die nichtzufällige Auswahl. In der vorliegenden Arbeit wird die nichtzufällige Auswahl als Zugang ausgewählt, da eine

Zufallsstichprobe nicht zu den gewünschten Ergebnissen führen würde. Dabei wird die Auswahl nach dem Zufallsprinzip mit einem Schneeballsystem festgelegt, um Ausgewählte und ihre Kontakte zur Teilnahme an der empirischen Untersuchung gewinnen zu können.

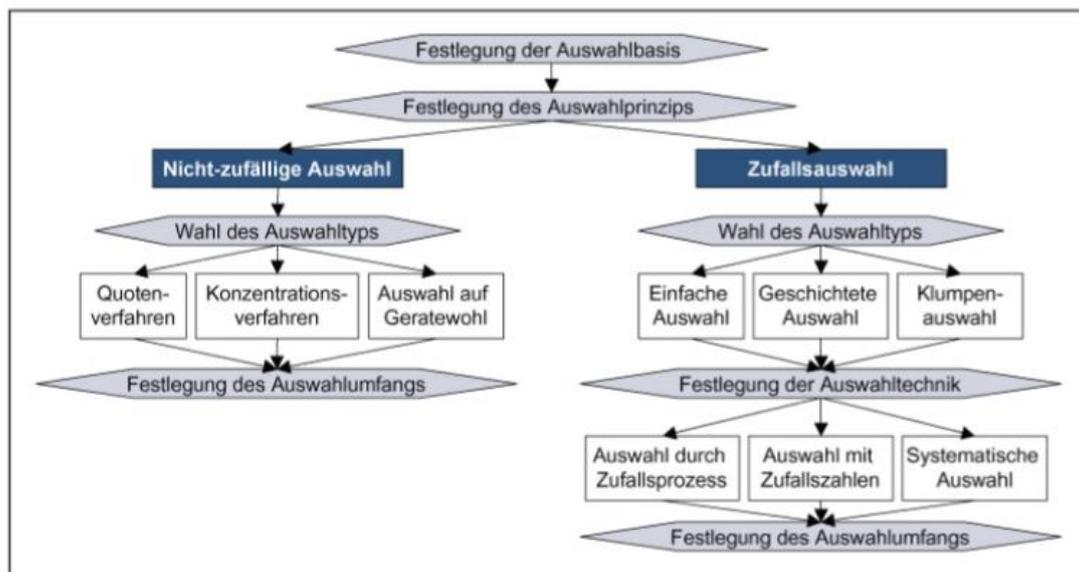


Abbildung 29: Auswahltypen und Stichprobenverfahren. Quelle: (vgl. Esch et al., 2013, S. 98)

Um eine empirische Messung durchführen zu können, werden Skalen definiert, die es ermöglichen, Messungen von physikalischen Messgrößen auch für qualitative Merkmale messbar zu machen. Dafür werden Nominalskalen (z. B. Geschlecht), Ordinalskalen (z. B. Schulnoten und Rangordnung), Intervallskalen (z. B. Bildung von Differenzen in Rangordnung) und Verhältnisskalen (z. B. Verhältnis zwischen zwei Werten wie Temperatur mit einem absoluten Nullpunkt) verwendet (vgl. Steiner und Benesch, 2018, S. 31–32). In der vorliegenden Arbeit werden Intervallskalen, also metrische Kennzahlen neben Nominal- und Ordinalskalen, verwendet. Für die Durchführung der Messung wird die Befragung als quantitative Datenerhebungsmethode eingesetzt, um die empirischen Sachverhalte numerisch darzustellen (vgl. Steiner und Benesch, 2018, S. 47). Dabei wird der standardisierte Fragebogen in der vorliegenden Arbeit als Vorgangsweise mittels Online-Befragung konstruiert und getestet. Folgende Argumente sprechen für eine Online-Befragung und anschließende statistische Auswertung: wenig Zeit, geringe Kosten und weit verteilte Teilnehmer (Entfernung) sowie die Möglichkeit, eine werkzeuggestützte Online-Befragung (Datenerhebung) und anschließende statistische Auswertung (Datenauswertung) zu verwenden.

Die anschließende Datenauswertung und dazugehörige Interpretation bedienen sich statistischer Größen und Kennzahlen und den dazugehörigen Auswertungsmethoden. Dabei

bilden die Skalen bei der Online-Befragung und die dahinterstehenden Merkmalsarten der vorliegenden angestrebten Untersuchung die Basis für statistische Untersuchungen der Merkmale und Hypothesen, die mittels graphischer Darstellungen beschrieben werden. Demzufolge können die Daten mittels ihrer Lageparameter am Beispiel von Mittelwerten unterschieden werden, die Korrelation für die Zusammenhänge am Beispiel von Einfluss und Wirkgrößen ergründet und mittels linearer Regression in ein repräsentatives signifikantes Modell überführt werden (Kurzhaus, 2015). Auf Basis der statistischen Auswertungen und dazugehörigen Interpretationen können anschließend Aussagen getroffen werden, um die Ziele der vorliegenden Arbeit von der Forschungsfrage bis zu den Ergebnissen und die dazugehörige Implementierung wissenschaftlich fundiert zu untermauern.

3.1.2.5. Bewertung der Güte der Messung und die Gütekriterien

Um den systematischen Fehler im empirischen Forschungsprozess zu vermeiden sowie die Irrtumswahrscheinlichkeit der vorliegenden Arbeit auf 0,05 % zu begrenzen, werden sowohl für den qualitativen Zugang als auch den quantitativen Zugang folgende Gütekriterien berücksichtigt, um den empirischen Prozess und sein Endergebnis anhand von Qualitätsstandards beurteilen zu können:

Die Gütekriterien qualitativer Forschung in Anlehnung an Röbbken und Wetzel (vgl. Röbbken und Wetzel, 2017, S. 32) und an Müller und Häger (vgl. Müller und Haeger, 2010, S. 121ff) sind: Verfahrensdokumentation, argumentative Interpretationsabsicherung, Nähe zum Gegenstand, Regelgeleitetheit und Triangulation .

Die Gütekriterien quantitativer Forschung in Anlehnung an Röbbken und Wetzel (vgl. Röbbken und Wetzel, 2017, S. 32) sind: Objektivität (Durchführungsobjektivität, Auswertungsobjektivität und Interpretationsobjektivität), Validität (Inhaltsvalidität, Kriteriumsvalidität und Konstruktvalidität) und Reliabilität anhand des Koeffizienten und Cronbachs Alpha.

3.2. Vorstudie: Evaluierung anhand von Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse (Ergebnisse)

3.2.1. Vorgehen, Methoden, computergestützte Werkzeuge und Experten

3.2.1.1. Vorgehen und Methoden

Die Auswahl der Methoden und das Vorgehen der Vorstudie sind darin begründet, dass das Ergebnis des Literaturteils gezielte und ausgewählte klassische und traditionelle sowie grüne Erfolgs- und Risikofaktoren abbildet, die den nachhaltigen Erfolg in der Entwicklung von Softwareapplikation positiv beeinflussen. Sowohl ihre Zusammenhänge als auch ihre Vollständigkeit konnte der Literaturteil bzw. Theorieteil nicht abschließend beantworten. Die Zweckbestimmung der Ergebnisse des Literaturteils begrenzt sich auf ihre Verwendung in den traditionellen standardisierten Risikomanagementwerkzeugen und in den Grundlagen der Softwaremessung bei der Entwicklung von Applikationssoftware. Um die Forschungsfragen der vorliegenden Arbeit beantworten zu können sowie die Thesen zu bestätigen, so dass die Zielsetzung der Arbeit erreicht werden kann, bedarf es eine weitere vertiefte Untersuchung und kritische Auseinandersetzung, die in Form einer Vorstudie durchgeführt wird. Dadurch wird mehr Wissen generiert und die Arbeit weiter auf das Wesentliche begrenzt, um die Grundlage für eine Hauptuntersuchung zu legen. Das Vorgehen und die verwendeten Methoden leiten sich aus dem Stand der Technik und den wissenschaftlichen Diskussionen ab (Dresing und Pehl, 2018; Kvale, 1996; Larcher, 2010; Mayring, 2015). Für die Experteninterviews (Qualitative Interviews) und die anschließende Inhaltsanalyse wurde wie folgt vorgegangen:

- Literaturrecherche und Auswertung sowohl für das methodische Vorgehen als auch für die Erstellung des Leitfadens, was auf den Theorieteil der vorliegenden Arbeit zurückzuführen ist.
- Erstellung des Leitfadens der Interviewfragen und Suche nach Experten
- Vorbereitung, Durchführung und Nacharbeitung des Interviews

- Transkribieren der Interviews: Dabei wird ein semantisch-inhaltliches Transkriptionssystem angewendet, ohne dabei strenge Regeln zu befolgen. Nur Zeitmarken werden eingesetzt.
- Qualitative Inhaltsanalyse der Interviews: Dabei wird folgender Ablauf mit Unterstützung von computergestützten Programmen ausgewählt:
 - Durch Lesen werden interessante Stellen markiert und kommentiert.
 - Gruppierung und Strukturierung, um ein Code- bzw. Ordnungssystem zu entwickeln: Es werden passende Stellen sortiert und in Haupt- und Untercode gegliedert. Dabei wird zuerst deduktiv und dann induktiv vorgegangen.
 - Zum Schluss wird das Material (transkribierte Interviews) zusammengefasst und gebündelt.
- Zusammenfassen der Ergebnisse in einem Bericht sowie deren Interpretation, um die Basis für die Online-Befragung zu legen.

3.2.1.2. Expertenauswahl

Zur Auswahl der Experten waren folgende Kriterien von Bedeutung:

- Expertise in der grünen Softwareentwicklung und Green IT
- Expertise in der Wissenschaft und Wirtschaft als auch in der Praxis
- Langjährige Erfahrungen in der Softwareentwicklung (Studium sowie Beruf)

Dabei liegt der Fokus stets darauf, Wissen zu generieren, um sowohl den Theorieteil zu untermauern als auch die Hypothesen der vorliegenden Arbeit abzuleiten. Somit soll es möglich sein, ein Hypothesenmodell nach der Auswertung der Daten aufzustellen.

3.2.1.3. Vorgehen zum Interview

Im Rahmen der Interviews und deren Transkriptionen werden die einzelnen Experten aus dem Bereich der Softwareentwicklung und speziell der nachhaltigen Softwareentwicklung kurz vorgestellt und die Kontakt-Historie bzw. der Verbindungspfad wird erläutert. Das Interview wird anonymisiert transkribiert wiedergegeben. Nachweise zur Expertise der Interviewten können durch ihre Firmen, Lehrstühle oder Publikationen erbracht werden. Von der ersten Kontakthanfrage bis zur Durchführung des Interviews und der Dokumentation wurde folgendermaßen vorgegangen:

1. Der Experte wurde entweder angerufen oder per E-Mail angeschrieben, um einen möglichen Termin zu vereinbaren und zunächst telefonisch über Ziel und Thema des Interviews zu reden. Nach der Zusage der Bereitschaft, am Interview teilzunehmen, wurde ein Termin vereinbart, um das Interview telefonisch durchzuführen.
2. Nach der Zusage des Experten wurde ihm per E-Mail der Leitfaden zum Experteninterview zugesendet. Dies war wichtig, damit der Experte sich auf das Interview vorbereiten konnte.
3. Zum vereinbarten Zeitpunkt wurde der Experte angerufen. Hierbei wurde Skype eingesetzt, um das Gespräch aufzuzeichnen.
4. Die aufgezeichneten Gespräche (im MP3-Format)⁹ wurden sodann mithilfe eines Spracherkennungstools (Dragon Naturally Speaking)¹⁰ transkribiert / teilweise manuell eingetippt.

Der oben skizzierte Ablauf war aufgrund der räumlichen Entfernung der Ansprechpartner bewusst so gewählt. Ein Vor-Ort-Interview war demzufolge nicht möglich, da Kosten, Zeit und Verfügbarkeit der Ansprechpartner dies nicht zuließen. Zudem konnten erhebliche Ressourcen eingespart werden und es war nachhaltiger. Zur Durchführung der Interviews wurde folgender Ablauf gewählt:

1. Der Experte wurde angerufen und kurz über das Thema der Dissertation als Ganzes und konkret über Sinn und Zweck der Leitfragen informiert, um das Interview einzuleiten. Dabei wurde festgelegt, dass das Interview in der Höflichkeitsform per ‚Sie‘ durchgeführt werden soll.
2. Nach der Einleitung des Interviews wurden die Fragen gestellt; zunächst allgemein, dann immer konkreter. Dabei wurde der Leitfaden stets mit herangezogen, um den Ablauf zu steuern. Dies förderte einen kreativen Austausch mit dem Experten. Zudem wurde dafür ausreichend Zeit eingeräumt.

⁹ MP3, Eigenschreibweise mp3, ist ein Verfahren zur verlustbehafteten Kompression digital gespeicherter Audiodaten.

¹⁰ Dragon NaturallySpeaking ist eine Spracherkennungssoftware, die das gesprochene Wort in Text auf dem Bildschirm oder Steuerungsbefehle für den Computer umsetzt.

3. Zum Abschluss des Experteninterviews wurden Fragen gestellt, die den Zweck hatten, das ganze Gespräch zusammenzufassen und ein Feedback zu bekommen. Dabei wurde auch deutlich hervorgehoben, dass das Interview transkribiert wird, und es wurde vereinbart, dass es zusammen mit der Dokumentation im Rahmen der Dissertation verwendet werden darf. Der Experte wurde hierbei auch darauf hingewiesen, dass das Interview anonymisiert dokumentiert und in der Arbeit verwendet wird.

3.2.1.4. Leitfaden des Experteninterviews

Anhand des folgenden Leitfadens werden die Interviews durchgeführt: Dabei zielen die Fragen auf einleitende Fragen (Frage 1) und Wissensgenerierung (Frage 2, 4) sowie Abgrenzung (Frage 6) und teilweise Quantifizierung und Gewichtung (Frage 3, 5 und 7) ab.

1. Ich möchte Sie bitten, kurz ihre eigenen Erfahrungen in der Softwareentwicklung zu schildern.
2. Was sind aus ihrer Sicht die größten Risiken, die den nachhaltigen Erfolg von Softwareentwicklungsprojekten beeinflussen?
3. Bitte beurteilen Sie die Risiken auf einer Skala von 1 (gering) bis 4 (groß).
4. Was sind aus Ihrer Sicht die Minderungsmaßnahmen zu diesen Risiken, um den nachhaltigen Erfolg der Softwareentwicklungsprojekte sicherzustellen?
5. Bitte beurteilen Sie die Minderungsmaßnahmen auf einer Skala von 1 (gering) und 4 (groß).
6. Wir haben viel über Risiken und Minderungsmaßnahmen gesprochen. Was sind nach Ihrer Erfahrung die wirkungsvollsten Ansätze und Managementkonzepte, mit denen diese Risiken vermieden bzw. reduziert werden können?
7. Bitte beurteilen Sie die Ansätze und Managementkonzepte auf einer Skala von 1 (gering) und 4 (groß).

3.2.1.5. Experten und computergestützte Werkzeuge

Das erste der drei Interviews war eine Art Pre-Test, um sowohl Wissen als auch Erfahrung im Umgang mit Experten und den zu verwendenden Werkzeugen zu erlangen. Für die

Transkription und die Inhaltsanalyse kamen folgende Werkzeuge von der Firma dr. dresing & pehl GmbH (zu finden unter <https://www.audiotranskription.de>) zum Einsatz:

- F4transkript
- F4analyse

Zum Zeitpunkt des Verfassens der vorliegenden Arbeit war eine automatische Spracherkennung nicht in F4transkript integriert. Die Interviews wurden manuell transkribiert und in das RTF-Format¹¹ umgewandelt, um dann die Zeitmarken von F4transkript zu verwenden. Das stellte die Basis für die Auswertung in F4analyse dar. Ein Video-Training zum Umgang mit dem Auswertungstool steht auf der o.g. Webseite zur Verfügung, um innerhalb kürzester Zeit die Auswertung und anschließende Berichterstattung durchführen und dokumentieren zu können. Im Anhang ist der Bericht der Auswertung der Experteninterviews der vorliegenden Arbeit zu finden, der auf Basis folgender drei Interviews erstellt werden könnte.

¹¹ Das Rich Text Format (RTF) ist ein proprietäres Dateiformat für Texte, das von Microsoft 1987 eingeführt wurde.

3.2.1.5.1 Erstes Experteninterview

Name des Experten: Dipl.-Inf. Als Erster Experte

Datum: 17.08.2017 um 16:00 Uhr

Verbindungspfad: Seminar über Green IT und gemeinsame Teilnahme an Konferenzen

Kurze Darstellung des Experten:

Diplominformatiker; selbstständiger Berater und Geschäftsführer im Bereich Green IT

Interviewer: Welche Risiken können das Softwareprojekt sowie -produkt im Allgemeinen negativ beeinflussen?

Experte: Schlechte Planung, nachträgliche Änderungen, schlechtes Management, falsche Werkzeuge, falsche Dienstleister bei der Client-Server-Architektur.

Interviewer: Könnten auch Anforderungen der grünen Software als Risiko angesehen werden, wenn sie nicht rechtzeitig berücksichtigt werden?

Experte: Ja – vor allem, wenn Software entwickelt wird, die sehr hardwarenah verwendet wird, z. B. Betriebssysteme oder Mikroprozessoren. Einige grüne Aspekte könnten ausschlaggebend sein, obwohl sie gesetzlich nicht vorgeschrieben sind, wie z. B. richtige Hardware und Programmiersprache, Architektur, keine unnötige Datenübertragung, geringer Speicherplatz durch effiziente Programmierung, Nutzung von Optimierungstools.

Interviewer: Was halten Sie von Kategorien bei der Risikoabschätzung wie Projektmanagement, Team, Dienstleister etc.? Sollten da nicht einzelne Risiken bei der Abschätzung einzeln betrachtet werden?

Experte: Ja, natürlich – oder man macht eine Annahme, dass alle Risiken in dieser Kategorie die gleiche Gewichtung bei der Schätzung haben. Alle diese Kategorien könnten den Erfolg von Projekt und Produkt beeinflussen.

Interviewer: Nun kommen wir auf die Minderungsmaßnahmen zu sprechen. Was denken Sie – anhand Ihrer genannten Risiken –, sind die wichtigsten Minderungsmaßnahmen?

Experte: Best Practice und Benchmarking mit ähnlichen Projekten und Produkten. Des Weiteren Studien heranziehen, Experten befragen, optimistische Planung und reichlich Zeit einplanen; Prototypen-Entwicklung und dann weiter hoch skalieren.

Interviewer: Wenn wir Skalen mit 1 ist gering und 4 ist hoch bei den Risiken nach dem schweren Grad und die dazugehörige Minderungsmaßnahmen einführen – wie würden Sie die Risiken da einschätzen?

Experte: Bei den Risiken: Projektplanung = 3, Lieferantenauswahl = 2. Bei den Minderungsmaßnahmen: Beraterteam intern oder extern = 4, aber das hängt vom Projekt und Know-how im Team ab, Puffer = 3, Best Practice = 4 (sehr wichtig).

Interviewer: Zum Schluss möchte ich Sie fragen, ob Sie das ganze Thema der grünen Software und ihre Betrachtung durch die Risikoanalyse für sinnvoll halten und ob dies ein nachhaltiges Wirtschaften hervorbringt. Das betrifft vor allem den wissenschaftlichen und praktischen Teil der Dissertation und Thematik.

Experte: Ich denke schon – insbesondere, wenn man bei der Entwicklung der Software nachhaltig vorgeht und die Langlebigkeit und Effizienz der Software berücksichtigt sowie dass die Software wenig Hardware-Ressourcen braucht. Je früher man das betrachtet, desto besser. Das ganze Thema und die anwendungsorientierte Forschung hinsichtlich Wissenschaft und Praxis sind für mich mit der theoretischen und experimentellen Forschung gleichzustellen.

3.2.1.5.2 Zweites Experteninterview

Name des Experten: Prof. Dr. Zweiter Experte

Datum: 30.08.2017 um 16:00 Uhr

Verbindungspfad: Empfehlung vom ersten Experten sowie Publikationen im Bereich Green IT

Kurze Darstellung des Experten:

Professor der Hochschule– Hochschule für Wirtschaft, Technik und Gestaltung, Institut für Softwaresysteme

Interviewer: Vorab möchte ich erwähnen, dass ich einen Pre-Test mit einem ersten Interview zusammen mit dem ersten Experten durchgeführt hatte, wo ich eigentlich durch ihn auf Sie aufmerksam geworden bin. Ich werde die Fragen sequenziell starten, aber immer wieder auch diagonal das ganze, und mit der einen oder anderen Frage auch das komplette, Thema zwischendurch erfragen. Diese Vorgehensweise hat sich durch das erste Interview als Verbesserung ergeben, da während des Gespräches immer der rote Faden beibehalten werden muss, um nicht den Fokus zu verlieren, und damit viel Experten-Know-how aufgeschrieben werden kann. Wichtig für mich ist, dass Sie mir kurz Ihre Erfahrungen in der Softwareentwicklung schildern, und speziell im Bereich grüne Software, um zu zeigen, dass Sie genau der Richtige sind, um für dieses Interview zu meinem Thema ausgewählt zu werden.

Experte: Ich bin Professor für das Thema Nachhaltigkeit, Software und Umwelt mit Schwerpunkt Grundlagen der Mathematik und Informatik. Ich bin jetzt seit 2008 Professor an der Hochschule Trier am Standort Umweltcampus Birkenfeld. Früher habe ich im Bereich Java und Webseiten-Software im Bereich Umwelt ökologische Waren- und Sammelbestände entwickelt, dazu einiges im Bereich Maschinen-Learning. Mein Schwerpunkt liegt im Bereich Green Software, also wie kann man Software-Energieeffizienz und Nachhaltigkeit mit wenig Ressourcenverbrauch sowie langlebig entwickeln. Zum Portfolio gehören Java, JavaScript und C++ als Programmiersprachen. Meine langjährigen Erfahrungen in der Softwareentwicklung zeigten mir im Schwerpunkt Prozesse die Tatsache, dass sie ineffizient sind – und das meist wegen Kommunikationsproblemen. Da liegt das Problem bei der Kommunikation zwischen den Akteuren und meistens zwischen Entwickler und Nutzer der

Software. Bei großen Projekten sind die Nutzer gar nicht dabei, sondern Leute dazwischen, die die Software gar nicht verwenden. Das führte immer dazu, dass die Prozesse sich verzögern und dass die Software nicht das machen kann, was sie soll. Dazu kam, dass die Green-IT- und Nachhaltigkeitsaspekte, wie Wartungsfreundlichkeit und Update, mit Berücksichtigung des Ressourcenbedarfs gar keine Rolle gespielt haben. Nun habe ich viele kritische Punkte erwähnt, aber nichtsdestotrotz kann man mit Software bezüglich Umwelt und Nachhaltigkeit viel erreichen, was ohne Software gar nicht möglich wäre: Systeme, die die Umwelt unterstützen und auf Basis von Software schonen. Die ökologische Beschaffung und Umweltinformationssysteme zählen dazu. Da muss man unterscheiden zwischen Umweltaspekten bei der Entwicklung und bei der Nutzung von Software. Ein Vergleich mit dem Auto wäre hier angebracht: Wie ist das Auto entwickelt und wie viel verbraucht es? Und den Aspekt, was mache ich mit dem Auto? Dieser Aspekt ist wichtig, um zu unterscheiden, wie Green in IT – also wie grün ist die Software mit dem dahinterstehenden Entwicklungsprozess? – und Green by IT – also wie kann die Software dazu beitragen, die Umwelt zu schonen?

Interviewer: Wenn wir hier kurz anhalten und die Frage stellen, was das größte Risiko bei Softwareentwicklung und speziell bei Green Software ist?

Experte: Eines der größten Risiken sind meiner Ansicht nach unzureichende Anforderungen: dass die Software nicht das macht, was der Nutzer im Sinn hat. Das bedeutet, dass es nicht genau spezifiziert ist, was die Software machen soll – ein Beispiel ist das Scheitern der Softwareprojekte in der Arbeitsagentur, da nicht genau spezifiziert war, was man haben wollte. Ein weiteres Risiko ist die Interoperabilität: dass verschiedene Systeme, die getrennt entwickelt worden sind, zusammenarbeiten müssen. Der Datenaustausch zwischen den Systemen wäre in dieser Hinsicht eines der größten Risiken, vor allem mit dem Einzug des Internet of Things, da solche Systeme mit PCs, Smartphones und Sensoren kommunizieren. Aber zentraler Punkt bleiben unzureichende Anforderungen.

Interviewer: Wenn Sie auf einer Skala von 1 (gering) bis 4 (groß) Ihre erwähnten Risiken bewerten, was würden Sie geben? Und was wäre nach Ihrer Ansicht eine Minderungsmaßnahme für dieses Risiko?

Experte: Hier würde ich 4 geben. Eine wichtige Minderungsmaßnahme wäre ein moderierter Kommunikationsprozess. Man muss die Softwareentwicklung als Kommunikations- und Moderationsprozess ansehen. Man kann viel erreichen mit Checklisten und Schemata; dazu die Kommunikation von Entwicklern und Designern mit dem Kunden.

Interviewer: Wenn wir bei dieser Minderungsmaßnahme bleiben und versuchen, zu quantifizieren: Was denken Sie, wie stark würde diese Minderungsmaßnahme die o.g. Risiken minimieren? Also die Skala bleibt 1 bis 4 von gering 1 und zu hoch 4.

Experte: In dem Fall auch 4. Aber eine Frage hätte ich noch: Betrachten Sie Standardsoftware oder Individualsoftware in Ihrer Arbeit?

Interviewer: Ich betrachte in meiner Arbeit die Software als Produkt sowie die Entwicklungsprozesse dahinter – also ohne Fokussierung auf die Zweckbestimmung. Aber denken Sie, es gibt da Unterschiede, die man im Auge behalten sollte? Würden Sie die Skalierung mit dieser Unterscheidung anders gewichten?

Experte: Ich würde anders skalieren, da Standardsoftware nicht den einen Kunden hat, sondern man entwickelt eine Software, die für die Allgemeinheit nützlich ist. Nehmen wir z. B. Word als Textverarbeitungsprogramm: Da gibt es nicht den einen Auftraggeber, mit dem die Entwicklung schrittweise vorangegangen ist. Das bedeutet, der Kommunikationsprozess ist zyklisch entstanden, nachdem es eine Software schon gab und sie verbessert wurde. Da sind die Kommunikationsprozesse nicht besonders wichtig, aber bei der Individualsoftware-Entwicklung schon immens. Ein Beispiel ist die Rechtschreibprüfung bei Word: Da gab es viele zufriedene Nutzer trotz fehlender Anforderungen. Bei Individualsoftware sind solche unzureichenden Anforderungen tödlich, bei Standardsoftware hat man viel mehr Kunden und das Risiko ist nicht so hoch wie bei Individualsoftware.

Interviewer: Nun versuche ich in meiner Arbeit, die Risiken unter einem Managementansatz zu kategorisieren, da ich bis jetzt mehr als 100 Risiken ausgearbeitet habe. Was denken Sie, wo Ihre angesprochenen Risiken zugeordnet werden können – Anforderungsmanagement oder Projektmanagement?

Experte: Man muss in dieser Hinsicht unterscheiden zwischen Projektmanagement, das von der Kultur innerhalb des Unternehmens abhängt, und der Notwendigkeit von Anforderungsmanagement. Dabei muss man auf die Lesbarkeit achten: dass Lasten- und Pflichtenheft geschrieben werden und dass sowohl der Entwickler als auch der Kunde das Gleiche darunter verstehen. Die Trennung zwischen muss, kann und sollte im Pflichtenheft soll kenntlich gemacht werden. Wichtig ist für mich, dass man diese Managementansätze innerhalb des Unternehmens etabliert.

Interviewer: Wenn wir beim Ansatz Anforderungsmanagement als Konzept, das man innerhalb des Unternehmens etabliert, bleiben und seine Wichtigkeit als Minderungsmaßnahme quantifizieren – was würden Sie da zwischen 1 und 4 geben?

Experte: Da gebe ich eher eine 3, da das Managementkonzept sowohl vom Unternehmen als auch vom Produkt abhängig ist. Da würde ich eine 3 geben.

Interviewer: Wenn wir jetzt annehmen, dass ein Managementansatz viele Risiken mit sich bringt, die man unter einer Kategorie (Managementansatz) zusammenfasst, dann werden einzelne Risiken anhand der Risikoprioritätszahl repräsentiert. Was denken Sie – kann man pauschal eine gesamte Bewertung für alle darunter zusammengefassten Risiken abgeben?

Experte: Die Gruppierung sowie Quantifizierung über den Managementansatz und die darunterliegenden Risiken finde ich sinnvoll.

Interviewer: Wenn wir jetzt einen Bogen in Richtung nachhaltige Software-Entwicklung schlagen und den Gedanken betrachten, dass solche Aspekte beim Kick-off von Softwareprojekten beachtet werden sollten, was halten Sie davon? Also Indikatoren bezüglich Umweltaspekten etc. Der Gedanke bezieht sich darauf, dass man solche Aspekte bei der Risikoanalyse mit einbezieht, um die Chancen für den Erfolg des Projektes und Produktes zu erhöhen. Methoden und Werkzeuge, die dabei helfen, fehlen immer noch, was die Forschungslücke meiner Arbeit darstellt. Darauf setzt die Arbeit ihre Ziele, diese Lücke sowohl in der Forschung als auch in der Praxis zu schließen.

Experte: Ich verstehe. Da denke ich, es ist sehr sinnvoll, solche Aspekte gleich zu Beginn in Betracht zu ziehen. Dabei denke ich zum einen an Ressourcen, die der Rechner braucht – wie RAM, CPU und Strom – als auch an die Netzwerkbandbreite. Ich denke, dass das tatsächlich fehlt im Moment. Es kann sein, dass das Aspekte sind, die das Produkt teurer machen,

deshalb wird es vom Kunden nicht verlangt. Langsam, aber sicher ist das jedoch ein Thema, das man angehen muss, da die vielen mobilen Geräte sowie das Internet of Things an Strom angeschlossen werden und ihn verbrauchen. Als Beispiel wäre die Entwicklung einer Applikation zu nennen, die der Kunde unbedingt braucht, die aber den Akku voll absaugt – da ist dieser Gedanke wichtig und ganz am Anfang der Entwicklung zu berücksichtigen, da dadurch das Produkt erfolgreicher gemacht werden kann. Dazu habe ich die Erfahrung gemacht, dass man die Kunden darauf aufmerksam machen muss, da sie nicht von allein darauf kommen. Mindestens sollte man den Kunden warnen, dass die Software durch seine Anforderungen viele Ressourcen verbrauchen wird und dieser Aspekt in die Entwicklung einfließen sollte.

Interviewer: Wenn wir solche Aspekte wie den Ressourcenverbrauch als Risiken ansehen, wo liegen sie Ihrer Meinung nach auf der Skala von 1 bis 4?

Experte: Ich würde sagen zwischen 2 und 3, bin nicht schlüssig, da es auf das Projekt ankommt. Da das mein Forschungsgebiet ist, würde ich gerne eine 3 abgeben, aber es gibt Projekte, wo so was nicht viel ausmacht.

Interviewer: Wenn wir an die Minderungsmaßnahmen denken, habe bis jetzt aufgeschrieben, dass man den Kunden drauf anspricht bzw. es im Anforderungsdokument aufschreibt. Sehen Sie das auch so? Und wie würden Sie es auf der Skala zwischen 1 und 4 quantifizieren?

Experte: Ja, das auf jeden Fall: Der Kunde soll durch die Konzepte darauf aufmerksam gemacht werden, und wenn der Kunde das will, wissen die Entwickler um die Wichtigkeit solcher Maßnahmen. Bei der Quantifizierung würde ich auch zwischen 2 und 3 schweben, da ich denke, dass es ein weiteres, wichtigeres Risiko bezüglich Testen der Software auf Ressourcenverbrauch gibt, dem ich eine 3 auf der Skala geben würde. Da wird meiner Meinung nach zu wenig in dieser Hinsicht getestet. Eine weitere Minderungsmaßnahme wäre, solche Tests zu standardisieren, zu etablieren und auszuweiten. Dem Testen solcher Aspekte als Minderungsmaßnahme würde ich ein Gewicht von 4 auf der Skala geben.

Interviewer: Wenn wir jetzt die Green-Software-Risiken unter einem Managementansatz einordnen, wo würden Sie sie eingliedern? Dazu noch die Skalierung dieses Managementansatzes, Ihrer Meinung nach, zwischen 1 und 4!

Experte: Ich würde sie unter Anforderungsmanagement und speziell unter der Kategorie nicht-funktionale Anforderungen einordnen. Die Skalierung ist eine schwierige Frage und gute Frage gleichzeitig, denn dadurch kann die Software immer noch funktionieren, aber verkauft sich vielleicht nicht so gut. Die nicht-funktionalen Anforderungen gefährden die Software selbst nicht, aber das Drumherum wie Performance etc. Da sind wirtschaftliche, ökonomische Aspekte maßgebend. Da würde ich eine 3 geben, da die Funktionalität nicht beeinträchtigt, aber indirekt beeinflusst wird. Ein Beispiel ist z. B.: Der Download dauert zu lange für eine Webseite oder Datei aus dem Netz. Das Testen würde ich unter dem Stichwort Continuous Integration eingliedern, also bei den Entwicklungsprozessen und den Benutzer-Informationen über die Ergebnisse bei der Benutzung der Software. Solche Sachen sollte man regelmäßig überprüfen, um keinen falschen Weg einzuschlagen. Das gehört zu den Prozessmethoden wie Scrum zum Beispiel. Das gehört zum zyklischen Prozess und nicht an den Schluss der Entwicklung. Da würde ich sogar eine 4 auf der Skala geben, da ich es für sehr wichtig halte, denn wenn man da den Kunden einbindet, kann man Änderungen schneller einfließen lassen, da man zyklisch arbeitet.

Interviewer: Ich bin jetzt am Ende meiner Fragen angekommen und möchte gerne Ihre Meinung als Proof of Concept erfragen. Ich versuche durch mein Forschungsdesign, also qualitative und quantitative Forschung, Softwareaspekte sowie Risikomanagement, ökonomische und Marketing-Aspekte zu betrachten – anders als eine Ingenieurs-Disziplin mit Stand der Technik und experimentellem Forschen. Denken Sie, beide Wege zu einem Dokortitel bzw. einer Promotion sind gleichzusetzen oder gibt es da eine Abstufung Ihrer Meinung nach?

Experte: Ich empfinde das als gleichberechtigt, da Softwareentwicklung viel mit Prozessen und Empirie zu tun hat. Man braucht dafür sowohl gute Technik als auch gutes Management auf Basis der Betriebswirtschaft. Risikomanagement ist meiner Meinung nach ein wichtiges Werkzeug, denn in dem Moment, wo Risiken bekannt und expliziert sind, leisten sie einen Beitrag, die Software sicherer zu machen, schneller zu entwickeln sowie kostengünstiger und effizienter zu machen. Erfahrene Entwickler kennen das schon, aber wenn man solche Risiken und Minderungsmaßnahmen expliziert, dann wird die Softwareentwicklung effizienter. Da können Nachhaltigkeitsfragen bezüglich Wirtschaftlichkeit und Kosten-Nutzen-Verhältnis von Vorteil sein, da solche Themen eine zunehmende Rolle spielen;

Stichwort Klimawandel etc. Dadurch können Firmen Wettbewerbsvorteile generieren, da die Nutzer nicht wollen, dass ihre Geräte leergesaugt werden, und wollen, dass ihre Geräte länger halten. Das kann ein guter Beitrag zum nachhaltigen Wachstum sein.

3.2.1.5.3 Drittes Experteninterview

Name des Experten: Dr. Dritter Experte

Datum: 08.10.2017 um 15:00 Uhr

Verbindungspfad: Zusammenarbeit in Indien/Pune und in Deutschland/Berlin

Kurze Darstellung des Experten: Akademische Forschung in der Softwaretechnik und aktuell Berater der Industrie im Bereich Software-Entwicklung

Interviewer: Ich möchte mich bei Ihnen dafür bedanken, dass Sie sich Zeit genommen haben, und jetzt in 20 Minuten meine Fragen beantworten sowie mein Thema besprechen, wie im Vorfeld abgesprochen wurde. Ich beginne damit, dass Sie Ihre eigenen Erfahrungen in der Softwareentwicklung kurz anreißen.

Experte: Ich habe in vielen Firmen gearbeitet und schnell erkannt, dass die Weiterentwicklung im Rahmen einer Dissertation einen wichtigen Schritt in Richtung Selbst- und beruflicher Weiterentwicklung für mich darstellt. Jetzt arbeite ich im Product Line Management, und es ist bei mir richtig angekommen, was wichtig ist, wenn Firmen Software entwickeln. Für mich ist immens wichtig, dass man erkennt, was man tut sowie wann und wie man Software entwickelt – da deute ich auf die Prozesse hin. Dazu kommt, dass man frühzeitig erkennen muss, wie viel Manpower man dafür benötigt.

Interviewer: Worüber haben Sie Ihre Doktorarbeit geschrieben?

Experte: Meine Doktorarbeit beschäftigte sich mit dem Thema Prozess- und Produktqualitätssicherung. Dabei handelte es sich um das Kerngebiet des Anforderungsmanagements in Sachen formaler Methoden und darum, wie solche formalen Methoden mittels CMMI im Prozess dazu beitragen können, die Prozess- und Produktqualität zu verbessern.

Interviewer: Das klingt interessant. Und was, denken Sie, sind die größten Risiken eines Softwareprojektes und -produktes?

Experte: Für mich ist wichtig, dass wir richtig verstehen müssen, was der Kunde braucht. Wenn man das verstanden hat, muss es aufgeschrieben werden, damit es beim Entwicklungsteam verständlich ankommt, um das richtige Produkt zu entwickeln. Das nennt sich Anforderungsspezifikation, worauf der Test auch basiert, der durch sogenannte Testfälle diese Anforderungen abdeckt. Dabei müssen diese Tätigkeiten kontrolliert ablaufen und es muss bekannt sein, wann und wie getestet wird. Zeit- und Geldfaktor sowie der Pfad von der Anforderung bis zum Test sind sehr wichtig.

Interviewer: Wenn wir solche Risiken auf einer Skala von 1 bis 4 einschätzen wollen, was würden Sie dafür geben?

Experte: Das Anforderungsmanagement würde ich sehr hoch einschätzen. Da würde ich eine 4 geben. Des Weiteren würde ich die Qualität und den Zeitpunkt, wann an den Kunden geliefert wird, benennen – da würde ich auch eine 4 geben.

Interviewer: Was denken Sie, welche Risikominderungsmaßnahmen können diesen Risiken entgegenwirken? Dazu möchte ich auch gerne eine Gewichtung von 1 bis 4 von Ihrer Seite, was diese Maßnahmen betrifft.

Experte: Richtige Planung sowie Einsatz erprobter Prozesse aus der Best Practice. Da kann ich nur sagen, dass CMMI ganz gut geeignet ist. Dafür würde ich auf der Skala eine 3 geben, da es manchmal sehr schwer ist, genau das richtige Prozessmodell anzuwenden. Sonst würde so eine Maßnahme den oben genannten Risiken gut entgegenwirken.

Interviewer: Wenn wir jetzt über Managementansätze für Minderungsmaßnahmen sowie Risiken reden, kann ich anhand der Gesprächsführung zusammenfassend folgende Ansätze aufzählen: Anforderungsmanagement, Projektmanagement und Prozessmanagement. Würden Sie das auch so sehen?

Experte: Ja, das ist richtig – und das ist genau das, was ein CMMI-Modell verlangt, neben den detaillierten Darstellungen zu den Artefakten sowie Quality Gates und auch People Management. CMMI basiert auf Erfahrungen und empirischen Ergebnissen. Dazu zählt auch eine gute Dokumentation der Arbeit während des Product Life Cycle.

Interviewer: Wenn wir bei CMMI bleiben als Managementansatz – was denken Sie, wie gut können auf einer Skala von 1 bis 4 die Einhaltung und Dokumentation der Forderungen solch eines Modells den Erfolg absichern?

Experte: Da spielen viele Faktoren eine große Rolle – unter anderem, wann man die Anforderungen niedergeschrieben hat, und die Qualitätssicherung der Deliverables; also das, was an den Kunden geht. Da habe ich schon eine 4 abgegeben. Das Konfigurationsmanagement und dessen Abstimmung mit dem Kunden zur Installation der Deliverables spielen eine große Rolle, wobei ich hier ein 3 gebe, da beim Kunden einige Freigaben und Genehmigungsprozesse durchlaufen werden müssen – vor allem, wenn der Kunde eigene Prozesse und viele Benutzer hat.

Interviewer: Wir haben bis jetzt über Projekte und Prozesse geredet. Was denken Sie über Produktrisiken, wenn wir die Fragen hinsichtlich des Produktes noch einmal anvisieren?

Experte: Da würde ich das Konzept des Produkts ansprechen, das die Basis der Anforderungen darstellt, und es als wichtig anerkennen. Das Konzept sollte von Fachleuten sowie mittels Brainstorming gut durchdacht und geprüft werden. Es gibt eben viele Produkte, und ein Benchmarking sowie Expertenwissen und Personalien sind hier angebracht.

Interviewer: Das Risiko, dass ein richtiges Konzept entwickelt und geprüft wird – was würde das auf der Skala von 1 bis 4 ergeben? Dazu möchte ich auch erfahren, was Ihrer Meinung nach die richtige Minderungsmaßnahme ist, um so einem Risiko entgegenzuwirken.

Experte: Das ist meiner Meinung nach sehr wichtig und dafür würde ich eine 4 geben. Da würde ich behaupten, dass Industrieexperten an dieser Stelle sehr gut geeignet sind. Dazu zählen auch die Prognosen für den Absatz und den geeigneten Prozess sowie die Wahl richtiger Literatur und Research-Quellen, um besser vorbereitet zu sein. Das ist Aufgabe des Produktmanagements. Hier spielen viele Faktoren große Rollen – wie die Idee, der Markt und die Zielländer. Aber wenn ich auf der Skala diese Minderungsmaßnahmen zusammenfassend bewerten würde, würde ich eine 3 geben.

Interviewer: Wenn wir wieder an die Managementkonzepte für die besprochenen Risiken und Minderungsmaßnahmen denken, in welche Kategorie würden Sie das Besprochene einordnen?

Experte: Da würde ich Prozesse und Produktentwicklung heranziehen, was man im üblichen Produktmanagement einsetzt. Was das ist – damit kenne ich mich leider nicht aus.

Interviewer: Wenn ich es kurz zusammenfasse, lese ich aus dem Gespräch heraus, dass Sie Best Practice und Literaturrecherche favorisieren, so dass weltweit recherchiert wird, um das Passende für das Produkt und das Unternehmen auszusuchen. Würden Sie dafür auch eine 3 geben?

Experte: Ich würde eine 3 geben – aber nur, wenn die Ergebnisse der Recherche mit Experten besprochen werden.

Interviewer: Nun möchte ich, wie im Vorfeld besprochen, den Bogen in Richtung nachhaltige Softwareentwicklung schlagen und Ihre Experten-Meinung dazu einholen, ob dies Chancen und Erfolge verspricht.

Experte: Aber natürlich. Ich bin von der Idee sehr begeistert und stoße zum ersten Mal auf solche Gedanken. Da spielen Faktoren wie Reusability und Open Source eine große Rolle, um nachhaltig zu sein. Dazu zählt, dass die Wartung der Software und deren Weitergabe mit minimalem Aufwand vonstattengehen. Das spart Zeit, Geld und vor allem Energie. Die Anzahl der Kerne in einem Prozessor sowie deren effiziente Benutzung würden da sehr entscheidend den nachhaltigen Erfolg beeinflussen. Da bin ich der Meinung, dass die universitären Einrichtungen die kommenden Generationen für so ein Thema sensibilisieren müssen, um das Thema begreiflich zu machen. Das Thema ist neu und wenige Leute haben sich darüber Gedanken gemacht.

Interviewer: Wenn Sie die oben genannten Aspekte und Risiken bezüglich Zeitverschwendung sowie Verlust von Geld und Energie hinsichtlich der grünen Software auf einer Skala von 1 bis 4 einordnen würden, was würden Sie geben?

Experte: Softwareentwicklung ist marktorientiert, da braucht man immer wieder schnelle Antworten und Lösungen. Es ist wichtig, aber kein Blocker – und da würde ich eine 3 geben.

Interviewer: Was sind Ihrer Meinung nach die Minderungsmaßnahmen dafür? Welchen Skalenwert würden Sie da geben? Und wie immer brauche ich Ihre Meinung zu einem Managementkonzept, das das Ganze kategorisiert.

Experte: Es ist kein Konzept, sondern eine Angelegenheit, die man sowohl mit dem Kunden als auch mit dem Team diskutieren muss. Dazu zählen die frühzeitige Spezifikation und Testplanungen sowie die Kommunikation intern und extern über grüne Software bei der Entwicklung. Ich würde dafür eine 3 auf der Skala geben. Was die Managementkonzepte angeht, würde ich behaupten, dass Anforderungsmanagement sowie Qualitätsmanagement und deren Werkzeuge dafür passend sind. Ich würde für solch ein Thema eine 4 auf der Skala in Sachen Minderungsmaßnahmen geben, da das Thema mit seiner Neuheit und Wichtigkeit immens wichtig für die Softwareindustrie ist.

Interviewer: Am Ende des Gesprächs möchte ich mich bedanken und Sie darauf aufmerksam machen, dass ich Ihre Erlaubnis brauche, um Ihren Namen sowie das Gespräch in einem Transkript aufzunehmen und das Ganze in einer Dissertation zu veröffentlichen. Ich hoffe, Sie haben da keine Einwände.

Experte: Da ich Unterstützer von Open Source bin – darüber haben wir ja auch gesprochen –, erlaube ich Ihnen, meinen Namen sowie das Interview zu transkribieren und zu publizieren.

3.2.2. Darstellung und Interpretation der Ergebnisse

In diesem Abschnitt wird exemplarisch der Ablauf dargestellt und die Ergebnisse nach einer kritischen Auseinandersetzung zusammenfassend wiedergegeben. Für eine detaillierte schrittweise Kategorisierung und Codierung ist der Bericht im Anhang der vorliegenden Arbeit heranzuziehen. Dabei werden computergestützte Programme und die dazugehörigen erworbenen notwendigen Studentenlizenzen eingesetzt. Die Ergebnisse der Inhaltsanalyse stellen die Basis für die Hauptuntersuchung dar, um aufbauend das generierte Modell durch empirische statistische Auswertung validieren zu können. Um die Details vor Augen zu führen, werden als Erstes die Transkription mit Zeitmarken und anschließend die Codierung bzw. Zusammenfassung der Kategorien mit Bildern bzw. Abbildungen exemplarisch erläutert, um den Nachweis zu erbringen, dass computergestützte Programme bei der Transkription und der qualitativen Inhaltsanalyse eingesetzt worden sind. Für weiterführende Details der Verwendung der Tools ist auf die Benutzerhandbücher zu verweisen, die auf der Webseite der Hersteller zur Verfügung stehen.

3.2.2.1. Transkription und Zeitmarkierungen

Abbildung 30 bis Abbildung 32 zeigen exemplarisch einen Ausschnitt der Transkriptionen mit Zeitmarkierung der Interviews.

The image shows a screenshot of a transcription software interface. On the left, there is a list of transcript segments with time markers (e.g., #00:00:00-0#) and text. A magnifying glass icon is positioned above the main transcript area. The main area displays a transcript with time markers and text. The interface includes a search bar, a list of segments, and a playback control bar at the bottom.

#00:00:00-0# Experte: Hallo! #00:00:23-0# Interviewer: hier ist Haider Karomi. Erst mal möchte ich mich bedanken, dass du dir Zeit genommen hast, um dich auf die Leitfragen vorzubereiten und das Interview durchzuführen. Ich möchte im Interview gerne per Sie bleiben. Da du schon vorbereitet und abgeholt bist, was Thema und Inhalt und Sinn und Zweck des Interviews sind, möchte ich direkt in das Interview einsteigen. #00:06:21-0# #00:06:21-0# Experte: Ja, sehr gerne. #00:06:44-1# #00:06:44-1# Interviewer: Welche Risiken können das Software-Projekt sowie -Produkt im Allgemeinen negativ beeinflussen? #00:07:53-4# #00:07:53-4# Experte: Schlechte Planung, nachträgliche Änderungen, schlechtes Management, falsche Werkzeuge, falsche Dienstleister bei der Client-Server-Architektur. #00:09:14-2# #00:09:14-2# Interviewer: Könnten auch Anforderungen der grünen Software als Risiko angesehen werden, wenn sie nicht rechtzeitig berücksichtigt werden? #00:10:52-4# #00:10:52-4# Experte: Ja, vor allem, wenn Software entwickelt wird, die sehr hardwarenah verwendet wird, z.B. Betriebssysteme oder Mikroprozessoren. Einige grüne Aspekte könnten ausschlaggebend sein, obwohl sie gesetzlich nicht vorgeschrieben sind, wie z.B. richtige Hardware und Programmiersprache, Architektur, keine unnötige Datenübertragung, geringer Speicherplatz durch effiziente Programmierung, Nutzung von Optimierungstools. #00:15:23-8# #00:15:23-8# Interviewer: Was halten Sie von Kategorien bei der Risikoabschätzung wie Projektmanagement, Team, Dienstleister etc.? Sollten da nicht einzelne Risiken bei der Abschätzung einzeln betrachtet werden? #00:17:48-1# #00:17:48-1# Experte: Ja, natürlich oder man macht eine Annahme, dass alle Risiken in dieser Kategorie die gleiche Gewichtung bei der Schätzung haben. Alle diese Kategorien könnten den Erfolg von Projekt und Produkt beeinflussen. #00:20:52-9# #00:20:52-9# Interviewer: Nun kommen wir auf die Minderungsmaßnahmen zu sprechen. Was, denken Sie anhand ihrer genannten Risiken, sind die wichtigsten Minderungsmaßnahmen? #00:22:54-1# #00:22:54-1# Experte: Best Practice und Benchmarking mit ähnlichen Projekten und Produkten. Das Weiteren Studien heranziehen, Experten befragen, optimistische Planung und reichlich Zeit einplanen; Prototypen-Entwicklung und dann weiter hoch skalieren. #00:25:35-8# #00:25:35-8# Interviewer: Wenn wir Skalen mit 1 ist gering und 4 ist hoch bei den Risiken nach dem schweren Grad und die dazugehörige Minderungsmaßnahmen einführen wie würden Sie die Risiken da einschätzen? #00:28:34-8# #00:28:34-8# Experte: Bei den Risiken: Projektplanung = 3, Lieferantenauswahl = 2. Bei den Minderungsmaßnahmen: Beraterintern oder extern = 4, aber das hängt vom Projekt und Know-how im Team ab. Puffer = 3, Best Practice = 4 (sehr wichtig). #00:32:14-2# #00:32:14-2# Interviewer: Zum Schluss möchte ich Sie fragen, ob Sie das ganze Thema der grünen Software und ihre Betrachtung durch die Risikoanalyse für sinnvoll halten und ob dies ein nachhaltiges Wirtschaften hervorbringt. Das betrifft vor allem den wissenschaftlichen und praktischen Teil der Dissertation und

Abbildung 30: Transkript erstes Interview mit F4 Tool. Quelle: Eigene Darstellung

#00:00:00-08 Interviewer: Schönen guten Tag, [REDACTED] hier ist Herr Karomi. #00:00:10-8#
 #00:00:10-8# Experte: Hallo, Herr Karomi. Ich freue mich, dass Sie anrufen. Wir hatten das Experteninterview vereinbart. #00:00:27-2#
 #00:00:27-2# Interviewer: Sehr schön! Ich rufe gerade über Skype an und werde dieses Interview aufzeichnen. Ich bin vorbereitet. Können Sie mich gut hören? #00:00:51-2#
 #00:00:51-2# Experte: Ja, aber Sie werden diese Aufzeichnung nur für Ihre Unterlagen verwenden? Oder werden Sie das anonymisiert in Ihrer Arbeit verwenden? #00:01:14-0#
 #00:01:14-0# Interviewer: Wenn Sie keine Einwände haben, würde ich Sie als Experten gerne namentlich erwähnen, da dadurch die Qualität meiner Arbeit verbessert wird. #00:01:38-0#
 #00:01:38-0# Experte: Sehr gerne. Wichtig ist aber, dass in der Arbeit nicht alles wortwörtlich übernommen wird, wie es ausgedrückt wird, sondern nur die wichtigen Passagen inhaltlich ausgewählt werden. #00:02:07-4#
 #00:02:07-4# Interviewer: Ja, dann können wir mit meinem Fragen starten. Vorab möchte ich erwähnen, dass ich einen Pretest mit einem ersten Interview zusammen mit Sebastian Stoll durchgeführt hatte, wo ich eigentlich durch ihn auf Sie aufmerksam geworden bin. Ich werde die Fragen sequentiell starten, aber immer wieder auch diagonal durch das Ganze, und mit der einen oder anderen Frage auch das komplette Thema wischendurch erfragen. Diese Vorgehensweise hat sich durch das erste Interview als Verbesserung ergeben, da während des Gesprächs immer der rote Faden beibehalten werden muss, um nicht den Fokus zu verlieren und damit viel Experten Know-how aufgeschrieben werden kann. Wichtig für mich ist, dass Sie mir kurz Ihre Erfahrungen in der Softwareentwicklung schildern, und speziell im Bereich grüne Software, um zu zeigen, dass Sie genau der richtige sind, um für dieses Interview zu meinem Thema ausgewählt zu werden. #00:04:38-9#
 #00:04:38-9# Experte: Mein Name ist Stefan Naumann, ich bin Professor für das Thema Nachhaltigkeit, Software und Umwelt mit Schwerpunkt Grundlagen der Mathematik und Informatik. Ich bin jetzt seit 2008 Professor an der Hochschule Trier am Standort Umweltcampus Birkenfeld. Früher habe ich im Bereich Java und Webseiten-Software im Bereich Umwelt ökologische Waren- und Sammelbestände entwickelt, dazu einiges im Bereich Maschinen-Learning. Mein Schwerpunkt liegt im Bereich Green Software, also wie kann man Software-Energieeffizienz und Nachhaltigkeit mit wenig Ressourcenverbrauch sowie langlebig entwickeln. Zum Portfolio gehören Java, JavaScript und C++ als Programmiersprachen. Meine langjährigen Erfahrungen in der Softwareentwicklung zeigten mir im Schwerpunkt Prozesse die Tatsache, dass sie ineffizient sind und das meistens wegen Kommunikationsproblemen. Da liegt das Problem bei der Kommunikation zwischen den Akteuren und meistens zwischen Entwickler und Nutzer der Software. Bei großen Projekten sind die Nutzer gar nicht dabei, sondern Leute dazwischen, die die Software gar nicht verwenden. Das führte immer dazu, dass die Prozesse sich verzögern und dass die Software nicht das machen kann, was sie soll. Dazu kam, dass die Green-IT- und Nachhaltigkeitsaspekte wie Wartungsfreundlichkeit und Update mit Berücksichtigung des Ressourcenbedarfs gar keine Rolle gespielt haben. Nun habe ich viele kritische Punkte erwähnt, aber nichtsdestotrotz kann man mit Software bezüglich Umwelt und Nachhaltigkeit viel erreichen, was ohne Software gar nicht möglich wäre: Systeme, die die Umwelt unterstützen und schonen auf



Abbildung 31: Transkript zweites Interview mit F4 Tool. Quelle: Eigene Darstellung

Das MP3-Format der aufgezeichneten Interviews mit dem Text in RTF-Format wurde einzeln im Tool eingefügt, so dass eine automatische Zeitmarkierung für die Transkription möglich war. Das Ergebnis der einzelnen Transkriptionen der drei Interviews im RTF-Format wurde dann zwischengespeichert, damit anschließend eine Inhaltsanalyse erfolgen konnte.

#00:00:00-0# Interviewer: [REDACTED] #00:00:03-4#
 #00:00:03-4# Experte: Hallo Herr Karomi. #00:00:06-9#
 #00:00:06-9# Interviewer: Ich möchte mich bei Ihnen dafür bedanken, dass Sie sich Zeit genommen haben, und jetzt in 20 Minuten meine Fragen sowie mein Thema mit Ihnen besprechen, wie im Vorfeld abgesprochen wurde. Ich beginne damit, dass Sie Ihre eigenen Erfahrungen in der Softwareentwicklung kurz anreißen. #00:00:46-2#
 #00:00:46-2# Experte: Ich habe in vielen Firmen gearbeitet und schnell erkannt, dass die Weiterentwicklung im Rahmen einer Dissertation einen wichtigen Schritt in Richtung Selbst- und beruflicher Weiterentwicklung für mich darstellt. Jetzt arbeite ich im Product Line Management, und es ist bei mir richtig angekommen, was wichtig ist, wenn Firmen Software entwickeln. Für mich ist immens wichtig, dass man erkennt, was man tut sowie wann und wie man Software entwickelt, da deutet ich auf die Prozesse hin. Dazu kommt, dass man frühzeitig erkennen muss, wie viel Manpower man dafür benötigt. #00:02:03-0#
 #00:02:03-0# Interviewer: Wovüber haben Sie Ihre Doktorarbeit geschrieben? #00:02:09-1#
 #00:02:09-1# Experte: Meine Doktorarbeit beschäftigte sich mit dem Thema Prozess- und Produktqualitätssicherung. Dabei handelte es sich um das Kerngebiet des Anforderungsmanagements in Sachen formaler Methoden und darum, wie solche formalen Methoden mittels CMMI im Prozess dazu beitragen können, die Prozess- und Produktqualität zu verbessern. #00:02:46-7#
 #00:02:46-7# Interviewer: Das klingt interessant und was, denken Sie, sind die größten Risiken eines Software-Projektes und -Produktes? #00:03:00-6#
 #00:03:00-6# Experte: Für mich ist wichtig, dass wir richtig verstehen müssen, was der Kunde braucht. Was man das verstanden hat, muss es aufgeschrieben werden, dann es beim Entwicklungsteam verständlich ankommt, um das richtige Produkt zu entwickeln. Das nennt sich Anforderungsspezifikation, worauf der Test auch basiert, der durch so genannte Testfälle diese Anforderungen abdeckt. Dabei müssen diese Tätigkeiten kontrolliert ablaufen und es muss bekannt sein, wann und wie getestet wird. Zeit- und Geldfaktor sowie der Pfad von der Anforderung bis zum Test sind sehr wichtig. #00:04:13-1#
 #00:04:13-1# Interviewer: Wenn wir solche Risiken in einer Skala von 1 bis 4 einschätzen wollen, was würden Sie dafür geben? #00:04:29-7#
 #00:04:29-7# Experte: Das Anforderungsmanagement würde ich sehr hoch einschätzen. Da würde ich eine 4 geben. Des Weiteren würde ich die Qualität und den Zeitpunkt, wann an den Kunden geliefert wird, benennen da würde ich auch eine 4 geben. #00:05:02-0#
 #00:05:02-0# Interviewer: Was denken Sie, welche Risikominierungsmaßnahmen können diesen Risiken entgegenwirken? Dazu möchte ich auch gerne eine Gewichtung von 1 bis 4 von Ihrer Seite, was diese Maßnahmen betrifft. #00:05:26-4#
 #00:05:26-4# Experte: Richtige Planung sowie Einsatz erprobter Prozesse aus der Best Practice. Da kann ich nur sagen, dass CMMI ganz gut geeignet ist. Dafür würde ich auf der Skala eine 3 geben, da es manchmal sehr schwer ist, genau das richtige Prozessmodell anzuwenden. Sonst würde so eine Maßnahme den oben genannten Risiken ganz gut entgegenwirken. #00:06:13-5#

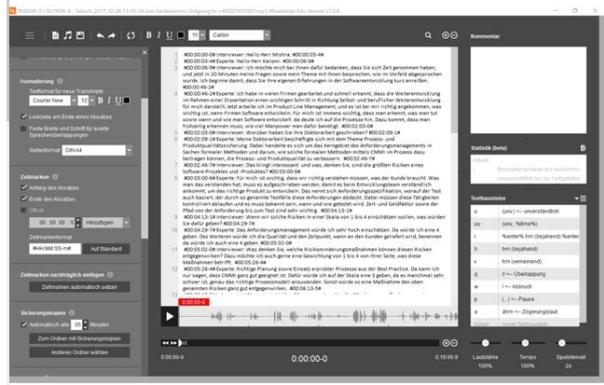


Abbildung 32: Transkript drittes Interview mit F4 Tool. Quelle: Eigene Darstellung

3.2.2.2. Inhaltsanalyse bzw. Codierung und Gruppierungen

Die Strukturierung des Materials und die anschließende Inhaltsanalyse beginnen beim Laden der Interviews im Werkzeug F4 Analyse in der Studentenlizenz, so dass weitere Analyseschritte durchgeführt werden können. Abbildung 33 zeigt exemplarisch die drei geladenen Interviews im Werkzeug F4 Analyse. Die Analyse folgt dem Vorgang, wie eingangs beschrieben. Eine Detailbeschreibung ist im Anhang als automatisch generierter Bericht dokumentiert. Für jedes Interview werden Notizen sowie Memos erstellt. Bei den Notizen werden Anmerkungen über den Experten und das Interview festgehalten. Memos dienen den Anmerkungen, Paraphrasen sowie Interpretationen. Abbildung 34 zeigt exemplarisch den Einsatz der Notizen und die Abbildung 34 stellt das Zusammenfassen der Anmerkungen bezüglich des Inhaltes und der Interpretation dar. Beide Abbildungen wurden anhand des ersten Interviews exemplarisch ausgewählt.

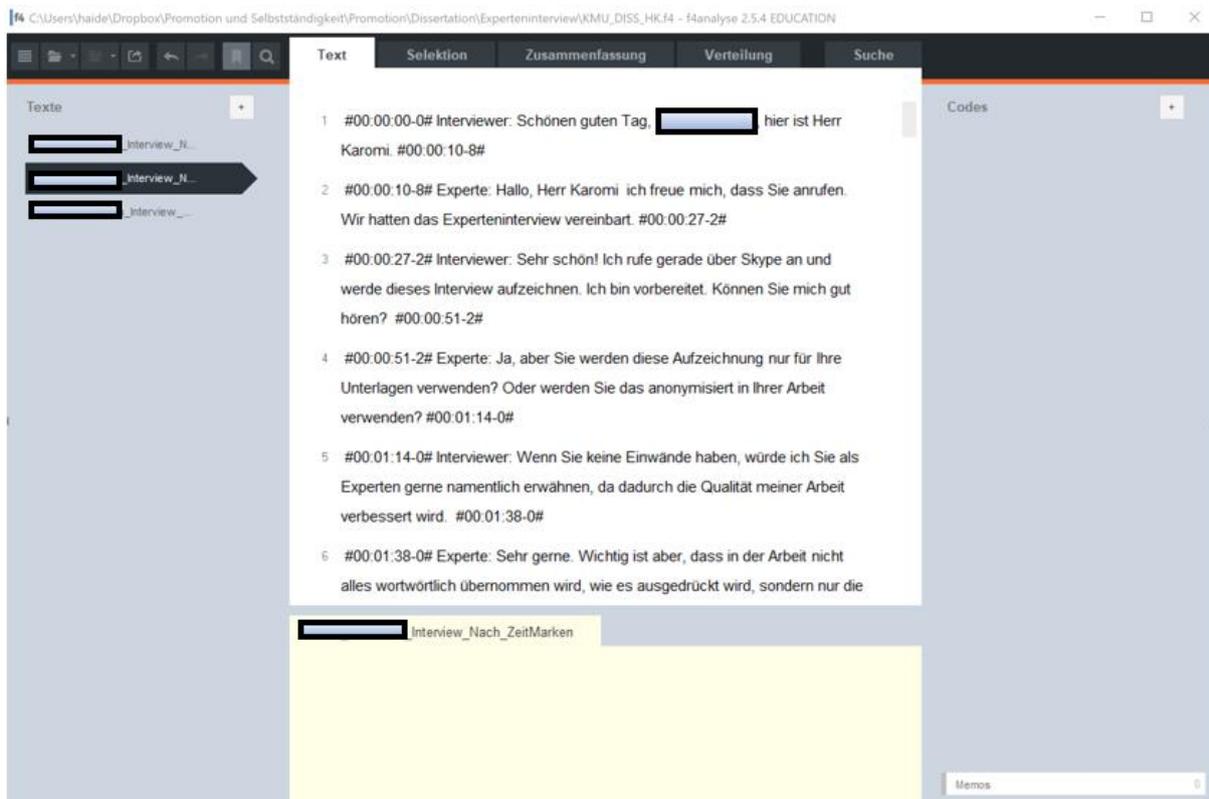


Abbildung 33: Beginn der Inhaltsanalyse der drei Interviews beim Laden der transkribierten Interviews im Werkzeug F4Analyse: Quelle: eigene Darstellung

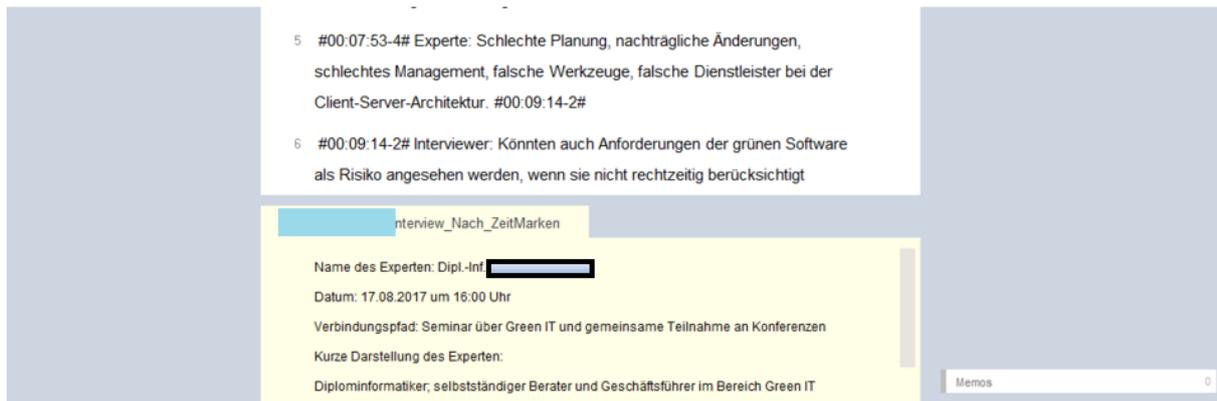


Abbildung 34: Notizen bei der Strukturierung des Materials. Quelle: eigene Darstellung

Als weiterer Strukturierungsschritt des Materials dienen Codesysteme. Abbildung 35 bis Abbildung 37 zeigen exemplarisch die Zusammenfassung und Interpretation anhand der Codes.

- 5 #00:07:53-4# Experte: Schlechte Planung, nachträgliche Änderungen, schlechtes Management, falsche Werkzeuge, falsche Dienstleister bei der Client-Server-Architektur.
- Allgemeine Risiken der Software Entwicklung
- #00:09:14-2#
- 6 #00:09:14-2# Interviewer: Könnten auch Anforderungen der grünen Software als Risiko angesehen werden, wenn sie nicht rechtzeitig berücksichtigt werden? #00:10:52-4#
- 7 #00:10:52-4# Experte: Ja vor allem, wenn Software entwickelt wird, die sehr hardwarenah verwendet wird, z.B. Betriebssysteme oder Mikroprozessoren.
- Green Software spielt bei hardwarenahe Entwicklung grosse Rolle
- Einige grüne Aspekte könnten ausschlaggebend sein, obwohl sie gesetzlich nicht vorgeschrieben sind, wie z.B. richtige Hardware und Programmiersprache, Architektur, keine unnötige Datenübertragung, geringer Speicherplatz durch effiziente Programmierung, Nutzung von

Abbildung 35: Memos bei der Strukturierung des Materials. Quelle: eigene Darstellung

Codes	
▶ Erfolgsindikatoren	0 (0)
▶ Risikominderungsmaßnahmen	0 (0)
▶ Risiken	0 (0)

Abbildung 36: Code System Deduktive. Quelle: eigene Darstellung

The screenshot shows a software analysis tool interface. The main window displays a text document with several segments highlighted in different colors (blue, yellow, red). The right sidebar shows a code system with the following structure:

- Erfolgsindikatoren (8)
 - Produkt Erfolgsindikatoren (5)
 - Allgemeine Erfolgsindikatoren Best Practice (1)
 - Green/Grüne/ Erfolgsindikatoren (13)
 - Soziale Ebene (2)
 - Ökologische Ebene (3)
 - Ökonomische Ebene (3)
 - Projekt Erfolgsindikatoren (6 (10))
- Risikominderungsmaßnahmen (8 (42))
- Risiken (8)
 - Produkttrisiken (2)
 - Imageverlust und Rückrufaktionen/ Qualität (3)
 - Umweltschädigung (2)
 - Entwicklungsaufwand und Zeit (1)
 - Kosten/Preis/Kunde (8)
 - Projekttrisiken (8)
 - Markt (1)
 - Entwicklungszeit/Kosten (1)
 - Fluktuation (1)
 - Dokumentation (1)
 - Expertise/ Know-how (3)
 - Managementansätze (3)

Abbildung 37: Codesystem Induktiv. Quelle: eigene Darstellung

Der beschriebene Ablauf der Inhaltsanalyse stellt einen Bericht zur Verfügung, welcher im Anhang der vorliegenden Arbeit zu sehen ist. Der Bericht bedarf einer kritischen Auseinandersetzung, um die erzielten Ergebnisse der Inhaltsanalyse und die neuen Aussagen in einem Kategoriensystem verstehen zu können, was im Folgenden beschrieben wird.

3.2.2.3. Interpretation der Ergebnisse

Die Experten zeigten ihre Einschätzungen bezüglich Erfolgsfaktoren sowie Risikofaktoren in der Softwareentwicklung. Die Bereiche der grünen Software und grüne Softwareindikatoren

waren im Visier, ob die Experten sie als Minderungsmaßnahmen ansehen. Beispiele aus der Praxis sowie die Notwendigkeit für Kommunikation, Prozesse und Rahmenwerke bei der Entwicklung von Software wurden mehrfach betont. Weiterhin wurden statistische Skalen absichtlich abgefragt, um sie für weitere Schritte der vorliegenden Arbeit heranzuziehen, so dass die Grundlagen für eine empirische Hauptuntersuchung abgebildet werden können. Durch die Interviews ist sowohl praktisches als auch theoretisches Wissen generiert worden, was die Abbildung 38 zeigt.



Abbildung 38: Einordnung der Experten zum generierten Wissen. Quelle: Eigene Darstellung

Die Ähnlichkeiten und Unterschiede der Aussagen der Experten sind in Abbildung 39 und Abbildung 40 zu sehen.

Ähnlichkeit	Interviewe 1	Interviewe 2	Interviewe 3
Frage: Erfahrung	Studium Informatik, praktische Erfahrung in der SW Entwicklung sowie Publikationen	Studium Informatik, praktische Erfahrung in der SW Entwicklung sowie Publikationen	Studium Informatik, praktische Erfahrung in der SW Entwicklung sowie Publikationen
Frage: Risiken	Alle Risiken des Theorieteils der vorliegenden Arbeit	Alle Risiken des Theorieteils der vorliegenden Arbeit	Alle Risiken des Theorieteils der vorliegenden Arbeit
Frage: Maßnahmen	Grüne Software Indikatoren	Grüne Software Indikatoren	Grüne Software Indikatoren
Frage: Ansätze	Produktmanagement, Anforderungsmanagement sowie Projektmanagement	Produktmanagement, Anforderungsmanagement sowie Projektmanagement	Produktmanagement, Anforderungsmanagement sowie Projektmanagement



Abbildung 39: Ähnlichkeiten bei den Aussagen der Experten. Quelle: Eigene Darstellung

Unterschiede	Interviewe 1	Interviewe 2	Interviewe 3
Frage: Erfahrung	Green IT	E Commerce	Green Software und Lehre
Frage: Risiken	Lieferkette, extra im Unterschied zu anderen betont wurde.	Lieferzeiten und Abstimmung mit dem Kunden extra betont wurden.	Kommunikation und Rahmenwerke innerhalb und außerhalb des Unternehmens waren extra betont
Frage: Maßnahmen	Effizientes Programmieren	Benutzerinformation, Transparenz sowie Standardeinstellung minimaler Ressourcenverbräuche	Open Source, inhärentes Produkt Design und Prüfung
Frage: Ansätze	Lieferantenmanagement	Anforderungsmanagement und Projektmanagement	Produktmanagement und Qualitätsmanagement



Abbildung 40: Unterschiede bei den Aussagen der Experten. Quelle: Eigene Darstellung

Bevor die Ergebnisse der Inhaltsanalyse detailliert interpretiert werden, sollen die kognitiven Vorteile der Datenerhebungsmethode (Leitfadeninterview) sowie Auswertungsmethode (qualitative Inhaltsanalyse) vor Augen geführt werden. Der Einsatz solcher Methoden hat

dazu geführt, dass das Unbewusste aus dem Theorieteil der vorliegenden Arbeit bewusst geworden ist. Beispiele dafür wären die Differenzierungen am Beispiel der Stand-alone Software sowie der Fakt des effizienten Programmierens als auch die Tatsache, dass eine Softwarekomponente millionenfach verwendet wird. Neben der Steigerung des Bewusstseins sowohl in Bezug auf den Theorieteil als auch den Forschungsfragen und Thesen der Arbeit sowie die Bestätigung der Thesen, ergaben das Leitfadenterview und die anschließende Inhaltsanalyse folgende neue Aussagen:

1. Die Arbeit wurde weiter eingegrenzt, wobei sich die Eingrenzung auf den Theorieteil und die Konzentration auf die Stand-alone-Softwareapplikation bezieht. Dies veranlasste die Umbenennung des Arbeitstitels.
2. Bei der Kategorie der Green by Software wurde deutlich, dass sie mit der Zeit zum Green in Software eingeordnet wird, um eine Prognose des nachhaltigen Erfolges ermöglichen zu können.
3. Der Einfluss der grünen Softwareindikatoren auf die Risiken als Minderungsmaßnahmen wurde bestätigt. Die quantitativen Abschätzungen der Experten haben deutlich hervorgehoben, dass der nachhaltige Erfolg dadurch gesteigert werden kann.
4. Die Wissensgenerierung war bezüglich des wissenschaftlichen Diskurses der Thematik *Green in Software* und *Green by Software* gegeben, indem deutlich betont wurde, dass die Wissenschaft das Thema *Green in Software* beiseite legte und nur das Thema Green in Software weiterverfolgt. Dadurch gewinnt die vorliegende Arbeit in den wissenschaftlichen Diskussionen an Gewicht, da hierbei eine Fragestellung bezüglich Kostenminimierung durch *Green in Software* aufgeworfen und bestätigt wird.
5. Neue Erfolgsfaktoren und grüne Softwareindikatoren mit praktischen und gelebten Beispielen und ihre Analogien in der industriellen Softwareentwicklung wurden gesammelt, gruppiert und kategorisiert. Das Thema effizientes Programmieren und die vorgeschlagene Managementansätze als Risikominderungsmaßnahme und Best Practice werden bewusst, deutlich und differenziert hervorgehoben.

Zusammenfassend waren alle Experten der Meinung, dass den Risiken der Softwareentwicklung durch grüne Softwareindikatoren begegnet werden soll, was einen direkten bzw. indirekten messbaren nachhaltigen Erfolg verspricht. Abbildung 41 zeigt diese Zusammenfassung exemplarisch und abstrakt.

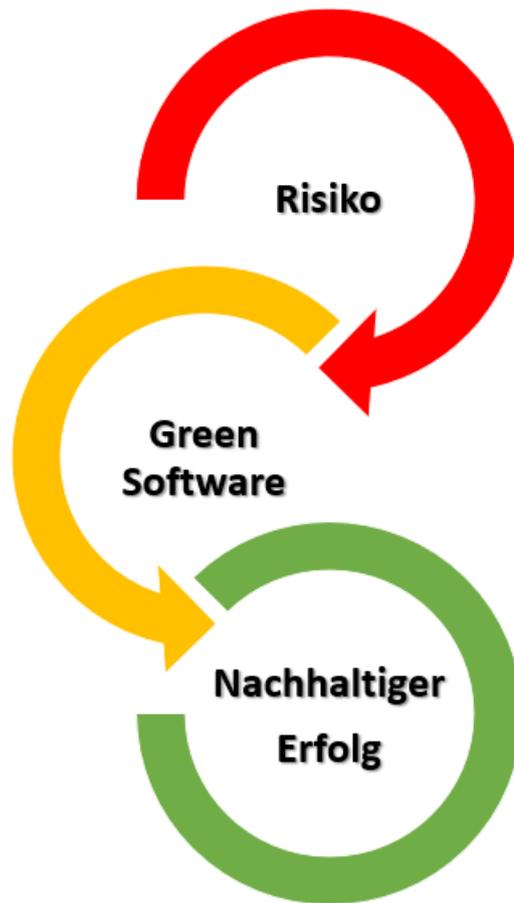


Abbildung 41: Abstraktes zusammenfassendes Ergebnis der Interviews und der Inhaltsanalyse. Quelle: Eigene Darstellung

Eine weitere ausführliche granulare Behandlung der Ergebnisse aus der Inhaltsanalyse ist im folgenden Kapitel: „Weiterentwicklung des Instrumentes auf Basis der Vorstudie“ beschrieben. Dabei werden Rückschlüsse auf den Theorieteil gezogen sowie alle notwendigen Vorbereitungen auf die Hauptuntersuchung vorgenommen.

3.2.3. Weiterentwicklung des Instrumentes auf Basis der Vorstudie

Die Weiterentwicklung des Instrumentes bedarf einer kritischen Auseinandersetzung, um deutlich hervorzuheben, was die Voruntersuchung gegenüber der empirischen Hauptuntersuchung aufbringen kann. Das vorläufige Instrument auf Basis der Literaturrecherche stellt die Risiken und ihre Minderung in den Vordergrund. Dabei ging es um eine reine Bewertung und anschließende Interpretation der Literatur und das Heranziehen von Best Practice und erprobte Methoden. Um aber die Quantifizierung der Minderungsstärke für das vorläufige Modell durchzuführen und eine Prognose für den nachhaltigen Erfolg abzugeben, bedarf es einer Zusammenhangsanalyse, Abgrenzung, Einfluss-Wirkung-Analyse sowie einer Operationalisierung eines Modells, um eine Vorhersage treffen zu können. Infolgedessen stellt die Weiterentwicklung des Instruments aus dem vorläufigen Instrument zwei Instrumente zur Verfügung: eines zur Risikoanalyse, Bewertung und für das Management, welches nachhaltige grüne Indikatoren als Minderungsmaßnahme der klassischen traditionellen Risikomanagement in der Entwicklung von Applikationssoftware als Maßstab einsetzt, und ein zweites zur Prognose des nachhaltigen Erfolges. Die Ergebnisse der qualitativen Interviews und der Inhaltsanalyse untermauern die Ergebnisse vom Theorieteil der vorliegenden Arbeit und bekräftigen die Notwendigkeit der vorliegenden Arbeit in der Forschung und Praxis um ein Werkzeug, welches Umwelt und Nachhaltigkeit in der industriellen Softwareentwicklung als Alleinstellungsmerkmal und Maßstab sowie Benchmark vorsieht.

Das Ergebnis des Theorieteils diene der traditionellen industriellen Softwareentwicklung bei einem Risikomanagementprozess sowie dazu, um die positive Wirkung auf ein Risiko durch grüne Softwareindikatoren aufzuzeigen. Die Reduzierung auf das Wesentliche sowie die weitere Eingrenzung durch die qualitative Forschung (Interviews/Inhaltsanalyse) und das generierte neue Wissen stellten ein Modell zur Prognose des nachhaltigen Erfolges in der Softwareentwicklung, speziell in der Applikationsentwicklung, dar. Dabei sind die qualitativen Aussagen bezüglich der Einflussnahme bzw. Ursache-Wirkungsbeziehung zwischen Erfolgs- und Risikofaktoren und grünen Softwareindikatoren deutlicher geworden. Abbildung 42 zeigt den schematischen Aufbau.

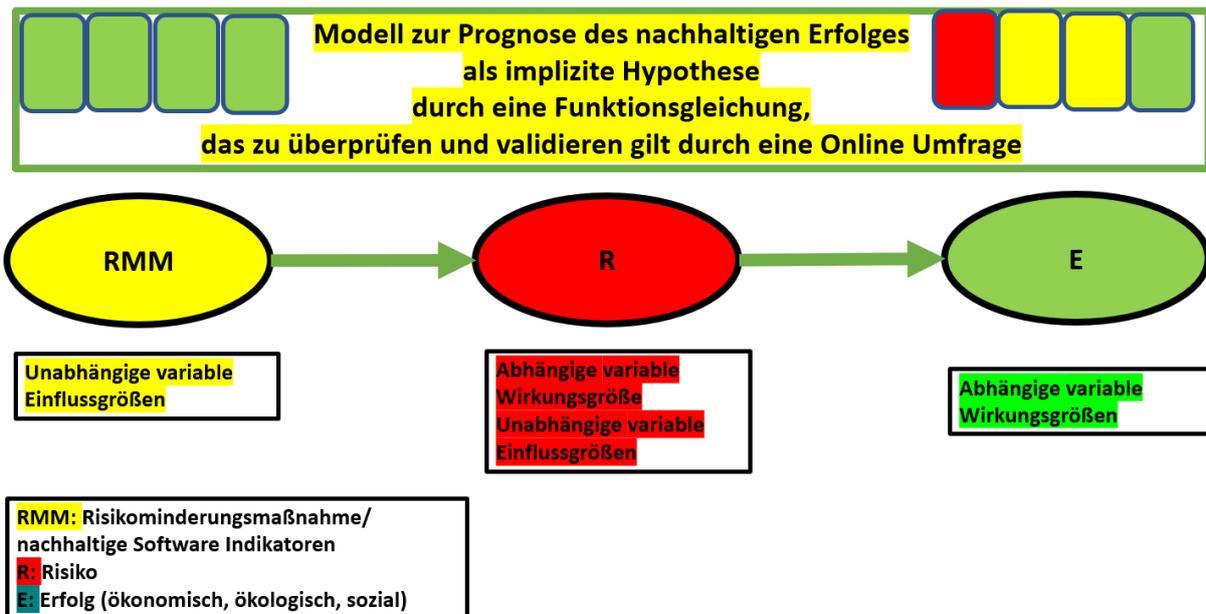


Abbildung 42: Schematischer Aufbau des Modells. Quelle: eigene Darstellung

In Abbildung 43 ist deutlich erkennbar, dass die Risikominderungsmaßnahmen anhand der Indikatoren der nachhaltigen grünen Software einen direkten Einfluss auf die Risiken haben. Das Risiko beeinflusst den Erfolg. Dabei ist der Pfad von der Ursache zur Wirkung angezeichnet, um den Inhaltsrahmen voneinander zu trennen. Der fließende Übergang von dem schematischen Aufbau des Modells zu einer inhaltlichen Darstellung der Abstraktion ist in Abbildung 43 zu sehen. Durch die Inhaltsanalyse war es sowohl qualitativ als auch quantitativ möglich, eine Kategorisierung sowie Eingrenzung der indexierten Indikatoren aus dem Theorieteil vorzunehmen, um die Forschungsfragen beantworten zu können sowie Thesen der Arbeit bestätigen zu können. Somit ist die Grundlage dafür gelegt, dass ein Hypothesenmodell aufgestellt werden kann, welches in der Hauptuntersuchung quantitativ beurteilt werden kann.

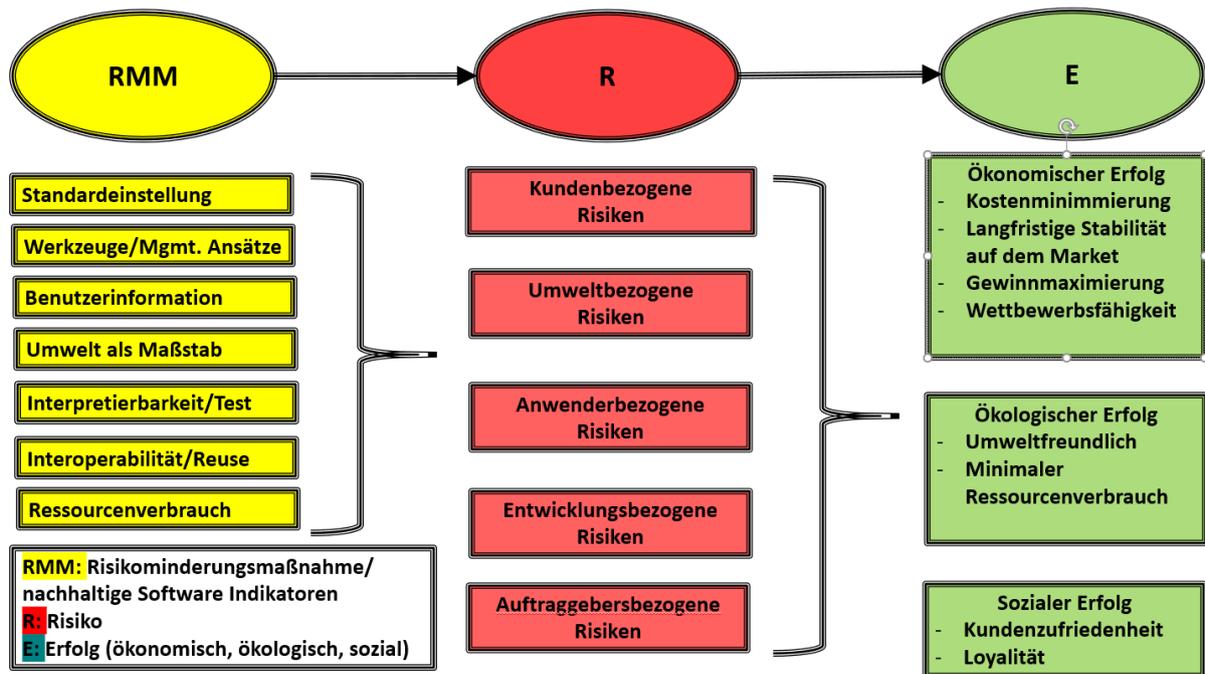


Abbildung 43: Die inhaltliche Darstellung des Modells. Quelle: eigene Darstellung

Betrachtet man die Abbildung genau, um so ein besseres Verständnis für das Ergebnis zu erhalten, bedarf es einer kognitiven Begründung für die ausgewählte Reihenfolge und die Kategorien. Die 7-5-3 Reduzierung stellt einen Kreislauf dar, der auf Grundlage des Lebenszyklus der Software unter Berücksichtigung der Hardware basiert. Dadurch erreicht man eine frühzeitige Steuerung und die Möglichkeit einer rechtzeitigen Regelung, um eine langfristige nachhaltige Stabilität zu ermöglichen. Die folgenden Tabellen beschreiben die Wirkung zwischen RMM als Nachhaltigkeitsindikatoren und den dazugehörigen Risiken und Erfolgsfaktoren, welche das Hypothesenmodell darstellen.

Eine Betrachtung und Unterscheidung der kundenbezogenen Risiken und auftraggeberbezogene Risiken ist es zur besseren Verständlichkeit an dieser Stelle angebracht. Da sich der Auftraggeber zuweilen innerhalb des Unternehmens befindet, sollte eine Abgrenzung zur Kundensicht hervorgehoben werden. Dadurch erreicht man eine verallgemeinerte Darstellung hinsichtlich des beschriebenen Kreislaufes. Weitere Kategorisierungen und Reduzierungen wären an dieser Stelle auf Basis der Ergebnisse der Inhaltsanalyse nicht mehr realistisch.

Tabelle 40: Standardeinstellung

RMM	Risiko	Erfolg
<p>Standardeinstellung Dabei handelt es sich um die gelieferte Software nach der Installation bzw. bei der ersten Anwendung. Der Fokus liegt auf dem minimalen Ressourcenverbrauch der Standardeinstellung.</p>	<p>Kundenbezogene Risiken Keine akzeptable Benutzerfreundlichkeit</p>	<p>Ökonomischer Erfolg Kundenbindung, Schnelles ROI, Reduzierte Entwicklungskosten</p>
	<p>Umweltbezogene Risiken Die Höhe des Strom- und Hardwareverbrauches</p>	<p>Ökologischer Erfolg Minimaler Ressourcenverbrauch, Green BY Default, Green BY Design</p>
	<p>Anwenderbezogene Risiken Keine intuitive Bedienung</p>	<p>Sozialer Erfolg Bessere Kommunikation und Feedbackschleifen</p>
	<p>Entwicklungsbezogene Risiken Höhe des Personalaufwandes (menschliche Ressource), verzögerte Lieferungen, Mangel an Qualität, verfehltes Produkt</p>	
	<p>Auf den Auftraggeber bezogene Risiken Kein Feedback vom und zum Auftraggeber möglich</p>	

Tabelle 41: Werkzeuge/Mgmt. Ansätze

RMM	Risiko	Erfolg
Werkzeuge/Mgmt. Ansätze	Kundenbezogene Risiken Mangelnde Kommunikation und Feedbackschleifen	Ökonomischer Erfolg Minimierung der Entwicklungskosten
	Umweltbezogene Risiken Späte Einbindung der Umweltaspekte, sodass eine rechtzeitige Reaktion nicht mehr möglich ist	Ökologischer Erfolg Umwelt als Maßstab sowie Reduzierung des Ressourcenverbrauches
	Anwenderbezogene Risiken Späte Einbindung der Benutzerfreundlichkeit, sodass eine rechtzeitige Reaktion nicht mehr möglich ist	Sozialer Erfolg Wissensgenerierung und Cooperate Social Responsibility Vermeidung von Konflikten und Reduzierung der Missverständnisse
	Entwicklungsbezogene Risiken Konflikte/Fluktuation/Maßstab für die Entwicklung	
	Auf den Auftraggeber bezogene Risiken Mangelnde Kommunikation und Feedbackschleifen	

Tabelle 42: Benutzerinformation & Interpretierbarkeit/Test

RMM	Risiko	Erfolg
Benutzerinformation	Kundenbezogene Risiken Falscher Umgang mit Reklamationen und Rückrufaktionen	Ökonomischer Erfolg Haftung und Garantie können eingehalten werden
	Umweltbezogene Risiken Trittbrettfahrer Syndrom ¹² , Resilienz	Ökologischer Erfolg Minimierung des Ressourcenverbrauches
	Anwenderbezogene Risiken Falsche Bedienung Trittbrettfahrer Syndrom Minderung von Green IT-Resilienz ¹³ , indirekte Kostenentstehung, was beim Einkauf nicht kalkulierbar war	Sozialer Erfolg Bewusstes Handeln bei der Verwendung von Gütern (speziell Software-getriebene Geräte)
	Entwicklungsbezogene Risiken Fehlende Transparenz, keine Wiederverwendung, möglich verfehlte Verifikation/Validierung	
	Auf den Auftraggeber bezogene Risiken Alle Risiken zusammen	

¹² Als „Trittbrettfahrer“ werden Leute bezeichnet, die ein Produkt oder eine Dienstleistung genießen, ohne dafür zu bezahlen. Trittbrettfahrer kommen oft bei *öffentlichen Gütern* vor, resp. allgemein bei Gütern, bei welchen man die Nutzer nicht ausschließen kann (vgl. Hilty et al., 2017).

¹³ „Widerstandsfähigkeit gegenüber Störungen. Bezüglich Green IT bedeutet das sowohl für Anwender als auch Unternehmen, dass keiner bereit bzw. motiviert ist, für grüne Alleinstellungsmerkmale zu zahlen oder investieren“ (vgl. Hilty et al., 2017).

RMM	Risiko	Erfolg
Interpretierbarkeit/Test	Kundenbezogene Risiken Mangelnde Safety und Security	Ökonomischer Erfolg Wettbewerbsvorteil und höhere Marktanteile Haftung und Garantie können transparent unterschieden werden.
	Umweltbezogene Risiken Keine Transparenz bei der Messung des Energieverbrauchs der Anwendungen (Features innerhalb des Produktes auf Basis der Standardeinstellung)	Ökologischer Erfolg Alleinstellungsmerkmal bei der transparenten Verwendung von Ressourcen
	Anwenderbezogene Risiken Missbrauch von Datenschutz, Safety und Security	Sozialer Erfolg Rechtzeitige Vermeidung von Diskriminierung und Erhöhung des Bewusstseins der Gesellschaft für Innovationen
	Entwicklungsbezogene Risiken Spätes und falsches Verifizieren und Validieren der Minderungsmaßnahmen	
	Auf den Auftraggeber bezogene Risiken Alle Risiken zusammen, Vermutungscharakter beim Stand der Technik kann nicht bewiesen werden	

Tabelle 43: Interoperabilität/Reuse sowie Ressourcenverbrauch

RMM	Risiko	Erfolg
Interoperabilität/Reuse	Kundenbezogene Risiken Spätes Reagieren auf Innovationen und kurzfristige Änderungen von Marktanforderungen	Ökonomischer Erfolg Flexibilität bei geänderten Anforderungen, schnelles Reagieren auf Reklamationen. keine Verletzung der Gesetzmäßigkeiten der freien Wirtschaft
	Umweltbezogene Risiken Erhöhung von digitalem Müll	Ökologischer Erfolg Frühzeitige Vermeidung von digitalem Müll
	Anwenderbezogene Risiken Zwang zum Kauf von neuen Produkten, Reklamationen und Ärger beim End-User	Sozialer Erfolg Bewusste Freiheit der Bürger für die Kaufentscheidung, Vermeidung von Konflikten und Ärgernissen beim End-User
	Entwicklungsbezogene Risiken Erhöhung des Aufwandes bei geänderten Anforderungen. Reaktionen auf Reklamationen/Feedbackschleifen verzögern sich, verschlechterte Kommunikation und Förderung des Stillen-Post-Syndroms	
	Auf den Auftraggeber bezogene Risiken Alle Risiken zusammen	

RMM	Risiko	Erfolg
Ressourcenverbrauch Rechtzeitige Berücksichtigung des minimalen Ressourcenverbrauches by Design und by default	Kundenbezogene Risiken Abwanderungen von End-Usern	Ökonomischer Erfolg Kostenminimierung sowohl bei der Entwicklung als auch beim End-User, Alleinstellungsmerkmal und Vermeidung von Reklamationen sowie Erhöhung der Kunden-Loyalität, Vermeidung von Verschwendungskosten
	Umweltbezogene Risiken Erhöhung des Ressourcenverbrauches, Förderung von Obsoleszenz ¹⁴	Ökologischer Erfolg Minimierung des Ressourcenverbrauches, Vermeidung von unnötigem Abfall
	Anwenderbezogene Risiken Indirekte Kostenentstehung, was beim Einkauf nicht kalkulierbar war	Sozialer Erfolg Gutes Gewissen den Kunden - auch bei intensiver Nutzung, Vermeidung des Trittbrettfahrer-Syndroms
	Entwicklungsbezogene Risiken Maßstab für die Entwicklung bzw. Zweckbestimmung wird aus den Augen verloren	
	Auf den Auftraggeber bezogene Risiken Alle Risiken zusammen	

Tabelle 40 bis Tabelle 43 bilden ein zusammengefasstes Ergebnis der Inhaltsanalyse und des Hypothesenmodells ab. Es bedarf jedoch weiterer Untersuchungen, um das Ergebnis zu validieren und zu falsifizieren, damit es zu einer Prognose des nachhaltigen Erfolges kommen kann.

¹⁴ Obsoleszenz bedeutet den Bedarf für eine Erneuerung der Hardware/Produkt bei jedem neuen Software Feature, um zum Kauf von neuen Produkten zu zwingen (vgl. Hilty et al., 2017).

Das folgende Kapitel 3.3: „Empirische Hauptuntersuchung“ soll dabei helfen, sowohl die Risiko-Minderungsmaßnahmen und ihren Einfluss auf die Risiken zu quantifizieren als auch ein detailliertes Hypothesenmodell aufzustellen. Dies soll dazu dienen, eine Prognose bzgl. des nachhaltigen Erfolges abgeben zu können. Die Einfluss-Wirkung zwischen Minderungsmaßnahmen und Risiken wird anhand der Datenauswertung (Zusammenhänge) mittels Korrelation berechnet. Der direkte und indirekte Zusammenhang sowie Ursache-Wirkung werden durch eine lineare Regression abgebildet. Bei der Prognose werden Datenerhebungsmethoden, Datenaufbereitung und Datenauswertungsmethoden und ihre signifikanten Ergebnisse herangezogen, um eine gerichtete Ursache-Wirkung sowie Modellvalidierung erzielen zu können. Die Ergebnisse der empirischen Hauptuntersuchung stellen zum einen die Stärke des Zusammenhanges zwischen Minderungsmaßnahmen und Risiken dar, zum anderen wird das finale Instrument beschrieben, was für die Prognose des nachhaltigen Erfolges eingesetzt werden kann. Um das Hypothesenmodell zu validieren und zu überprüfen, wird eine quantitative Erhebungsmethode „Online-Befragung“ in Verbindung mit Analysemethoden der Regressionsanalyse eingesetzt. Dabei wird das Augenmerk darauf gelegt, dass sowohl die Qualitätsstandards als auch Testverfahren der quantitativen Forschung beim Einsatz der Online-Befragung eingehalten werden. Um den Weg von der qualitativen zur quantitativen Forschungsmethode durch einen roten Faden darzustellen, werden die Ergebnisse der Inhaltsanalyse in Form von Tabellen in einem Fragebogen umgesetzt. Dabei werden sowohl die einleitenden Worte an die Befragten als auch Filter und Abschlussfragen wiedergegeben. In der Hauptuntersuchung werden zum einen Hypothesen aufgestellt und zum anderen die Hauptuntersuchung und die dazugehörige deskriptive Auswertung schrittweise beschrieben. Die Zufallsstichprobe, die Hypothesen voraussetzt, wird bestimmt. Auf dieser Basis können die Skalen zur empirischen Messung besser ausgewählt werden. Demzufolge wird die Konstruktion des Fragebogens unter Berücksichtigung des Standes der vorliegenden Arbeit begründet und beschrieben und in Form einer Online-Befragung abgebildet. Die Befragung wird mittels Online-Werkzeugen durchgeführt und schriftlich und graphisch online zur Verfügung gestellt. Die anschließende Auswertung und Interpretation der Befragung werden mittels Werkzeugen vorgenommen und schriftlich und graphisch dargestellt, um sie in einem Prognoseinstrument als Ergebnis der vorliegenden Arbeit zu überführen und folgerichtig in der Praxis einzusetzen.

3.3. Empirische Hauptuntersuchung und deskriptive Auswertung

3.3.1. Vorgehensweise, eingesetzte Methoden und Verfahren

Das Ergebnis des vorigen Kapitels bildet ein Modell als Grundlage, welches weiterer Untersuchungen bedarf, um es zu faktorisieren, validieren und zu falsifizieren, was zur Prognose des nachhaltigen Erfolges führen wird. Für Validierungszwecke kommen quantitative Forschungsmethoden in Form einer Online-Befragung mittels LimeSurvey¹⁵ und eine anschließende statistische Auswertung mittels SPSS¹⁶ zum Einsatz. Dabei wird das Augenmerk darauf gelegt, dass sowohl die Voraussetzungen und Qualitätsstandards als auch Testverfahren der quantitativen Forschung beim Einsatz der Online-Befragung eingehalten werden. Um die Ziele der empirischen Hauptuntersuchung erreichen zu können, werden folgende Schritte nacheinander ausgeführt:

- Bestimmung und Begründung der Hypothesen
- Bestimmung der Grundgesamtheit und Auswahl des Stichprobenzugangs (Beachtung interne und externe Validität der Untersuchung)
- Konstruktion des Befragungsinhaltes (Rückkopplungen sind nicht auszuschließen, da sowohl die Literaturrecherche als auch das Ergebnis der Inhaltsanalyse sowie der Pre-Test herangezogen werden soll)
- Abbildung der Befragung und des Pre-Tests Online (LimeSurvey) mit eventuellen Änderungen des Befragungsinhaltes
- Durchführung der Untersuchung mit mindestens 40 Untersuchungsteilnehmern, um signifikante Aussagen bei der Interpretation der Ergebnisse zu erhalten
- Analyse und Auswertung der Untersuchung mittels SPSS und anschließende Interpretation, um ein finales Modell abbilden zu können. Dabei werden multivariate Analyseverfahren herangezogen, um sowohl den Zusammenhang (Faktorenanalyse)

¹⁵ „LimeSurvey ist eine freie Online-Umfrage-Applikation, die es ermöglicht, ohne Programmierkenntnisse Online-Umfragen zu entwickeln, zu veröffentlichen sowie deren Ergebnisse in einer Datenbank zu erfassen“ (Schmitz, 2020).

¹⁶ „SPSS bezeichnet eine Marke der Softwarefirma IBM, unter welcher Statistik- und Analyse-Software entwickelt und vertrieben wird. Das wichtigste Produkt der Marke ist die Statistiksoftware IBM SPSS Statistics, die zwischen 2009 und 2010 unter dem Namen PASW vermarktet wurde (vgl. Brosius, 2014, S. 21ff; vgl. Bühl, 2016, S. 17ff).

als auch den Einfluss bzw. die Wirkung (Multiregressionsanalyse) zu untersuchen und das Modell auf seine Signifikanz zu validieren. Die Voraussetzungen der Analyseverfahren werden anhand der Daten vor der Analyse und Auswertung geprüft (siehe Abbildung 44 und Abbildung 45).

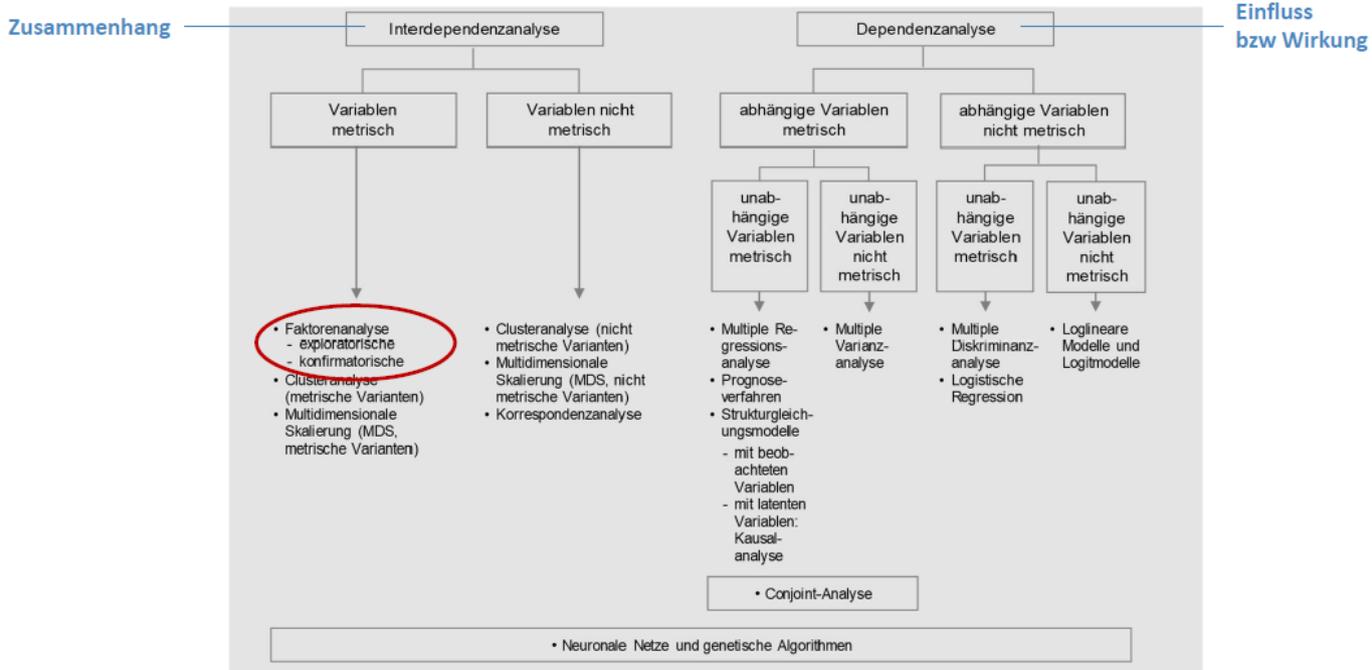


Abbildung 44: Faktorenanalyse und ihre Anordnung in der multivariaten Analyse. Quelle: eigene Darstellung angelehnt an (vgl. Homburg und Krohmer, 2009, S. 347)

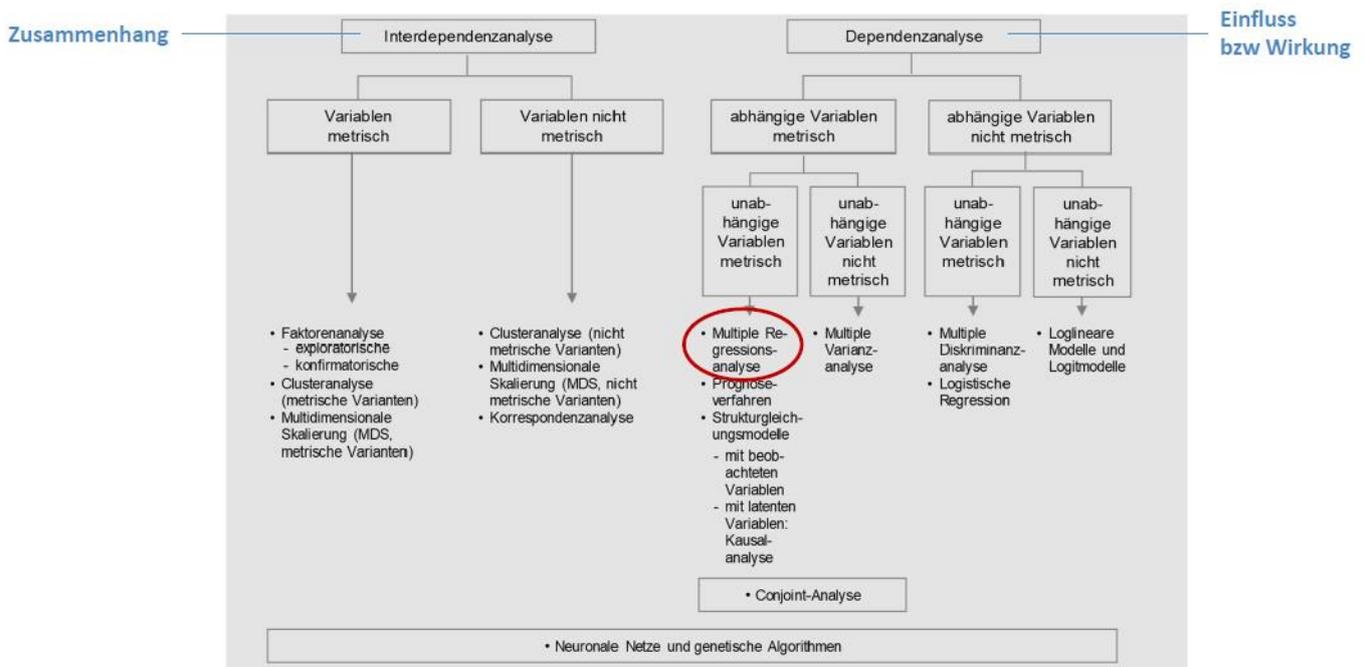


Abbildung 45: Multiple Regressionsanalyse und ihre Anordnung im multivariaten Analyseverfahren. Quelle: eigene Darstellung angelehnt an (vgl. Homburg und Krohmer, 2009, S. 347)

3.3.2. Befragungsinhalte und Hypothesen

3.3.2.1. Hypothesen und Begründung

Um die Hypothesen aufzustellen, bedarf es einer zusammenfassenden, neuen Anordnung sowie Ausschließung von Überschneidungen. Eine Gegenüberstellung der Einflussgrößen (unabhängige Variablen in Form von Risikominderungsmaßnahmen (RMMs)) und Wirkungsgrößen (Erfolgsfaktoren) ist in Tabelle 44 zu sehen. Demzufolge ergaben sich folgende kategorisierte RMMs auf Basis der Experteninterviews und die anschließende Inhaltsanalyse, die den Rahmen der Hauptuntersuchung abbilden: **StandardEinstellung, Werkzeuge/Mgmt. Ansätze, Benutzerinformation, Interpretierbarkeit & Test und Interoperabilität & Reuse**, die zum einen die Risiken mindern bzw. vermeiden oder beseitigen und zum anderen einen gerichteten Einfluss auf die Wirkungsgrößen (den nachhaltigen Erfolg) haben. Tabelle 44 zeigt eine Gegenüberstellung der Auswahl (RMMs und Erfolgsfaktoren) auf Basis der erarbeiteten Literaturrecherche (Tabellen mit Indexen im Theorieteil der vorliegenden Arbeit¹⁷) und der analysierten Experteninterviews. Demzufolge zeigt Tabelle 45, dass die gelb markierten nummerierten Einflussgrößen (unabhängige Variablen) auf die grün markierten nummerierten Wirkungsgrößen (abhängige Variable) wirken (kennzeichnend im Pfeil →). Die Nummerierung bezieht sich auf die fünf folgenden Kategorien, die in Tabelle 44 zu sehen sind:

1. StandardEinstellung

2. Werkzeuge/Mgmt. Ansätze

3. Benutzerinformation

4. Interpretierbarkeit & Test

5. Interoperabilität & Reuse

Demgegenüber werden die nummerierten Erfolgsfaktoren auf Basis der Experteninterviews und der anschließenden Inhaltsanalyse in Tabelle 44 in den drei Kategorien: **1. sozial, 2. ökonomisch, und 3. ökologisch** aufgeschlüsselt .

¹⁷ Die Indexierung in Tabelle 44 bezieht sich auf die ausgearbeiteten Minderungsmaßnahmen und Erfolgsfaktoren des Theorieteils der vorliegenden Arbeit.

Tabelle 44: Gegenüberstellung zwischen RMMs/Erfolgsfaktoren auf Basis der erarbeiteten Theorien und Experteninterviews (der Index dient zum Nachschlagen der vorliegenden Arbeit im Theorieteil)

RMM	Index	Erfolgsfaktor	Index
Standardeinstellung	105, 106,107,110	Ökonomischer Erfolg	52,54,67,75,87, 91,93,95,96
Werkzeuge/Mgmt. Ansätze	1,2,3,4,5,6,7,8,9, 11,12,13,14,15,17,18, 19,20,21,22,32,44,25, 26,27,29,30,31,32, 33,34,35,36,37,38,39, 40,41,42,43,44,45,46, 49,50,51,53,55,59, 61,62,63,64,66, 72,77,78,82,83,84,85	Ökologischer Erfolg	94,97,112,113
Benutzerinformation	16,49,48,69,76, 80,81,90	Sozialer Erfolg	58,65,68,70,71,73,74 92,99,100,102,115
Interpretierbarkeit & Test	10, 28, 45,40,49,56, 57,60, 79,86,88,89, 103		
Interoperabilität & Reuse	47,89,104,98 101, 108,109,111, 114		

Tabelle 45: Einflussgrößen und Wirkungsgrößen und die gerichteten Hypothesen

Einflussvariablen	Wirkungsvariablen
<p>1.1 Standardeinstellung bei minimalem Ressourcenverbrauch (→1.2, 2.2, 3.3,3.4)</p> <p>1.5 Optimale Kommunikation und Feedbackschleifen im Projekt (→2.2, 2.3, 1.3)</p> <p>2.1 Frühzeitige Einbindung der Umweltaspekte bei der Entwicklung (→1.2, 1.3, 1.4, 1.6, 1.7,2.2, 2.3, 3.3, 3.4, 3.5, 5.3)</p> <p>3.1 Frühzeitige Berücksichtigung der Benutzerinformation vom Endnutzer im Projekt (→1.3, 1.4, 1.6, 3.3, 3.4, 3.5, 5.3)</p> <p>3.2 Frühzeitige Berücksichtigung der Transparenz der Benutzerinformation gegenüber dem Endnutzer im Projekt (→1.3, 1.4, 1.6, 3.3, 3.4, 3.5, 5.3)</p> <p>4.1 Einsatz von Testwerkzeugen auf minimalem Ressourcenverbrauch (→1.4, 1.6, 1.7, 2.2, 2.3, 3.3, 3.4, 3.5)</p> <p>4.2 Test der Features untereinander auf minimalem Ressourcenverbrauch (→1.1, 1.4, 1.6, 1.7, 2.2, 2.3, 3.3, 3.4, 3.5)</p> <p>4.3 Frühzeitige Einbindung von Safety Aspekten im Projekt (→1.4, 1.6, 1.7, 3.3, 3.5, 5.3)</p> <p>4.4 Frühzeitige Einbindung von Security Aspekten im Projekt (→1.4, 1.6, 1.7, 3.3, 3.5, 5.3)</p> <p>4.5 Frühzeitige Berücksichtigung des minimalen Ressourcenverbrauchs als Alleinstellungsmerkmal der Software (→1.2, 2.2, 3.3,3.4, 5.3)</p> <p>4.6 Barrierefreiheit und Vermeidung von Diskriminierung waren im Fokus (→1.2, 2.2, 3.3,3.4, 5.3)</p> <p>4.7 Innovation über den Status-Quo am Markt war im Fokus (→1.4, 3.4, 5.3)</p> <p>5.1 Agiles Prozessmanagement war im Fokus des Projekts (→1.3, 1.6, 2.2, 2.3, 5.3)</p> <p>5.2 Schnelle Reaktion auf geänderte Kundenwünsche (→1.3, 1.6, 2.2, 2.3, 5.3)</p>	<p>1.2a Der Energieverbrauch beim fertiggestellten Produkt war minimal (→ökologisch).</p> <p>1.2b Die Kosten für den Energieverbrauch beim fertiggestellten Produkt waren minimal (→ökonomisch).</p> <p>1.3 minimale Entwicklungskosten (→ökonomisch)</p> <p>1.4 höhe Benutzerfreundlichkeit (→ökonomisch, ökologisch, sozial)</p> <p>1.6 langfristige Kundenbindung (Software regelmäßig aktualisiert) (→ökonomisch)</p> <p>1.7 langfristige Sicherung von Arbeitsplätzen (→sozial)</p> <p>2.2 geringes Konfliktpotential innerhalb des Projektes (→sozial)</p> <p>2.3 niedrige Fluktuation innerhalb des Unternehmens (→ökonomisch, sozial)</p> <p>3.3 wenige Reklamationen (→ökonomisch, sozial)</p> <p>3.4 optimale Funktionalität innerhalb der Gewährleistungs- und Garantiefrieten (→ökologisch)</p> <p>3.5 Nutzung des Produktes wie geplant (→sozial)</p> <p>5.3 Produkt schafft Kundennutzen (sozial, ökonomisch, ökologisch)</p>

Die Wirkungsvariablen können auf folgende drei Kategorien fakturiert werden: Ökologischer Erfolg: 1.2a, 1.4, 3.4, 5.3 Ökonomischer Erfolg: 1.2b, 1.3, 1.4, 1.6, 2.3, 3.3, 5.3 Sozialer Erfolg: 1.4, 1.7, 2.2, 2.3, 3.3, 3.5, 5.3 und ohne Überschneidung: Ökologischer Erfolg: 1.2a, 3.4 Ökonomischer Erfolg: 1.2b, 1.3, 1.6 Sozialer Erfolg: 1.7, 2.2, 3.5 (siehe Tabelle 45).

3.3.2.2. Befragungsinhalt

Um die Hypothesen zu prüfen und den Einfluss sowie die Zusammenhänge zwischen den Einfluss- und Wirkungsgrößen zu ergründen, werden mittels Online-Befragung und der Auswahl von nicht zufälligen „Geratewohl Stichproben“ die Daten erhoben, um auf Basis des Fragenkataloges und der dazugehörigen Skalen eine empirische Messung bzw. Operationalisierung durchzuführen. Dabei stellen erfolgreich durchgeführte Projekte in der Softwareentwicklung die Stichprobe dar. Die Teilnehmer der Befragung sind ausgewählte Mitarbeiter in der Softwareentwicklung in diversen Industriezweigen, welche an einem Projekt für die Entwicklung eines Produktes tätig waren. Die Grundgesamtheit sind dann Projekte und Produkte, die einen Softwareentwicklungsanteil haben. Demzufolge wird der Befragungsinhalt so konstruiert, dass der Fokus auf nachhaltige Softwareindikatoren als unmittelbare Risikominderungsmaßnahmen gelegt werden soll, um den Erfolg eines Projektes sowie Produktes absichern zu können. Die Umfragedauer liegt bei 12 bis 15 Minuten. Bei der Teilnahme an der Umfrage wird der Befragte die Gelegenheit haben, einige nachhaltige Softwareindikatoren kennenzulernen. **Dabei ist die Bitte an die Teilnehmer, sich auf ein tatsächlich abgeschlossenes Projekt aus ihrem Alltag zu fokussieren und alle Fragen nur in Bezug auf dieses Projekt zu beantworten.** Die Umfrage wird streng anonymisiert durchgeführt und die Teilnahme ist freiwillig. Neben inhaltlichen/hypothesenprüfenden Fragen werden den Teilnehmern der Befragung sowohl Filterfragen bzw. Differenzierungsfragen (Unterschiedshypothesen) im Befragungsinhalt als auch Abschlussfragen randomisiert gestellt. Die inhaltlichen/hypothesenprüfenden Fragen als Umsetzung des Ergebnisses der Tabelle 44 und Tabelle 45 des vorigen Unterkapitels werden den Teilnehmern in den Markierungen: gelb (Einflussgröße) und grün (Wirkungsgröße) wie in der folgenden Aufzählung randomisiert gestellt:

Fragengruppe 1:

1. Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert darauf gelegt, dass die Standardeinstellung des fertiggestellten Produktes bei minimalem Energieverbrauch liegt.
2. Der Energieverbrauch beim fertiggestellten Produkt war bei Einhaltung der Standardeinstellung minimal.
3. Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert auf die Rückwärtskompatibilität des fertiggestellten Produktes gelegt (keine Verschwendung von Hardwareressourcen).
4. Für das fertiggestellte Produkt musste keine neue Hardware durch den Kunden angeschafft werden.

5. Die Entwicklungskosten (Hardware/Software) des Produktes waren minimal.
6. Die Benutzerfreundlichkeit des fertiggestellten Produktes für den Kunden war sehr zufriedenstellend.
7. Die Kunden können das fertiggestellte Produkt auch bei hoher Nutzungsintensität mit gutem Gewissen verwenden.
8. Die Kommunikation innerhalb und außerhalb des Projektes und die Feedbackschleifen waren sehr zufriedenstellend.
9. Die Kundenbindung war langfristig gesichert (Software-Updates werden heruntergeladen).
10. Das Produkt trägt zu einer langfristigen Sicherung meines Arbeitsplatzes bei.

Fragengruppe 2:

1. Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert auf die Wartung und das Update der Software per Remote gelegt.
2. Die Konflikte innerhalb und außerhalb des Projektes waren minimal.
3. Die Fluktuation innerhalb des Teams war minimal.
4. Die Wartung der Software und der Updates war per Remote möglich.

Fragengruppe 3:

1. Die Benutzerinformation vom Endnutzer bezüglich Bedienung war im Fokus des Projektes.
2. Die Benutzerinformation vom Endnutzer war bezüglich Transparenz (Erklärbarkeit + Interpretierbarkeit) des Produktes im Fokus des Projektes.
3. Das Produkt hatte wenig Reklamationen.
4. Das Produkt funktioniert innerhalb der Gewährleistungs- und Garantiefrieten optimal.
5. Der Endnutzer nutzt das Produkt wie geplant.

Fragengruppe 4:

1. Der Test von Rückwärtskompatibilität war im Fokus des Projektes.
2. Jedes Feature im Produkt wurde auf minimalen Energieverbrauch getestet.
3. Safety (funktionale Sicherheit), wie z. B. Software-Fehlertoleranz und redundante Hardware, war im Fokus des Projektes.
4. Security, z. B. Zwei-Faktor-Authentifizierung und Verschlüsselung der personenbezogenen Daten, war im Fokus des Projektes.
5. Minimaler Ressourcenverbrauch von Hardware und Energie war für das fertiggestellte Produkt als Alleinstellungsmerkmal geplant.
6. Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert auf ethische Aspekte im Zusammenhang der Nutzung des fertiggestellten Produktes gelegt.
7. Innovation deutlich über dem Status-Quo bei bestehenden Lösungen am Markt war Schwerpunkt des Projektes.

Fragengruppe 5:

1. Die Akzeptanz von sich schnell ändernden Anforderungen war im Projekt für alle Projektbeteiligten selbstverständlich.
2. Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert auf die schnelle Reaktion auf Kundenwünsche und Feedback gelegt.
3. Digitaler Müll und Schrankware waren nicht das Ergebnis des Projekts.

3.3.2.3. Umsetzung des Befragungsinhaltes in eine Online-Befragung

Die folgenden Abbildungen zeigen die Umsetzung der Befragung in Fragengruppen und Fragen. Dadurch kann zum einen bei der Durchführung der Befragung sowohl die Anonymisierung gegenüber den Teilnehmern sichergestellt werden als auch die Randomisierung des Befragungsinhaltes bei jeder Frage/Item ermöglicht werden. Zum anderen spielt die Kennzeichnung der Items in der Befragung eine große Rolle für die anschließende Datenaufbereitung und Analyse.

Willkommen

Sehr geehrter Experte in der Softwareentwicklung, sehr geehrte Expertin,

vielen Dank für Ihr grundsätzliches Interesse an dieser Studie. Bei dieser Studie handelt es sich um ein Forschungsprojekt im Rahmen einer Dissertation an der Middlesex University. Ziel ist es, die Erfolgsfaktoren einer nachhaltigen Softwareentwicklung zu untersuchen. Dabei ist Ihre Meinung als Experte/Expertin sehr wichtig.

Ich bitte Sie, daher an dieser Studie teilzunehmen und den Fragebogen auszufüllen. Die Befragung dauert ca. 8-10 Minuten, Ihre Daten werden ausschließlich anonym ausgewertet.

Als kleines Dankschön für Ihre Unterstützung biete ich Ihnen bei Interesse eine Kurzzusammenfassung der zentralen Ergebnisse der Studie kostenlos an.

Bei Fragen können Sie sich gerne an mich wenden:
Dipl.Ing. / MA Haider Karomi
Freiberuflicher Consultant in der Systementwicklung und Doktorand an der Middlesex University
haiderkaromi@hotmail.de

★Wollen Sie als Experte/Expertin dieses Projekt zur nachhaltigen Softwareentwicklung unterstützen und an der Befragung teilnehmen?

● Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

JA

NEIN

Weiter

Abbildung 46: Einleitende Fragengruppe und Fragen. Quelle: eigene Darstellung

*Wie viel Erfahrung haben Sie in der Softwareentwicklung?

Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Keine Erfahrung

> 1 bis 2 Jahre

> 2 bis 5 Jahre

Mehr als 5 Jahre

*Für diese Studie ist es wichtig, dass Sie alle Ihre Antworten auf ein Projekt beziehen, das bereit abgeschlossen und auf dem Markt eingeführt worden ist. Bitte geben Sie hier an, worauf Sie sich im Fragebogen beziehen.

Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Leider gibt es kein Projekt

Projektabschluss war vor 1 Jahr

Projektabschluss war vor 2 Jahren

Projektabschluss war vor 3 Jahren

Projektabschluss war vor 4 Jahren

Weiter

Abbildung 47: Filter Fragengruppe und Fragen. Quelle: eigene Darstellung

*Betrachten wir bitte jetzt mögliche Maßnahmen im Rahmen der Softwareentwicklung. Bitte geben Sie in Bezug auf das von Ihnen ausgewählte Softwareentwicklungsprojekt an, in wie weit folgende Maßnahmen berücksichtigt worden sind.

	trifft voll und ganz zu	trifft eher zu	teils-teils	trifft eher nicht zu	trifft überhaupt nicht zu	kann ich nicht beantworten
Im Rahmen der Entwicklung wurde besondere Wert daraufgelegt, dass die Standardeinstellung des fertiggestellten Produktes bei minimalem Energieverbrauch liegt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert auf die Wartung und das Update der Software per Remote gelegt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eine verständliche und einfache Benutzerinformation für den End-Nutzer bezüglich der Bedienung war im Fokus des Projektes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Der Test von Rückwärtskompatibilität war im Fokus des Projektes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Kommunikation innerhalb und außerhalb des Projektes und die Feedbackschleifen waren sehr zufriedenstellend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Benutzerinformation für den End-Nutzer bezüglich Transparenz (Erklärbarkeit + Interpretierbarkeit) des Produktes war Fokus des Projektes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert auf die Rückwärtskompatibilität des fertiggestellten Produktes gelegt (keine Verschwendung von Hardwareressourcen)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Weiter

Abbildung 48: Hypothesenprüfende Fragengruppe und Fragen. Quelle: eigene Darstellung

*Betrachten wir bitte jetzt **weitere** mögliche Maßnahmen im Rahmen der Softwareentwicklung. Bitte geben Sie in Bezug auf das von Ihnen ausgewählte Softwareentwicklungsprojekt an, in wie weit folgende Maßnahmen berücksichtigt worden sind.

	trifft voll und ganz zu	trifft eher zu	teils-teils	trifft eher nicht zu	trifft überhaupt nicht zu	kann ich nicht beantworten
Innovation deutlich über den Status-Quo von bestehenden Lösungen am Markt hinaus war Schwerpunkt des Projektes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Safety (funktionale Sicherheit), wie z.B. Software-Fehlertoleranz und redundante Hardware, war im Fokus des Projektes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Jedes Feature im Produkt wurde auf minimalen Energieverbrauch getestet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Im Rahmen der Entwicklung wurde besondere Wert auf die schnelle Reaktion auf Kundenwünsche/feedback gelegt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Minimaler Ressourcenverbrauch von Hardware und Energie war für das fertiggestellte Produkt als Alleinstellungsmerkmal geplant	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Security, wie z.B. Zwei-Weg-Authentifizierung und Verschlüsselung der personenbezogenen Daten, war im Fokus des Projektes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert auf ethische Aspekte im Zusammenhang der Nutzung des fertiggestellten Produktes gelegt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Akzeptanz von sich schnell ändernden Anforderungen war im Projekt für alle Projektbeteiligten selbstverständlich	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Weiter

Abbildung 49: Hypothesenprüfende Fragengruppe und Fragen. Quelle: eigene Darstellung

*Betrachten wir jetzt mögliche Erfolgskriterien im Rahmen der Softwareentwicklung. Bitte geben Sie in Bezug auf das von Ihnen ausgewählte Softwareentwicklungsprojekt an, in wie fern folgende Eigenschaften nach Abschluss des Projektes und der Markteinführung zugetroffen haben.

	trifft voll und ganz zu	trifft eher zu	teils-teils	trifft eher nicht zu	trifft überhaupt nicht zu	kann ich nicht beantworten
Das Produkt trägt zur langfristigen Sicherung meines Arbeitsplatzes bei	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Kundenbindung wurde gesichert (Software Updates werden regelmäßig heruntergeladen)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Entwicklungskosten (Hardware/Software) des Produktes waren minimal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Der Energieverbrauch beim fertiggestellten Produkt war bei Einhaltung der Standardeinstellung minimal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Benutzerfreundlichkeit des fertiggestellten Produktes war für den Kunden sehr zufriedenstellend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Für das fertiggestellte Produkt musste keine neue Hardware durch den Kunden angeschafft werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Kunden können das fertiggestellte Produkt auch bei hoher Nutzungsintensität mit guten Gewissen verwenden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Weiter

Abbildung 50: Hypothesenprüfende Fragengruppe und Fragen. Quelle: eigene Darstellung

*Betrachten wir jetzt mögliche **weitere** Erfolgskriterien im Rahmen der Softwareentwicklung. Bitte geben Sie in Bezug auf das von Ihnen ausgewählte Softwareentwicklungsprojekt an, in wie fern folgende Eigenschaften nach Abschluss des Projektes und der Markteinführung zugetroffen haben.

	trifft voll und ganz zu	trifft eher zu	teils-teils	trifft eher nicht zu	trifft überhaupt nicht zu	kann ich nicht beantworten
Das Produkt hatte wenig Reklamationen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Digitaler Müll und Schrankware sind kein Ergebnis des Projekts gewesen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das Produkt funktioniert optimal (innerhalb der Gewährleistung- und Garantiefrieten)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die End-Nutzer verwenden das Produkt wie geplant	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Fluktuation innerhalb des Teams war minimal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Wartung der Software und Updates waren per Remote möglich	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Konflikte innerhalb und außerhalb des Projektes waren minimal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Weiter

Abbildung 51: Hypothesenprüfende Fragengruppe und Fragen. Quelle: eigene Darstellung

Fast fertig!
Kommen wir jetzt zu ein paar abschließenden allgemeinen Fragen.

*In welcher Branche war das von Ihnen ausgewählte Projekt:
 ● Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Automobilindustrie

E- Commerce (z.B. B2B/B2C)

Medizintechnik

Anwendungsentwicklung (z.B. APPs Entwicklung, Desktop Applikation)

Andere Branche

*Wie war das Verhältnis zwischen der Anzahl der Mitarbeiter in der Softwareentwicklung und der Hardwareentwicklung?
 ● Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Deutlich mehr Mitarbeiter in der Softwareentwicklung als in der Hardwareentwicklung

Etwas mehr Mitarbeiter in der Softwareentwicklung als in der Hardwareentwicklung

Gleich viele Mitarbeiter in der Softwareentwicklung als in der Hardwareentwicklung

Etwas weniger Mitarbeiter in der Softwareentwicklung als in der Hardwareentwicklung

Deutlich weniger Mitarbeiter in der Softwareentwicklung als in der Hardwareentwicklung

Kann ich nicht beantworten

Absenden

Abbildung 52: Abschließende Fragengruppe und Fragen. Quelle: eigene Darstellung

3.3.2.4. Pre-Test der Online-Befragung

Um die inhaltliche Qualität der Umfrage zu prüfen, wurde ein Pre-Test an vier ausgewählten Teilnehmern (Software-Designer und Entwickler) durchgeführt. Der Pre-Test zielte auf die Überprüfung folgender Kriterien:

- Inhaltliches Verständnis
- Zeitmessung für die Beantwortung der Umfrage
- Eliminierung des systematischen Fehlers
- Kontextbezogenes Feedback

Der Pre-Test ergab, dass die Umfrage innerhalb von 8 bis 10 Minuten beantwortet werden kann; ein inhaltliches Missverständnis wurde bei einer Frage beseitigt. Bei dieser Frage handelte es sich um die Kette bis zum Endkunden, was dazu geführt hat, die Frage umzuschreiben. Das kontextuelle Feedback war im Allgemeinen bei zwei Teilnehmern sehr positiv, während bei den anderen beiden das Thema nicht im ganzen Umfang bekannt war.

3.3.3. Durchführung und Datenaufbereitung der Online-Befragung

Die Umfrage wurde an ca. 400 Teilnehmer weitergeleitet. Kontakte in Business-Netzwerken als auch Unternehmen, die in der Softwareentwicklung tätig sind, wurden teilweise gezielt ausgewählt. Die gezielte Auswahl sowie die Weiterleitung auf Basis des Schneeballsystems haben dazu geführt, dass die Umfrage 147-mal beantwortet wurde; dabei gab es 49 vollständige Antworten. Die vollständigen Antworten wurden in Excel exportiert, bereinigt und aufbereitet, um eine weitere Analyse sowie Auswertung mittels SPSS zu ermöglichen. Die fehlenden Werte bei der Umfrage wurden in SPSS eindeutig gekennzeichnet. Um die weiteren Schritte der Datenauswertung und Analyse durchzuführen, können statistische Auswertungen der Daten anhand konkreter Items der Befragung herangezogen werden, damit zum einen Verzerrungen in den Daten identifiziert werden können und zum anderen eine klare, deutliche, realitätsnahe und sachlogische Analyse sowie Interpretation zustande kommen kann. Abbildungen 52 bis 55 zeigen eine statistische Aufnahme der Daten. In Tabelle 52 ist deutlich zu erkennen, dass die Mehrheit der Befragten mehr als fünf Jahre Berufserfahrung hat.

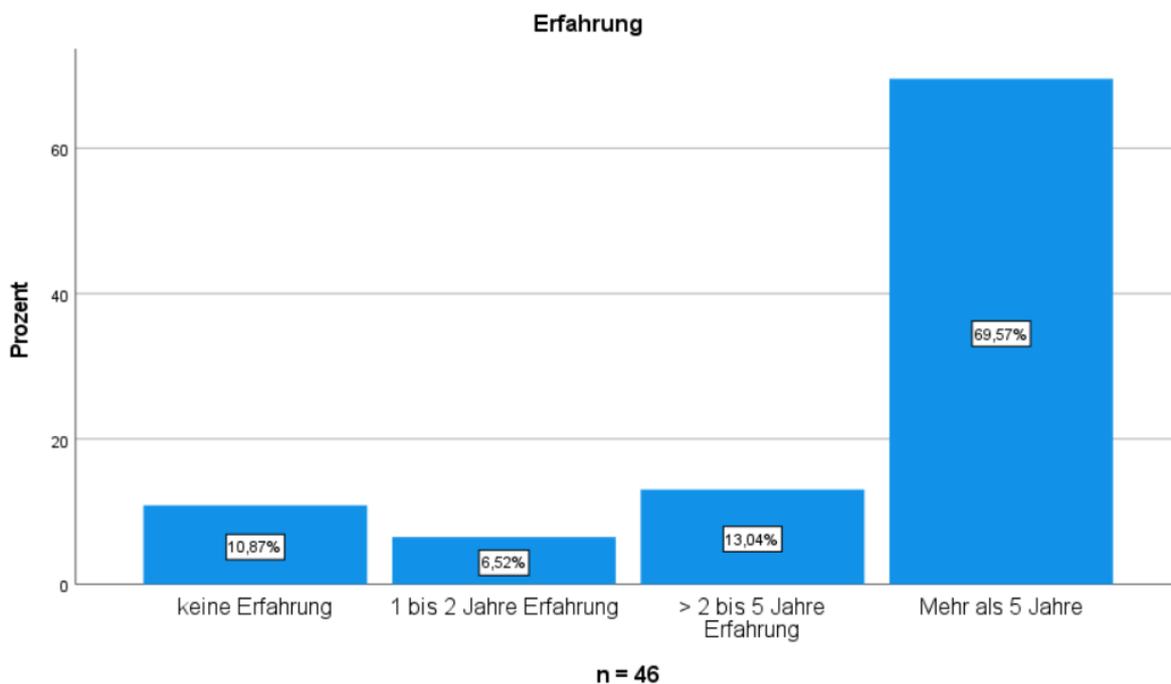


Abbildung 53: Filterfrage (Berufserfahrungen). Quelle: eigene Darstellung

Die Filterfrage der zeitlichen Schiene des Projektabschlusses diente dazu, dass die meisten Befragten ein Projekt ausgewählt haben, das nicht sehr lange in der Vergangenheit zurückliegt (siehe dazu Tabelle 53).

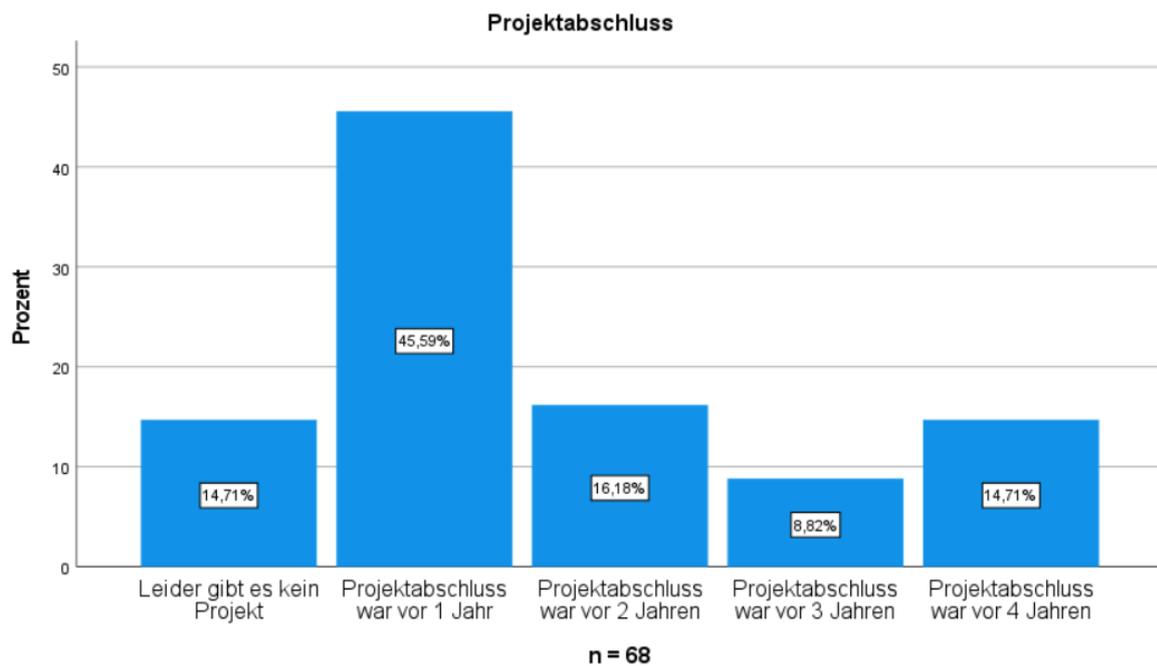


Abbildung 54: Filterfrage (erfolgreicher Projektabschluss). Quelle: eigene Darstellung

Um die Softwareentwicklungs-Expertise der Befragten deutlich hervorzuheben, ist in Abbildung 55 klar zu erkennen, dass die Mitarbeiter am Projekt in der Softwareentwicklung in der Überzahl sind.

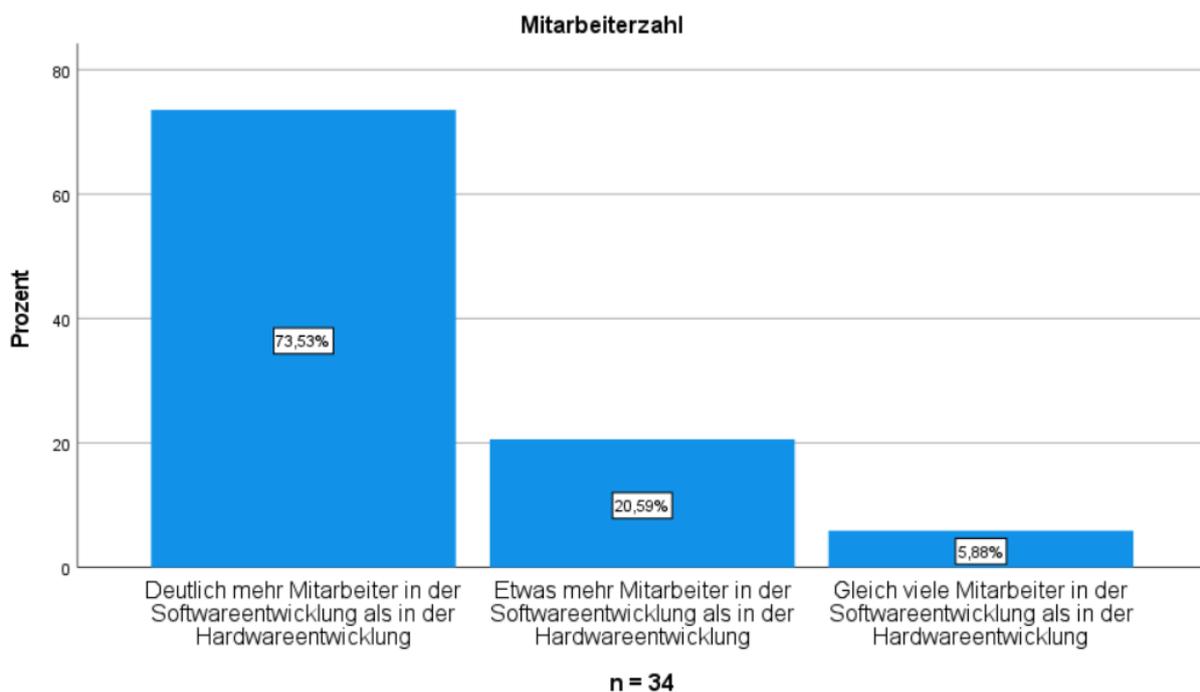


Abbildung 55: Abschließende Frage (Mitarbeiterzahl in der Entwicklung). Quelle: eigene Darstellung

Die meisten Befragten (51%) sind in der Automobilindustrie tätig, was Abbildung 56 hervorhebt. Nichtsdestotrotz bilden die Befragten aus den anderen Branchen fast die andere Hälfte der Befragten.

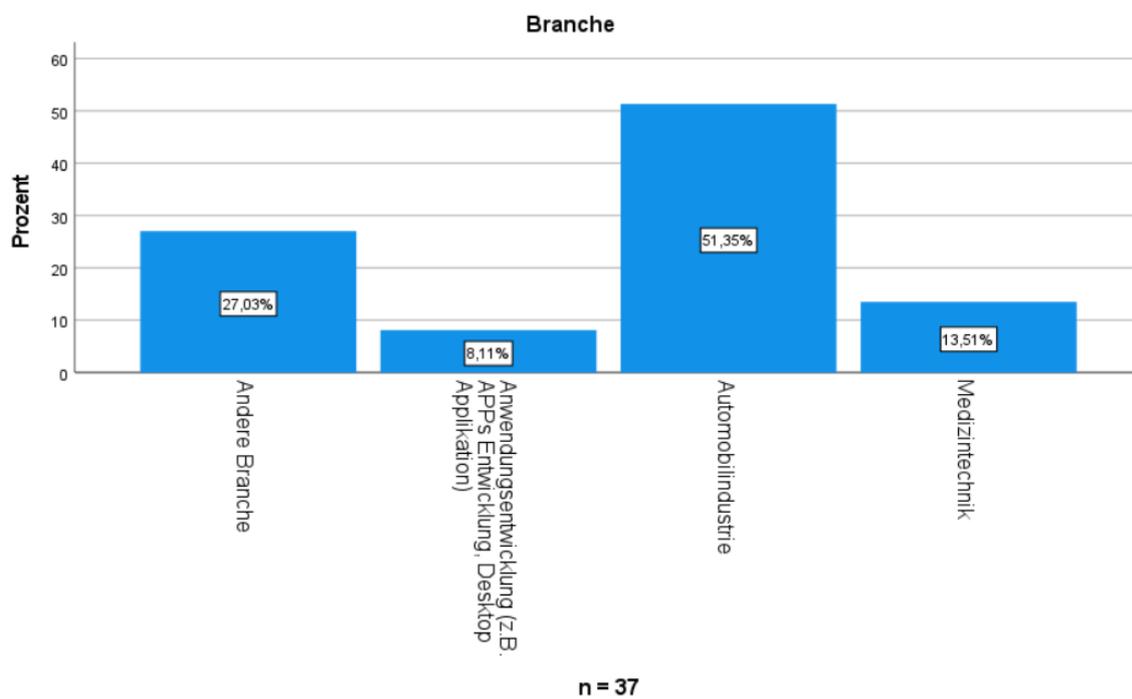


Abbildung 56: Abschließende Frage (Branche). Quelle: eigene Darstellung

3.3.4. Analyse und deskriptive Auswertung der Online-Befragung

3.3.4.1. Deskriptive Auswertung der Datenbasis

Die Häufigkeitsverteilung der Variablen bzw. Items in der Online-Umfrage wird herangezogen, um die Datenbasis deskriptiv zu beschreiben. Um die Diagramme besser analysieren zu können, zeigen folgende zwei Tabellen die Zuordnung der EF, WF als Einflussvariablen und Wirkungsgrößen zu den Online-Befragungsinhalten. Tabelle 46 zeigt die Zuordnung zwischen Einflussgrößen zu den Online-Befragungsinhalten.

Tabelle 46: Zuordnung von Items der Onlineumfrage zu den Einflussfaktoren/unabhängige Variablen

Einflussfaktoren	Item der Onlineumfrage
EF1	Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert darauf gelegt, dass die Standardeinstellung des fertiggestellten Produktes bei minimalem Energieverbrauch liegt.
EF2	Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert auf die Rückwärtskompatibilität des fertiggestellten Produktes gelegt (keine Verschwendung von Hardwareressourcen).
EF3	Die Kommunikation innerhalb und außerhalb des Projektes und die Feedbackschleifen waren sehr zufriedenstellend.
EF4	Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert auf die Wartung und das Update der Software per Remote gelegt.
EF5	Eine verständliche und einfache Benutzerinformation für den Endnutzer bezüglich der Bedienung war im Fokus des Projektes.
EF6	Die Benutzerinformation für den Endnutzer bezüglich Transparenz (Erklärbarkeit + Interpretierbarkeit) des Produktes war Fokus des Projektes.
EF7	Der Test von Rückwärtskompatibilität war im Fokus des Projektes.
EF8	Jedes Feature im Produkt wurde auf minimalen Energieverbrauch getestet.
EF9	Safety (funktionale Sicherheit), wie z. B. Software-Fehlertoleranz und redundante Hardware, war im Fokus des Projekts.
EF10	Security, wie z.B. Zwei-Faktor-Authentifizierung und Verschlüsselung der personenbezogenen Daten, war im Fokus des Projekts.
EF11	Minimaler Ressourcenverbrauch von Hardware und Energie war für das fertiggestellte Produkt als Alleinstellungsmerkmal geplant.
EF12	Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert auf ethische Aspekte im Zusammenhang mit der Nutzung des fertiggestellten Produktes gelegt.
EF13	Innovation deutlich über dem Status-Quo von bestehenden Lösungen am Markt war Schwerpunkt des Projektes.
EF14	Die Akzeptanz von sich schnell ändernden Anforderungen war im Projekt für alle Projektbeteiligten selbstverständlich.
EF15	Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert auf die schnelle Reaktion auf Kundenwünsche/-feedback gelegt.

Tabelle 47 zeigt die Zuordnung von Wirkungsgrößen zu den Online-Befragungsinhalten.

Tabelle 47: Zuordnung von Items der Onlineumfrage zu den Wirkungsgrößen/abhängige Variablen

Wirkungsgrößen	Item der Onlineumfrage
WF1	Der Energieverbrauch beim fertiggestellten Produkt war bei Einhaltung der Standardeinstellung minimal.
WF2	Für das fertiggestellte Produkt musste keine neue Hardware durch den Kunden angeschafft werden.
WF3	Die Entwicklungskosten (Hardware/Software) des Produktes waren minimal.
WF4	Die Benutzerfreundlichkeit des fertiggestellten Produktes war für den Kunden sehr zufriedenstellend.
WF5	Die Kunden können das fertiggestellte Produkt auch bei hoher Nutzungsintensität mit gutem Gewissen verwenden.
WF6	Die Kundenbindung wurde gesichert (Software Updates werden regelmäßig heruntergeladen)
WF7	Das Produkt trägt zur langfristigen Sicherung meines Arbeitsplatzes bei
WF8	Die Konflikte innerhalb und außerhalb des Projektes waren minimal
WF9	Die Fluktuation innerhalb des Teams war minimal
WF10	Die Wartung der Software und Updates waren per Remote möglich
WF11	Das Produkt hatte wenig Reklamationen
WF12	Das Produkt funktioniert optimal (innerhalb der Gewährleistungs- und Garantiefrieten)
WF13	Die Endnutzer verwenden das Produkt wie geplant
WF14	Digitaler Müll und Schrankware sind kein Ergebnis des Projekts gewesen

Die Häufigkeitsverteilung der EF1 (**Standardeinstellung**) also den Online-Befragungsinhalt: Die Kommunikation innerhalb und außerhalb des Projektes und die Feedbackschleifen waren sehr zufriedenstellend, ist in der Abbildung 57 auf der nächsten Seite zu sehen.

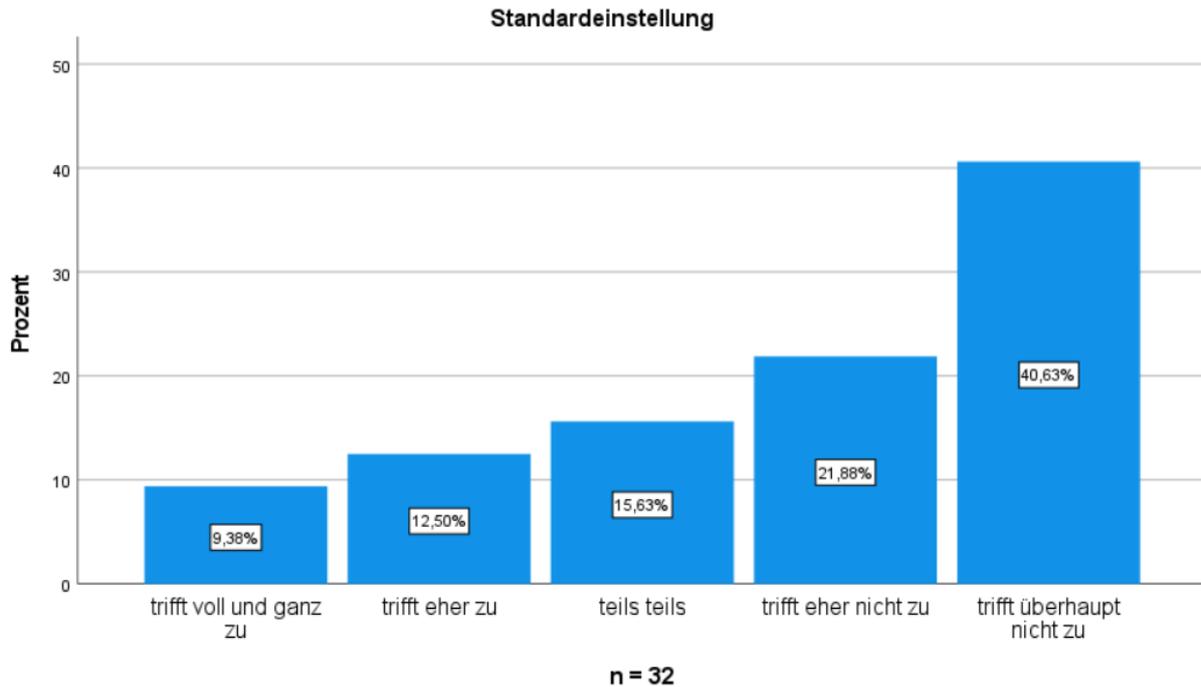


Abbildung 57: Häufigkeitsverteilung von EF1 (Standardeinstellung). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der **EF2 (Rückwärtskompatibilität)** also des Online-Befragungsinhaltes: *Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert auf die Rückwärtskompatibilität des fertiggestellten Produktes gelegt (keine Verschwendung von Hardwareressourcen)*, ist in der Abbildung 58 zu sehen.

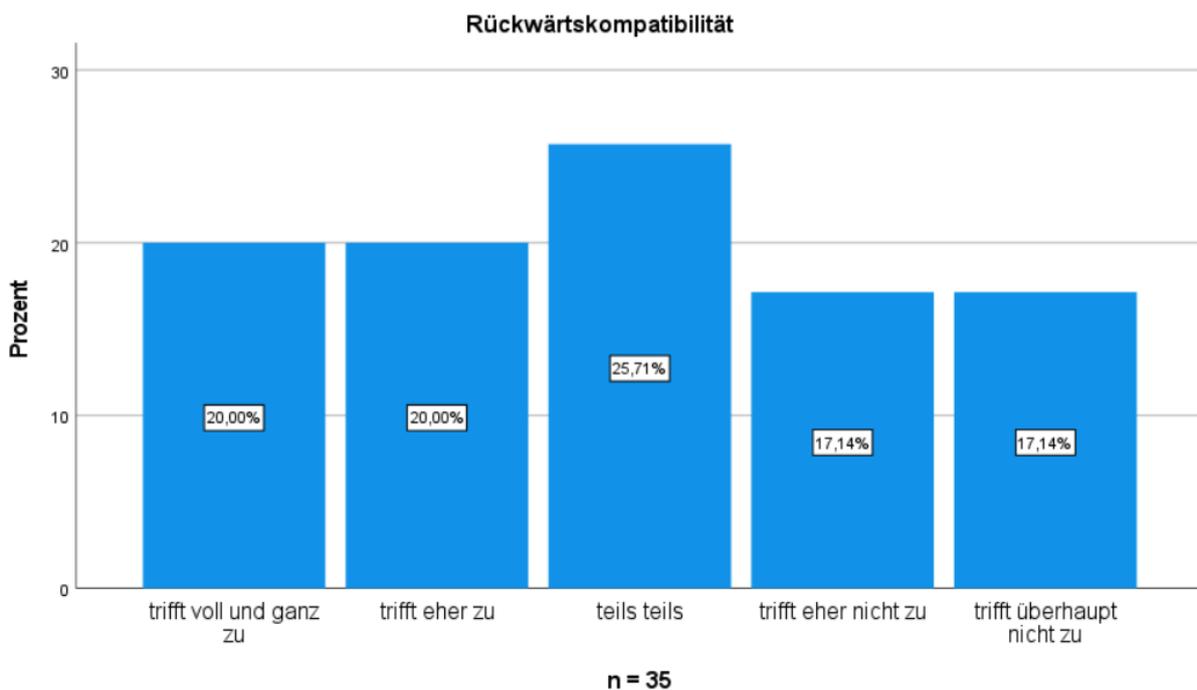


Abbildung 58: Häufigkeitsverteilung von EF2 (Rückwärtskompatibilität). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der EF3 (**Kommunikation**) des Online-Befragungsinhaltes: *Die Kommunikation innerhalb und außerhalb des Projektes und die Feedbackschleifen waren sehr zufriedenstellend*, ist in der Abbildung 59 zu sehen.

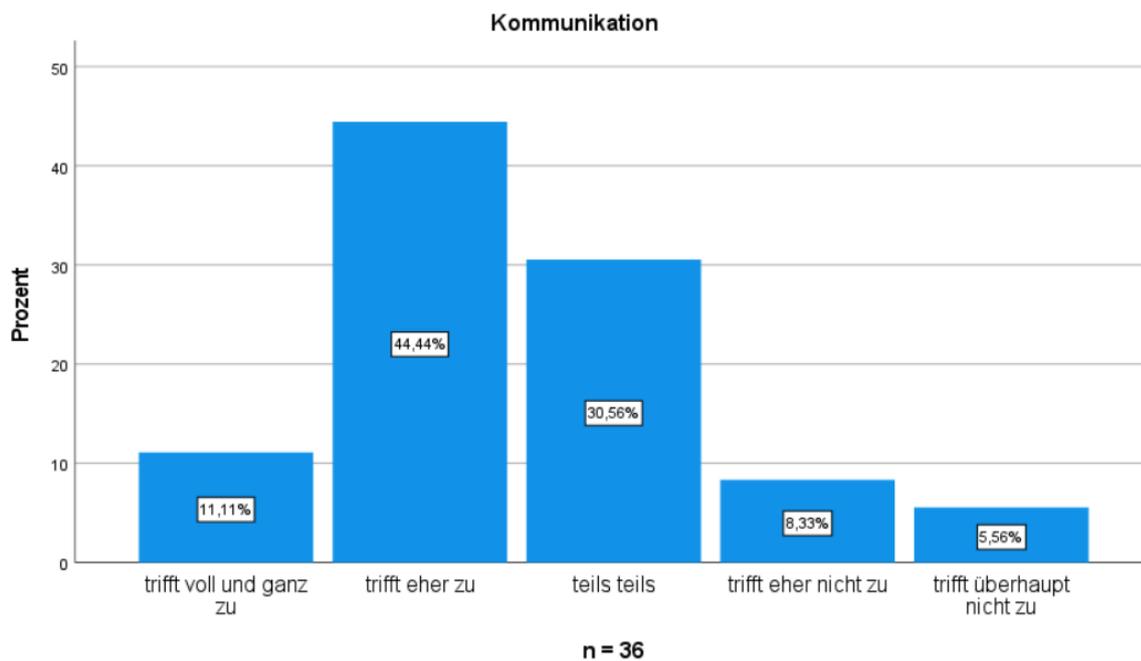


Abbildung 59: Häufigkeitsverteilung von EF3 (Kommunikation). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der EF4 (**Wartung/Update**) des Online-Befragungsinhaltes: *Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert auf die Wartung und das Update der Software per Remote gelegt*, ist in der Abbildung 60 zu sehen.

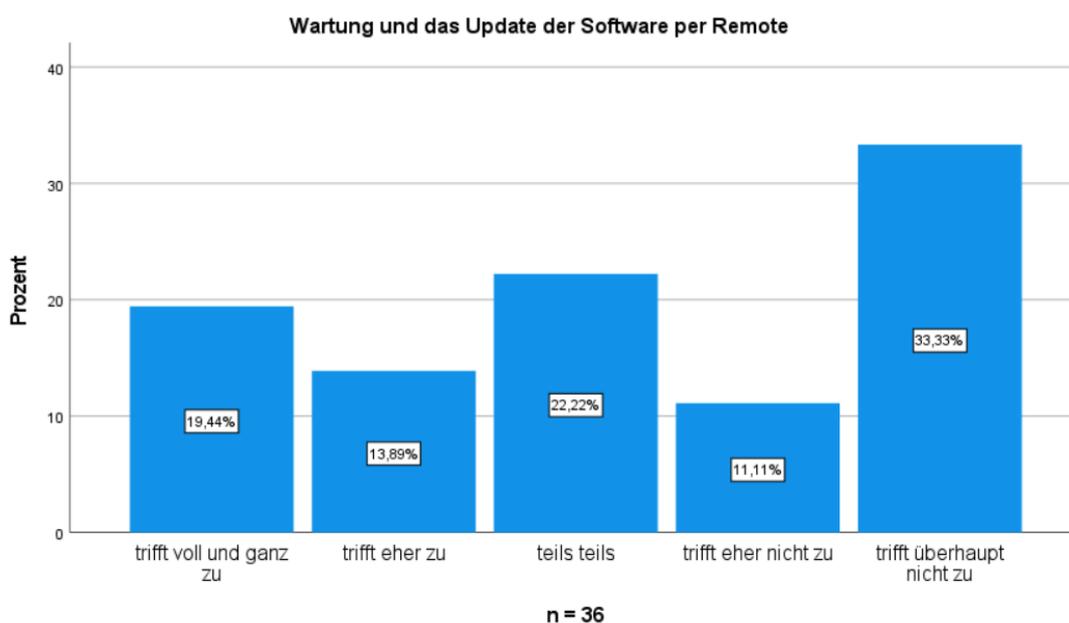


Abbildung 60: Häufigkeitsverteilung von EF4 (Wartung/Update). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der EF5 (**Benutzerinformation**) des Online-Befragungsinhaltes: *Eine verständliche und einfache Benutzerinformation für den Endnutzer bezüglich der Bedienung war im Fokus des Projektes*, ist in der Abbildung 61 zu sehen.

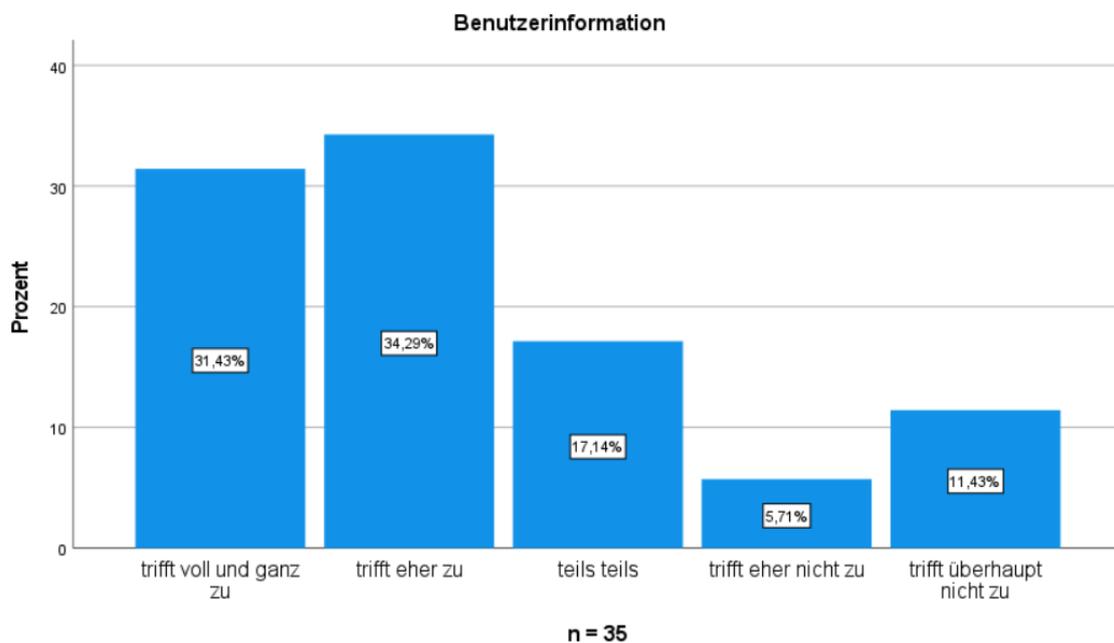


Abbildung 61: Häufigkeitsverteilung von EF5 (Benutzerinformation). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der EF6 (**Transparenz (Erklärbarkeit + Interpretierbarkeit)**) also des Online-Befragungsinhaltes: *Die Benutzerinformation für den Endnutzer bezüglich Transparenz (Erklärbarkeit + Interpretierbarkeit) des Produktes war Fokus des Projektes*, ist in der Abbildung 62 zu sehen.

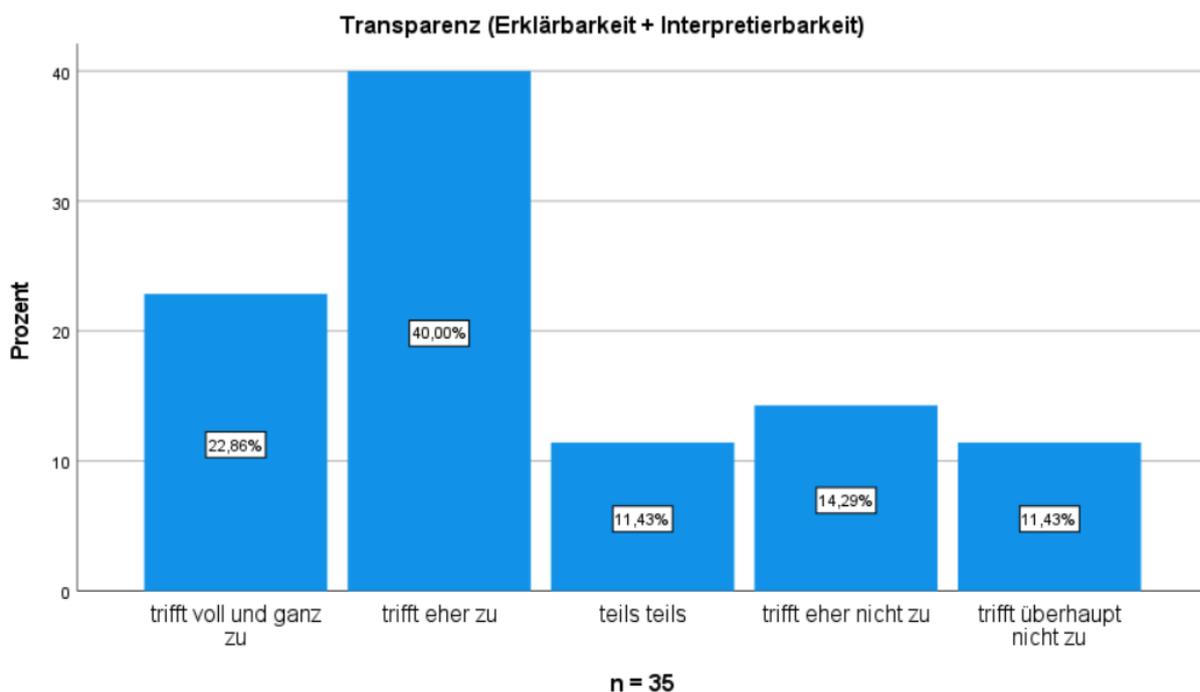


Abbildung 62: Häufigkeitsverteilung von EF6 (Transparenz). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der EF7 (**Test von Rückwärtskompatibilität**) des Online-Befragungsinhaltes: *Der Test von Rückwärtskompatibilität war im Fokus des Projektes*, ist in der Abbildung 63 zu sehen.

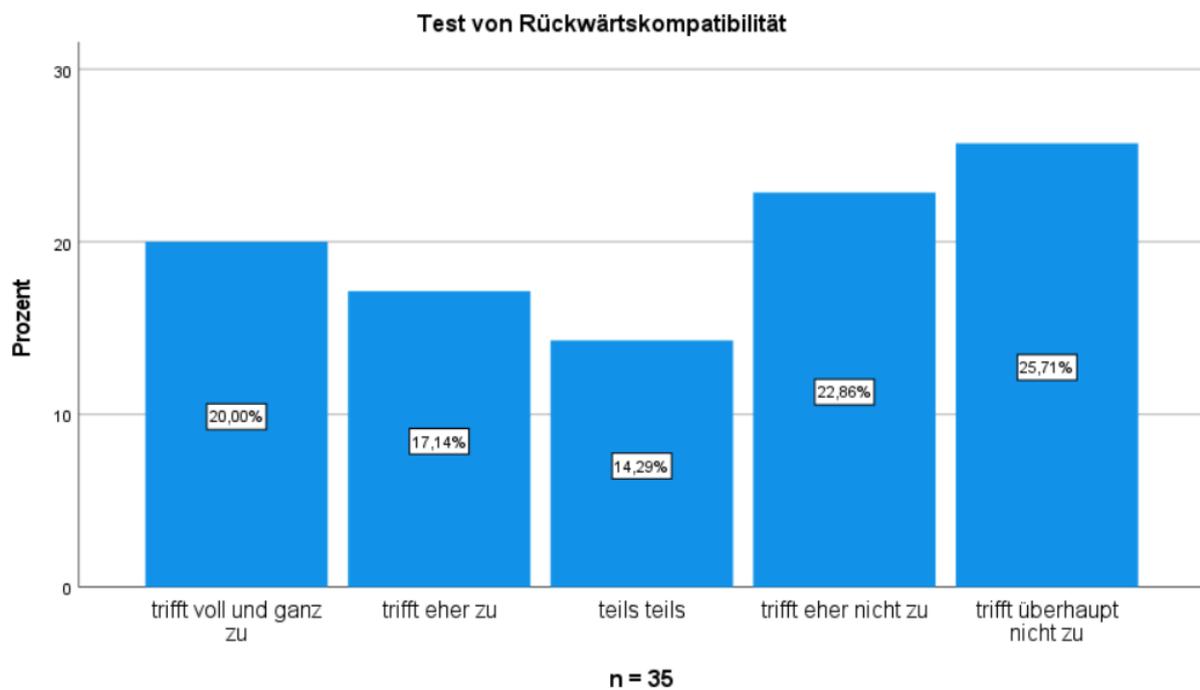


Abbildung 63: Häufigkeitsverteilung von EF7 (Test von Rückwärtskompatibilität). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der EF8 (**Jedes Feature im Produkt wurde auf minimalem Energieverbrauch getestet**) des Online-Befragungsinhaltes: *Jedes Feature im Produkt wurde auf minimalen Energieverbrauch getestet*, ist in der Abbildung 64 zu sehen.

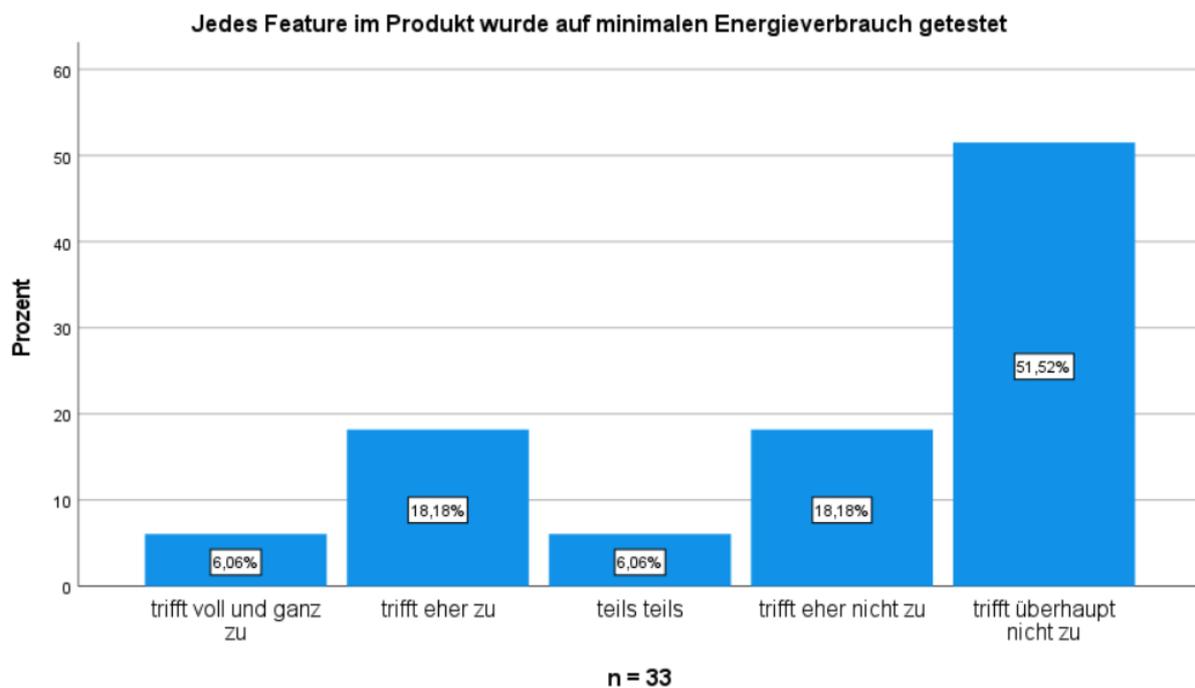


Abbildung 64: Häufigkeitsverteilung von EF8 (Energieverbrauch). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der EF9 (**Safety**) des Online-Befragungsinhaltes: *Safety (funktionale Sicherheit)*, wie z.B. *Software-Fehlertoleranz und redundante Hardware*, war im Fokus des Projekts, ist in der Abbildung 65 zu sehen.

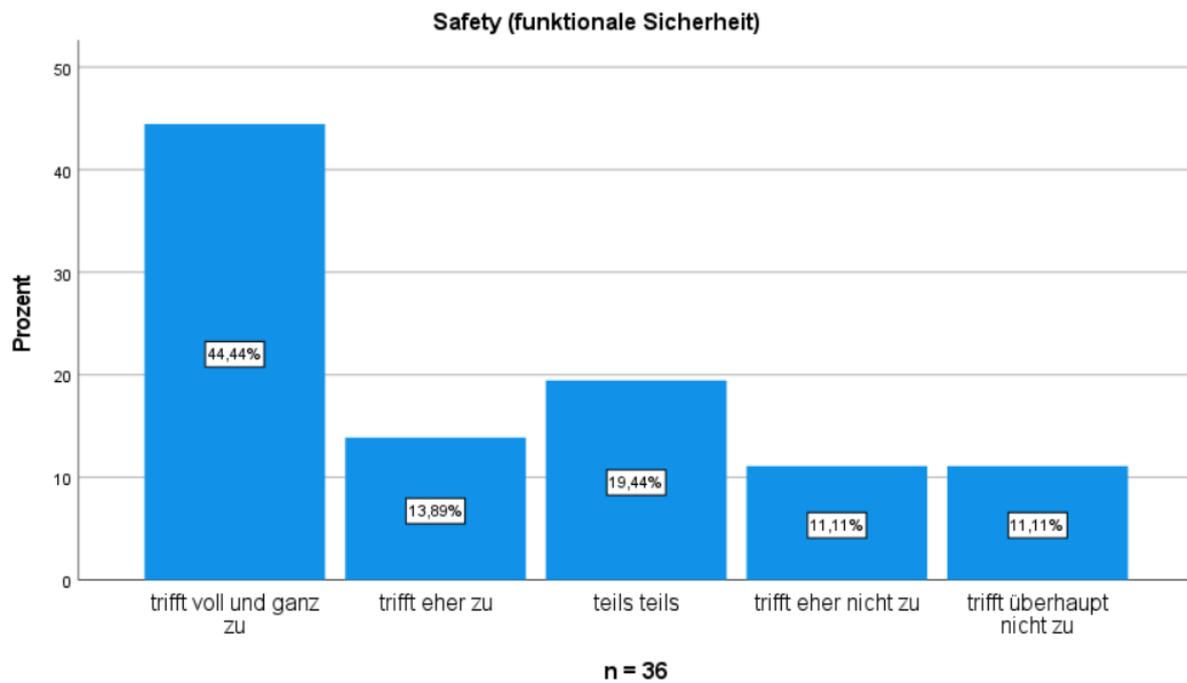


Abbildung 65: Häufigkeitsverteilung von EF9 (Safety). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der EF10 (**Security**) des Online-Befragungsinhaltes: *Security, wie z.B. Zwei-Weg-Authentifizierung und Verschlüsselung der personenbezogenen Daten*, war im Fokus des Projekts, ist in der Abbildung 66 zu sehen.

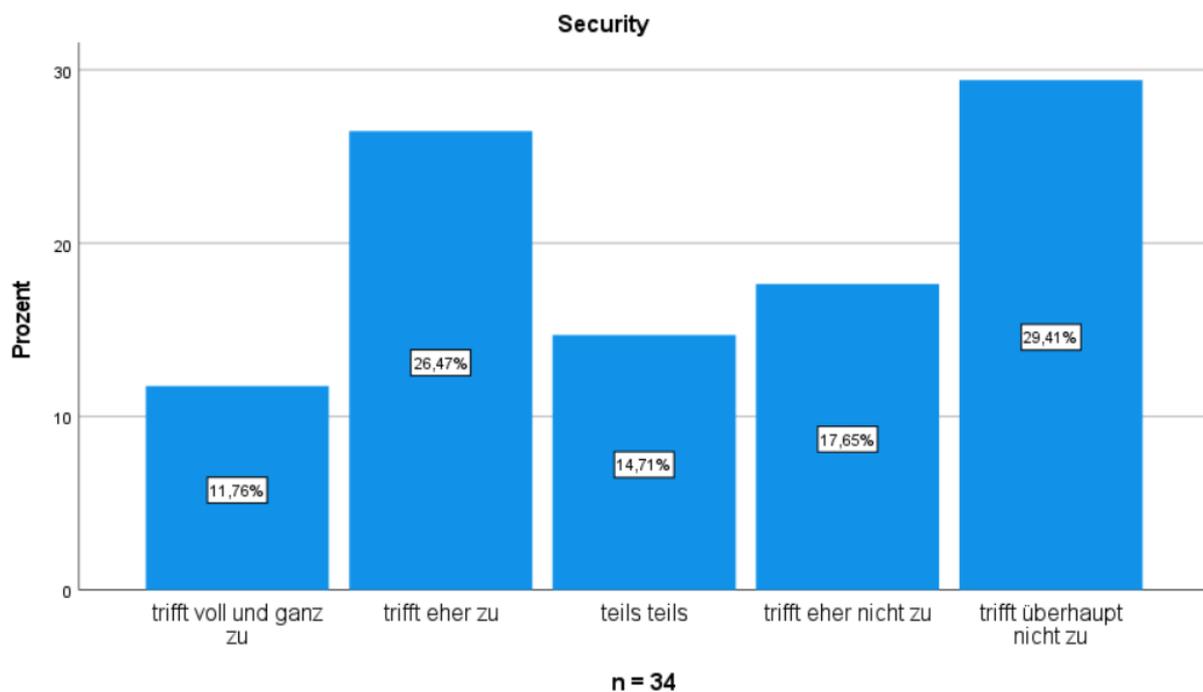


Abbildung 66: Häufigkeitsverteilung von EF10 (Security). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der EF11 (**Hardware und Energie**) des Online-Befragungsinhaltes: *Minimaler Ressourcenverbrauch von Hardware und Energie war für das fertiggestellte Produkt als Alleinstellungsmerkmal geplant*, ist in der Abbildung 67 zu sehen.

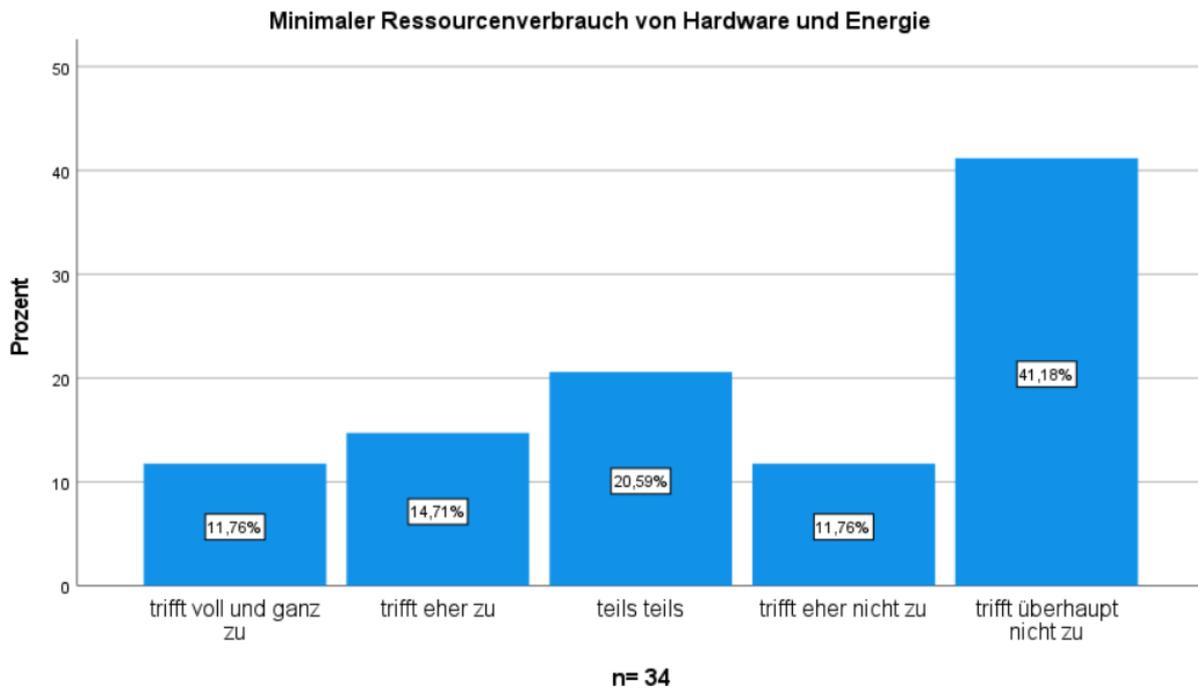


Abbildung 67: Häufigkeitsverteilung von EF11 (Hardware und Energie). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der EF12 (**Ethische Aspekte**) des Online-Befragungsinhaltes: *Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert auf ethische Aspekte im Zusammenhang der Nutzung des fertiggestellten Produktes gelegt*, ist in der Abbildung 68 zu sehen.

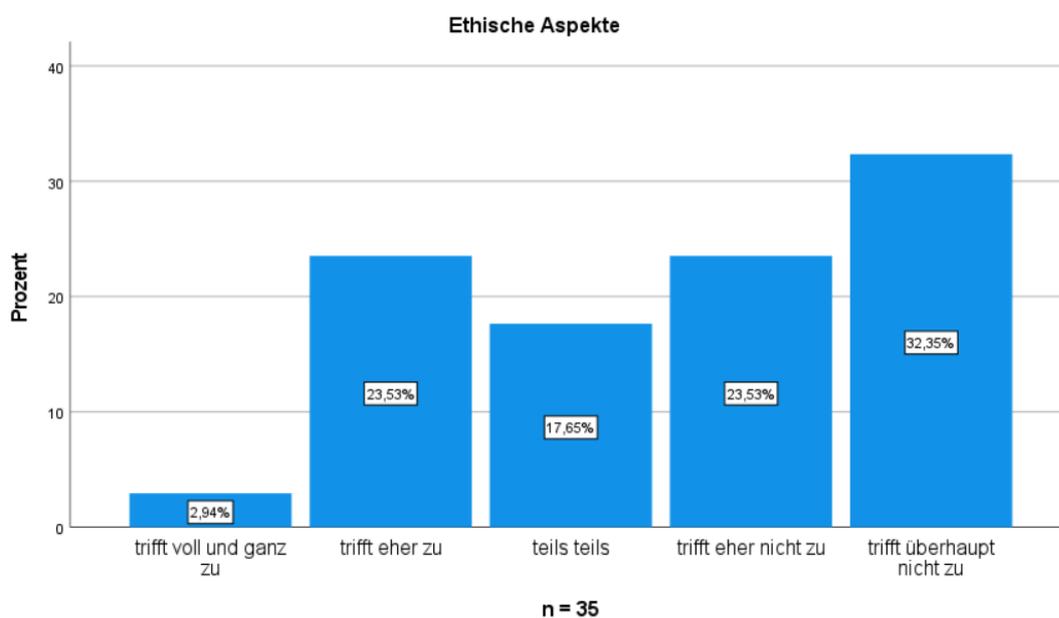


Abbildung 68: Häufigkeitsverteilung von EF12 (Ethische Aspekte). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der EF13 (**Innovation deutlich über den Status-Quo**) des Online-Befragungsinhaltes: *Innovation deutlich über dem Status-Quo von bestehenden Lösungen am Markt hinaus war Schwerpunkt des Projektes*, ist in der Abbildung 69 zu sehen.

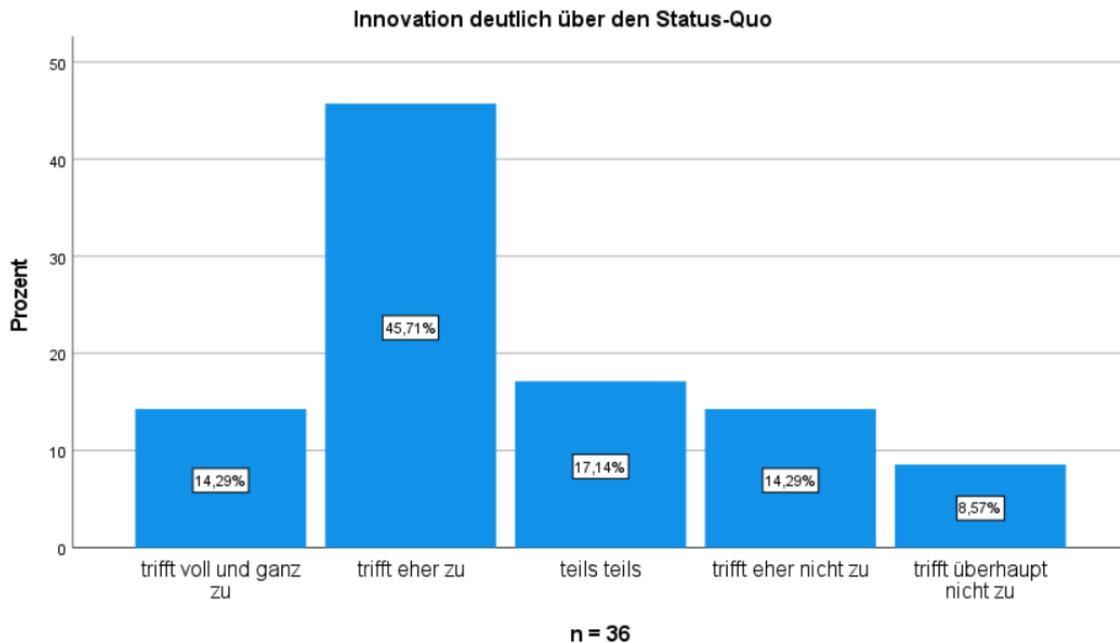


Abbildung 69: Häufigkeitsverteilung von EF13 (Innovation deutlich über dem Status-Quo). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der EF14 (**sich schnell ändernde Anforderungen**) des Online-Befragungsinhaltes: *Die Akzeptanz von sich schnell ändernden Anforderungen war im Projekt für alle Projektbeteiligten selbstverständlich*, ist in der Abbildung 70 zu sehen.

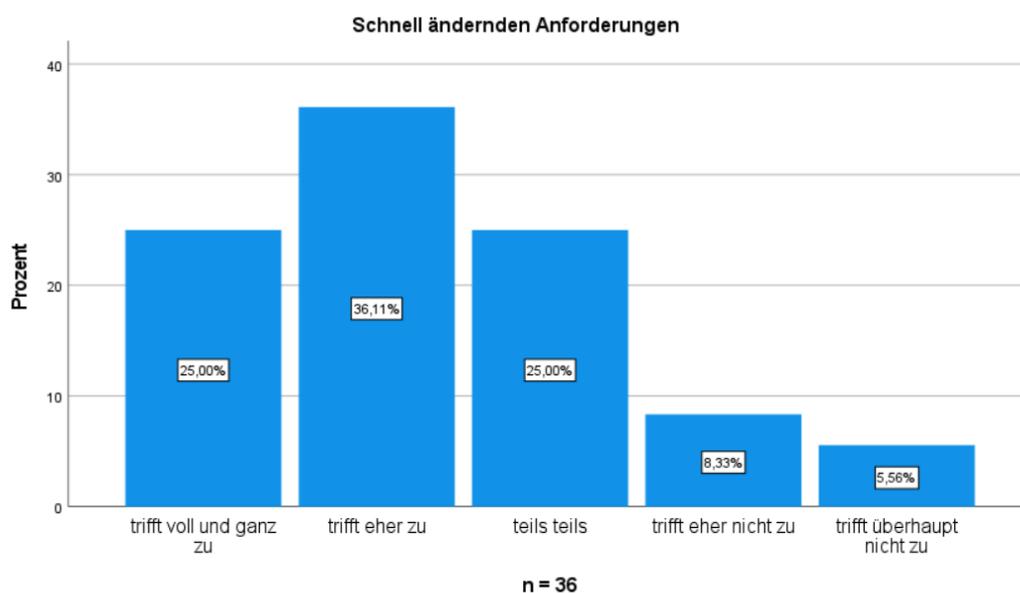


Abbildung 70: Häufigkeitsverteilung von EF14 (sich schnell ändernde Anforderungen). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der EF15 (**schnelle Reaktion auf Kundenwünsche/-feedback**) des Online-Befragungsinhaltes: *Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert auf die schnelle Reaktion auf Kundenwünsche/-feedback gelegt*, ist in der Abbildung 71 zu sehen.

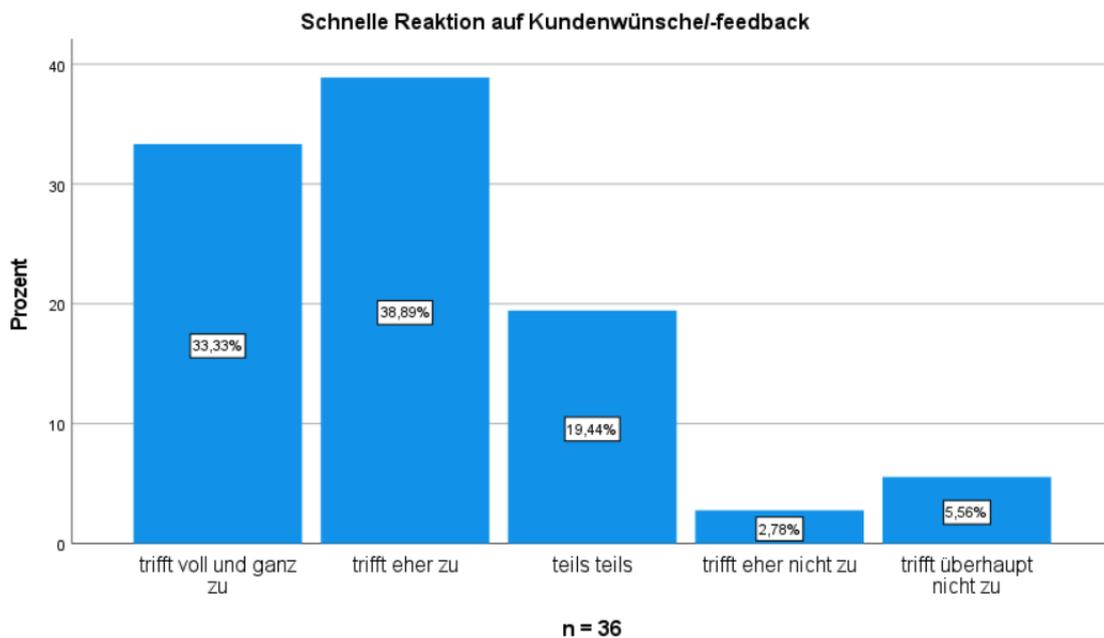


Abbildung 71: Häufigkeitsverteilung von EF15 (Schnelle Reaktion auf Kundenwünsche/-feedback). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der WF1 (**Energieverbrauch**) des Online-Befragungsinhaltes: *Der Energieverbrauch beim fertiggestellten Produkt war bei Einhaltung der Standardeinstellung minimal*, ist in der Abbildung 72 zu sehen.



Abbildung 72: Häufigkeitsverteilung von WF1 (Energieverbrauch). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der WF2 (**Keine neue Hardware durch den Kunden**) des Online-Befragungsinhaltes: *Für das fertiggestellte Produkt musste keine neue Hardware durch den Kunden angeschafft werden*, ist in der Abbildung 73 zu sehen.

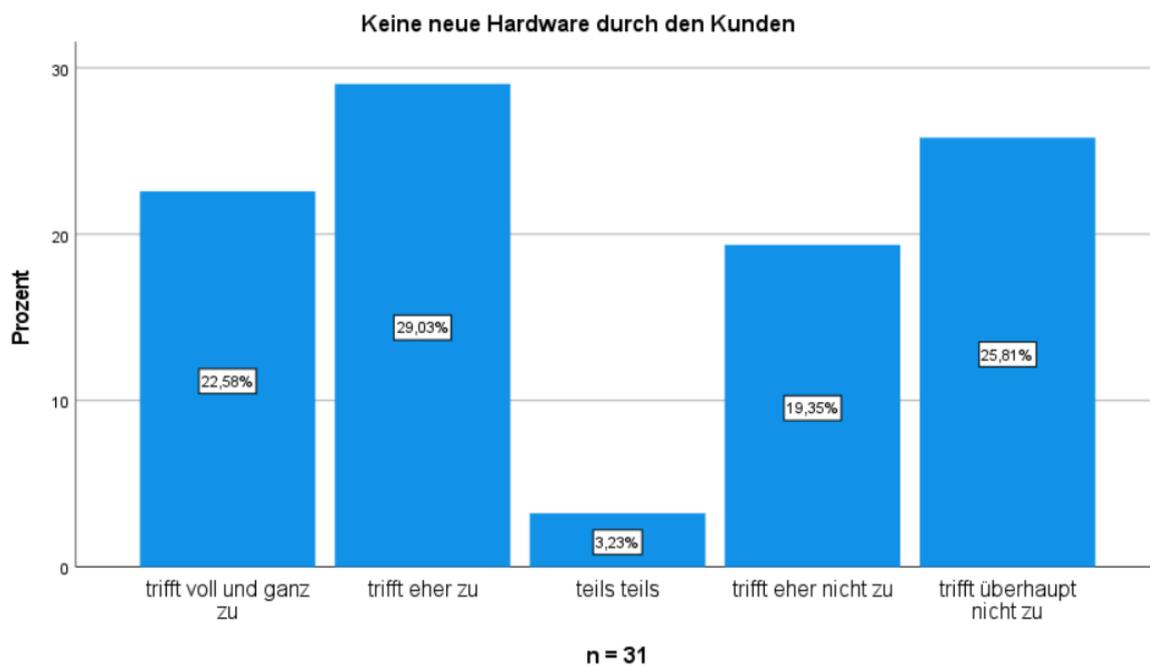


Abbildung 73: Häufigkeitsverteilung von WF2 (Keine neue Hardware durch den Kunden). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der WF3 (**Entwicklungskosten**) des Online-Befragungsinhaltes: *Die Entwicklungskosten (Hardware/Software) des Produktes waren minimal*, ist in der Abbildung 74 zu sehen.

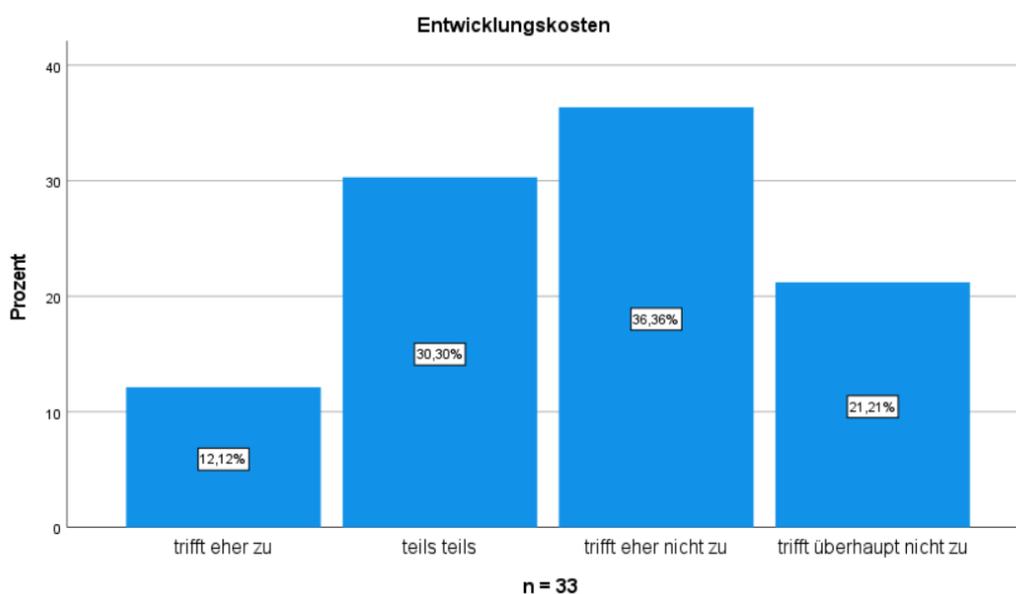


Abbildung 74: Häufigkeitsverteilung von WF3 (Entwicklungskosten). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der WF4 (**Benutzerfreundlichkeit**) des Online-Befragungsinhaltes: *Die Benutzerfreundlichkeit des fertiggestellten Produktes war für den Kunden sehr zufriedenstellend*, ist in der Abbildung 75 zu sehen.

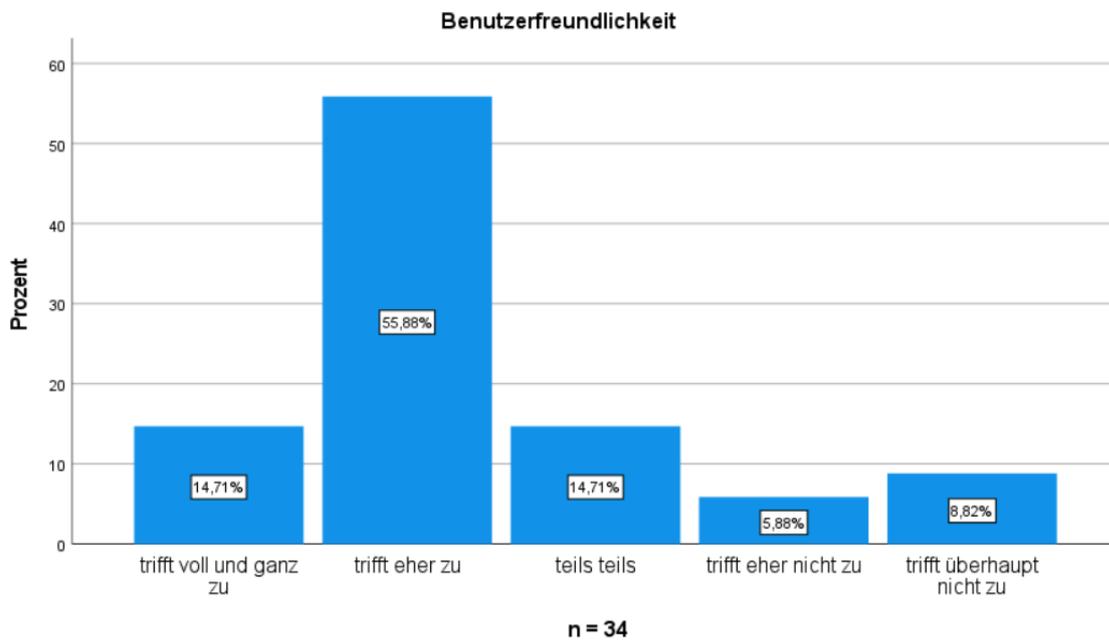


Abbildung 75: Häufigkeitsverteilung von WF4 (Benutzerfreundlichkeit). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der WF5 (**Nutzungsintensität mit gutem Gewissen**) des Online-Befragungsinhaltes: *Die Kunden können das fertiggestellte Produkt auch bei hoher Nutzungsintensität mit gutem Gewissen verwenden* ist in Abbildung 76 zu sehen.

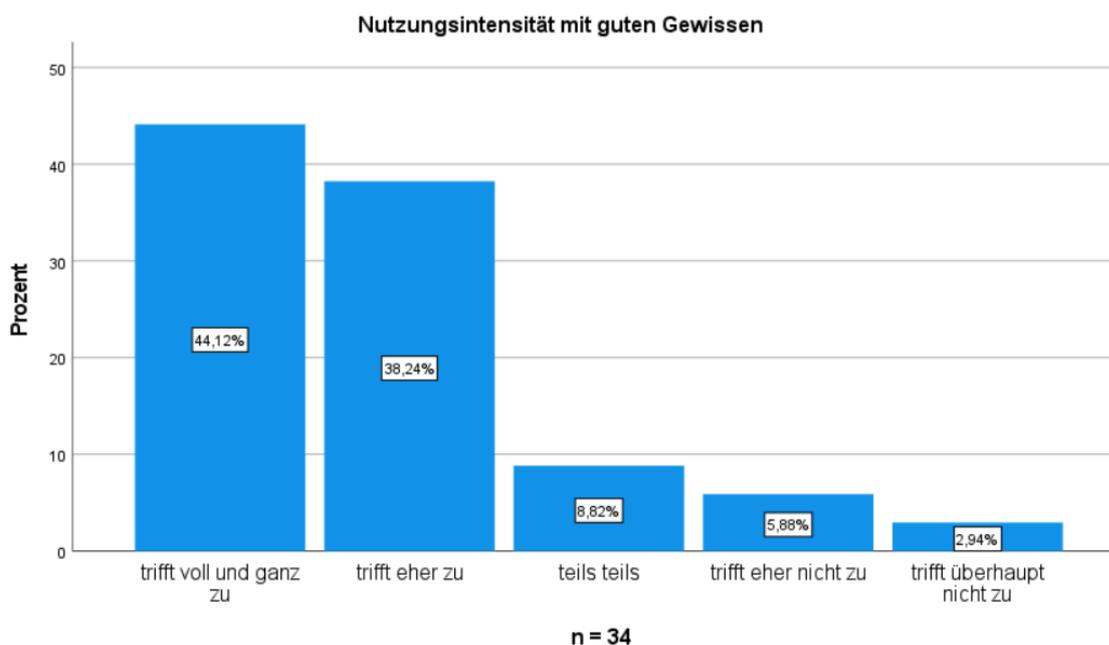


Abbildung 76: Häufigkeitsverteilung von WF5 (Nutzungsintensität mit gutem Gewissen). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der WF6 (**Kundenbindung wurde gesichert**) des Online-Befragungsinhaltes: *Die Kundenbindung wurde gesichert (Software Updates werden regelmäßig heruntergeladen)* ist in Abbildung 77 zu sehen.

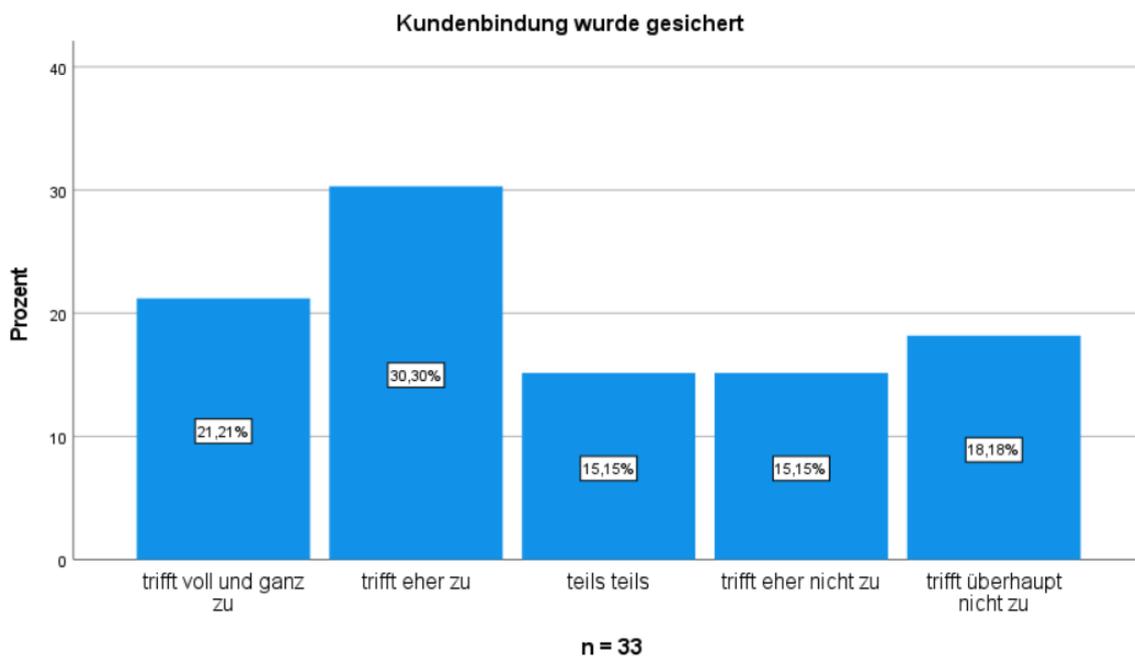


Abbildung 77: Häufigkeitsverteilung von WF6 (Kundenbindung wurde gesichert). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der WF7 (**langfristige Sicherung des Arbeitsplatzes**) des Online-Befragungsinhaltes: *Das Produkt trägt zur langfristigen Sicherung meines Arbeitsplatzes bei* ist in Abbildung 78 zu sehen.

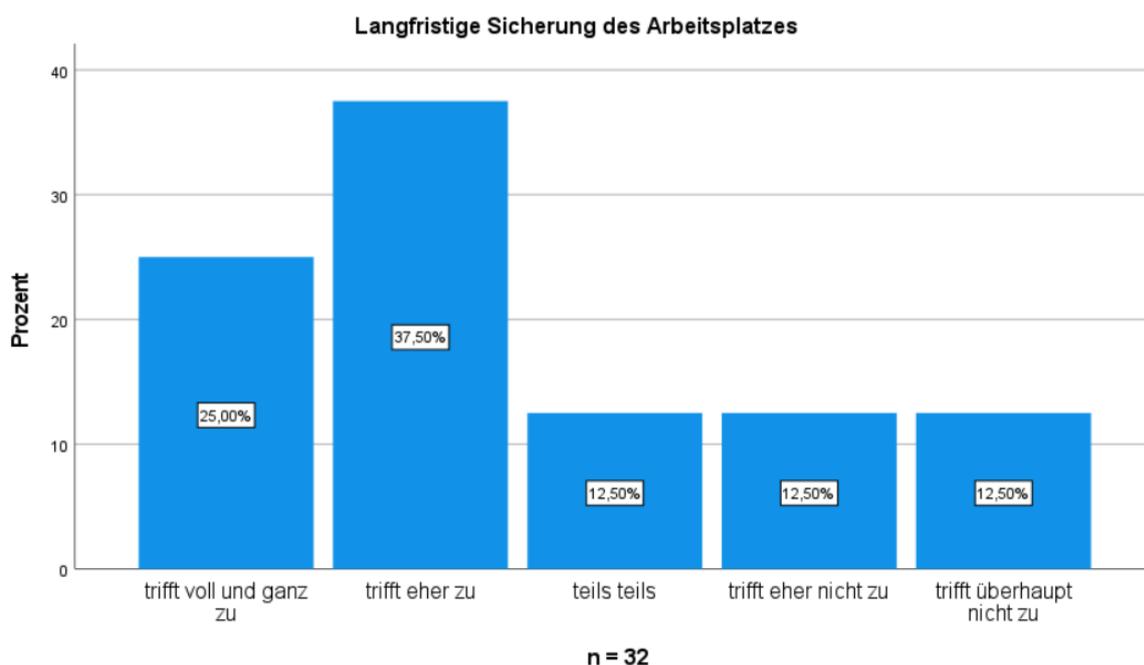


Abbildung 78: Häufigkeitsverteilung von WF7 (langfristige Sicherung des Arbeitsplatzes). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der WF8 (**Konflikte innerhalb und außerhalb des Projektes waren minimal**) des Online-Befragungsinhaltes: *Die Konflikte innerhalb und außerhalb des Projektes waren minimal* ist in Abbildung 79 zu sehen.

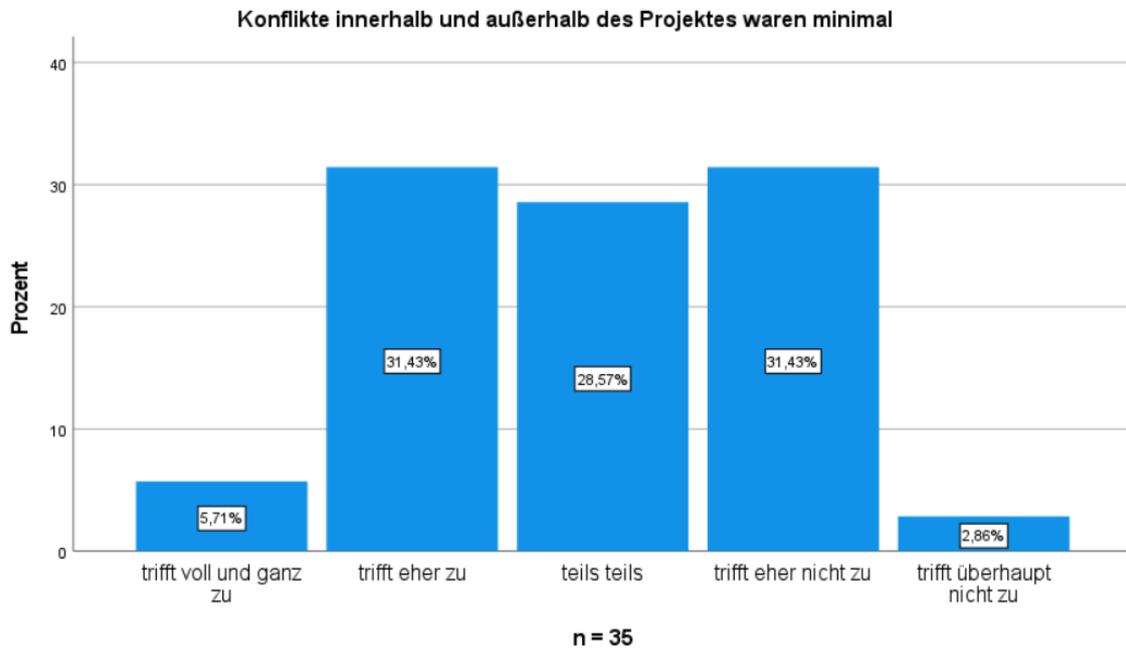


Abbildung 79: Häufigkeitsverteilung von WF8 (Konflikte innerhalb und außerhalb des Projektes waren minimal). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der WF9 (**Fluktuation innerhalb des Teams minimal**) des Online-Befragungsinhaltes: *Die Fluktuation innerhalb des Teams war minimal* ist in Abbildung 80 zu sehen.

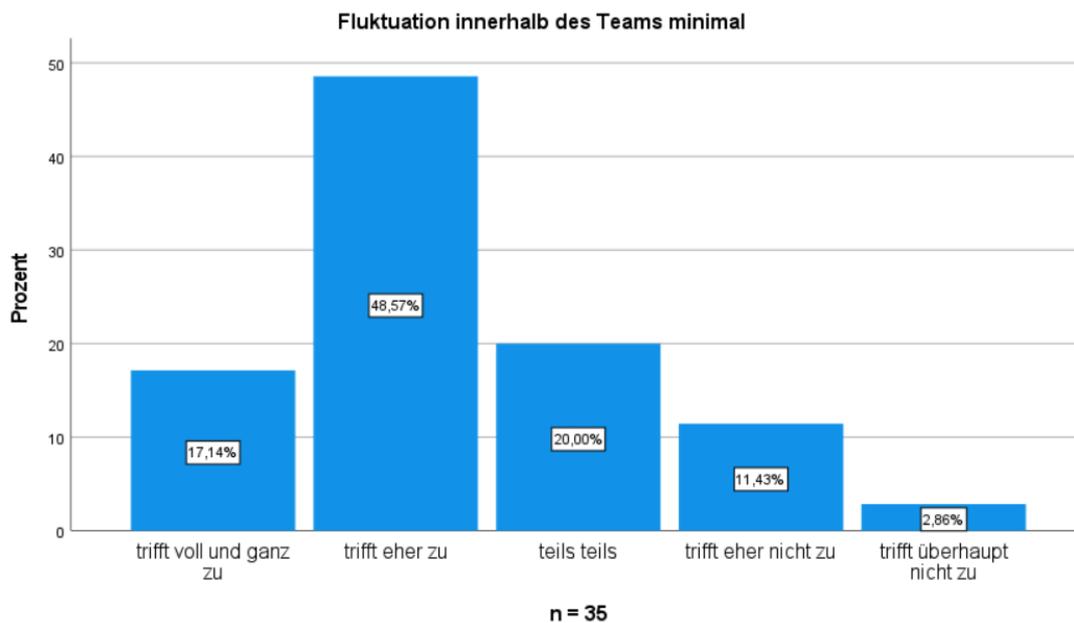


Abbildung 80: Häufigkeitsverteilung von WF9 (Fluktuation innerhalb des Teams minimal). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der WF10 (**Wartung der Software und Updates waren per Remote möglich**) des Online-Befragungsinhaltes: *Die Wartung der Software und Updates waren per Remote möglich* ist in Abbildung 81 zu sehen.

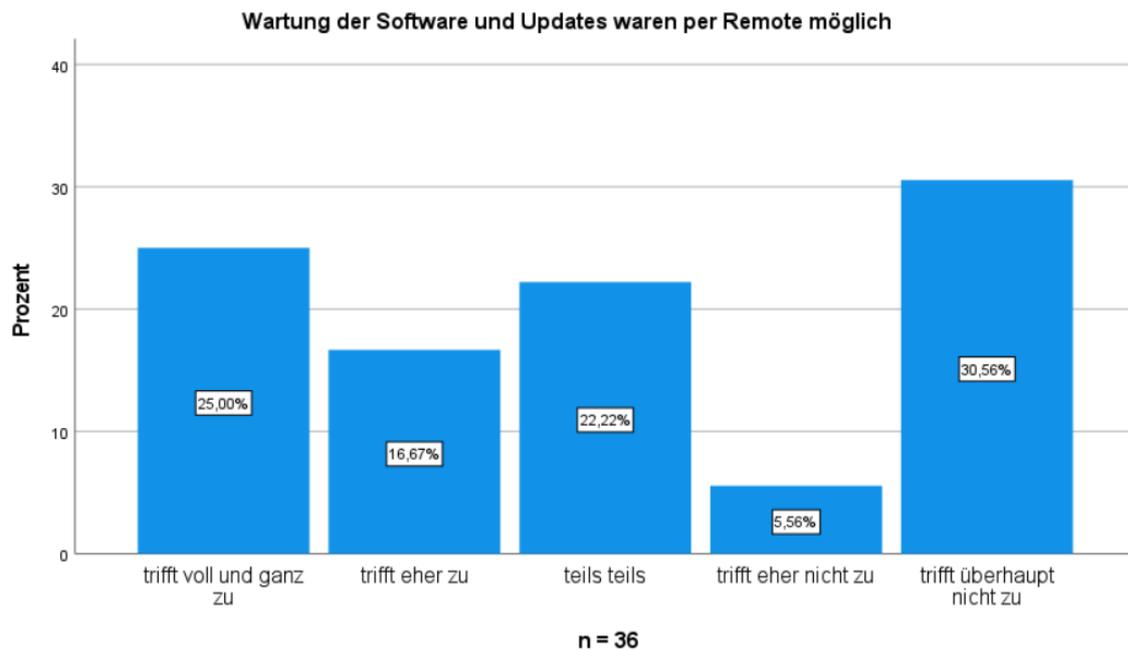


Abbildung 81: Häufigkeitsverteilung von WF10 (Wartung der Software und Updates waren per Remote möglich). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der WF11 (**Produkt hatte wenig Reklamationen**) des Online-Befragungsinhaltes: *Das Produkt hatte wenig Reklamationen* ist in Abbildung 82 zu sehen.

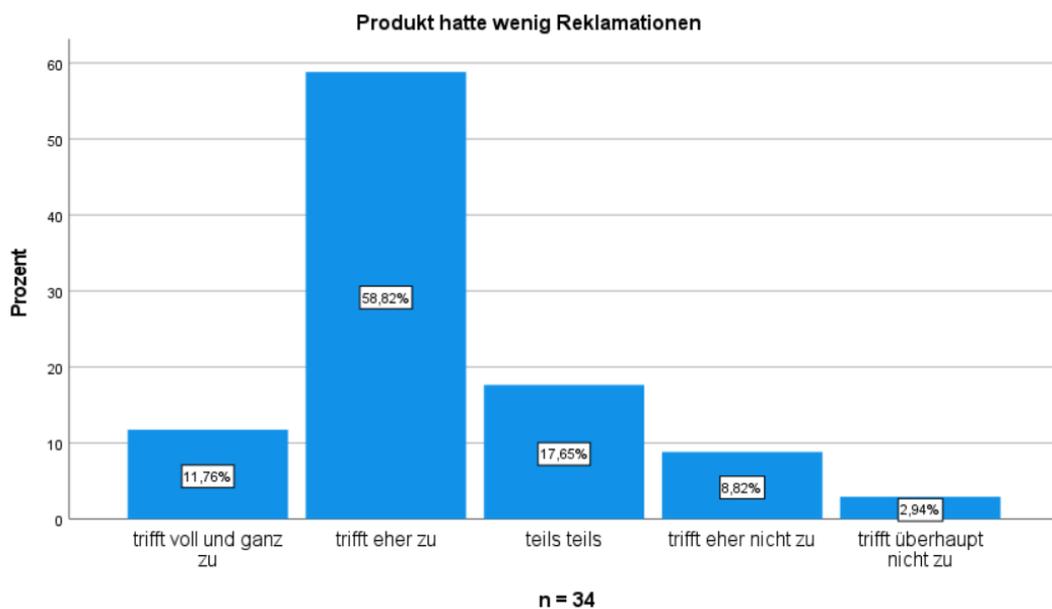


Abbildung 82: Häufigkeitsverteilung von WF11 (Produkt hatte wenig Reklamationen). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der WF12 (**Produkt funktioniert optimal (innerhalb der Gewährleistungs- und Garantiefri- sten)**) des Online-Befragungsinhaltes: *Das Produkt funktioniert optimal (innerhalb der Gewährleistungs- und Garantiefri- sten)* ist in Abbildung 83 zu sehen.

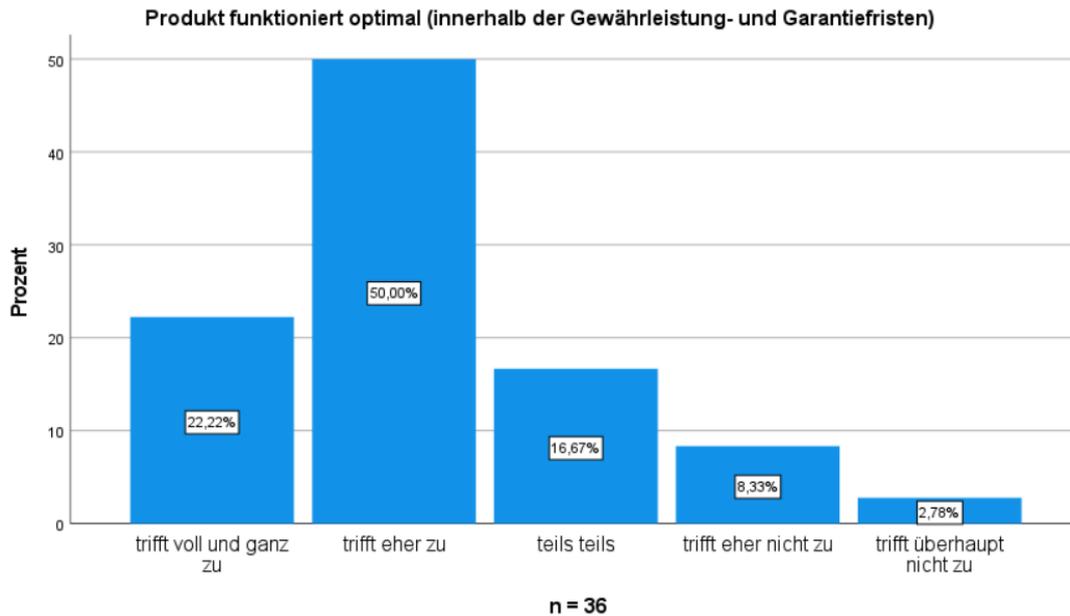


Abbildung 83: Häufigkeitsverteilung von WF12 (Produkt funktioniert optimal (innerhalb der Gewährleistungs- und Garantiefri- sten)). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der WF13 (**Endnutzer verwenden das Produkt wie geplant**) des Online-Befragungsinhaltes: *Die Endnutzer verwenden das Produkt wie geplant* ist in Abbildung 84 zu sehen.

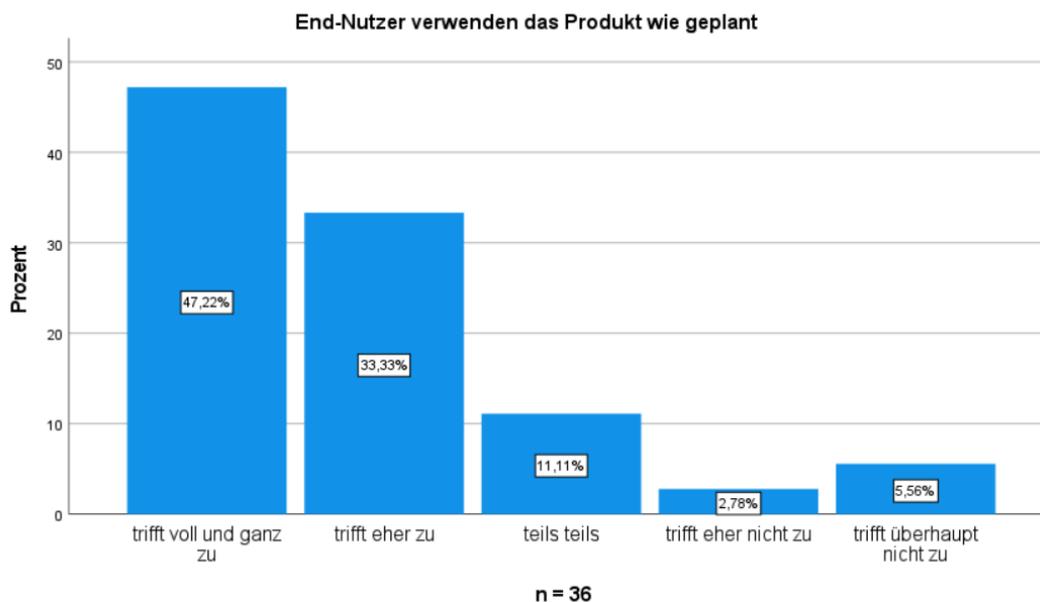


Abbildung 84: Häufigkeitsverteilung von WF13 (Endnutzer verwenden das Produkt wie geplant). Quelle: eigene Darstellung

Die Häufigkeitsverteilung der WF14 (**Digitaler Müll und Schrankware sind kein Ergebnis des Projekts gewesen**) des Online-Befragungsinhaltes: *Digitaler Müll und Schrankware sind kein Ergebnis des Projekts gewesen* ist in Abbildung 85 zu sehen.

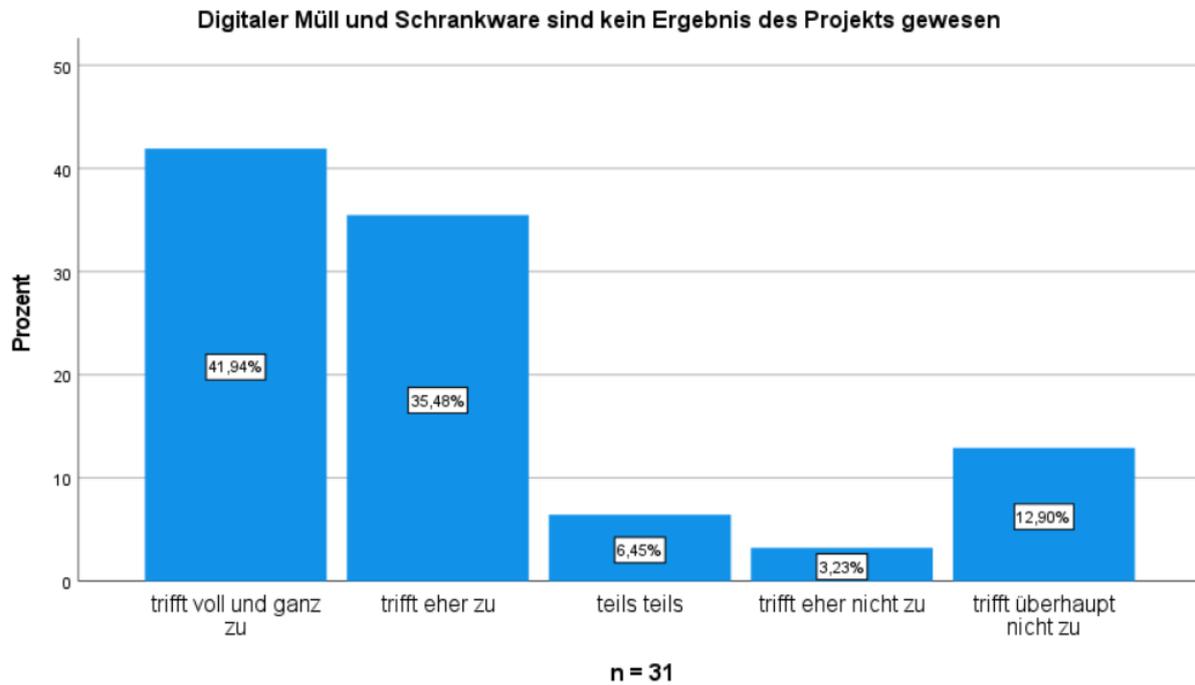


Abbildung 85: Häufigkeitsverteilung von WF14 (Digitaler Müll und Schrankware sind kein Ergebnis des Projekts gewesen). Quelle: eigene Darstellung

Um die deskriptive Auswertung abzuschließen, werden die Items bezüglich der Erfahrung der Befragten in der Softwareentwicklung und die Anzahl der Mitarbeiter im Softwareprojekt herangezogen, um zu zeigen, dass die ausgewählte Stichprobe und die dazugehörige Datenbasis zum einen mehr als 5 Jahre Berufserfahrung haben (69,6 % in Abbildung 86) und zum anderen, dass der Anteil der Mitarbeiter bei den Projekten in der Softwareentwicklung deutlich größer war (75,8 % in Abbildung 87) als in der Hardwareentwicklung.

Erfahrung

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Erfahrung	5	10,4	10,9	10,9
	1 bis 2 Jahre Erfahrung	3	6,3	6,5	17,4
	> 2 bis 5 Jahre Erfahrung	6	12,5	13,0	30,4
	Mehr als 5 Jahre	32	66,7	69,6	100,0
	Gesamt	46	95,8	100,0	
Fehlend	System	2	4,2		
Gesamt		48	100,0		

Abbildung 86: Erfahrung in der Softwareentwicklung. Quelle: eigene Darstellung

Anzahl der Mitarbeiter in der Softwareentwicklung und der Hardwareentwicklung

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	deutlich mehr in der Softwareentwicklung	25	52,1	75,8	75,8
	etwas mehr in der Softwareentwicklung	6	12,5	18,2	93,9
	gleich viele	2	4,2	6,1	100,0
	Gesamt	33	68,8	100,0	
Fehlend	0	3	6,3		
	System	12	25,0		
	Gesamt	15	31,3		
Gesamt		48	100,0		

Abbildung 87: Mitarbeiterzahl in der Softwareentwicklung. Quelle: eigene Darstellung

3.3.4.2. Durchführung der Faktorenanalyse

Im Anschluss an die Datenaufbereitung und deskriptive Auswertung wird die explorative Faktorenanalyse eingesetzt, um sowohl Zusammenhänge als auch Strukturen in den Daten zu finden. Die explorative Faktorenanalyse gehört zur Methodengruppe der strukturentdeckenden Verfahren. Das primäre Ziel ist die Datenreduktion, d. h. die Zusammenfassung einer Vielzahl von Items auf Basis ihrer korrelativen Beziehungen zu einer Anzahl überschaubarer sowie interpretierbarer Faktoren. Das erforderliche Skalenniveau der vorliegenden Daten ist gegeben, da die Daten ein metrisches Skalenniveau besitzen. Folgende Voraussetzungen müssen erfüllt werden, um die Eignungsbeurteilung der Datenbasis auf Basis der Korrelationsmatrix prüfen zu können (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 371):

- Reliabilitätsanalyse
- Korrelationsmatrix: Korrelationen und Signifikanzniveaus
- Inverse der Korrelationsmatrix
- Prüfung der Variablen auf Normalverteilung, zumindest auf Gleichartigkeit der Verteilung, auch wenn die Faktorenanalyse keine Verteilungsannahmen setzt
- Bartlett-Test (auf Sphärizität)
- Kaiser-Meyer-Olkin Maß (KMO-Test)
- Anti-Image-Kovarianzmatrix
- Measure of Sampling Adequacy (MSA-Maß)

Die vorliegende Datenbasis der Umfrage besteht aus Einflussfaktoren und Wirkungsgrößen. Die genaue Zuordnung zwischen der Datenbasis und den Einflussfaktoren sowie Wirkungsgrößen ist vor der Durchführung dokumentiert worden. Dabei bilden die Einflussfaktoren EF1 bis EF15 die unabhängigen Variablen, welche in die drei Kategorien sozial, ökonomisch und ökologisch eingeteilt werden sollen. In SPSS erfolgt dies durch eine Umrechnung der Kategorie in eine neue Variable, indem der Mittelwert der zugehörigen Komponente, die das Ergebnis der Faktorenanalyse darstellt, berechnet wird. Die abhängige Variable als Erfolg wird anhand der Wirkungsgrößen WF1 bis WF14 auch in die drei Kategorien sozial, ökonomisch und ökologisch eingeteilt. In SPSS erfolgt dies durch eine Umrechnung der Kategorie in eine neue Variable, indem der Mittelwert der zugehörigen Komponente, die das Ergebnis der Faktorenanalyse darstellt, berechnet wird. Daraus wird

der Mittelwert der drei reduzierten Kategorien in einem gesamten nachhaltigen Erfolg berechnet, was die abhängige Variable darstellt. Somit wird bei Erfüllung der Voraussetzung der explorativen und linearen Regression eine multiple lineare Regression ermöglicht, um eine Prognose für den nachhaltigen Erfolg abgeben zu können. Der Aufruf der Faktorenanalyse ist beispielhaft in Abbildung 88 zu sehen (vgl. Brosius, 2018, S. 936). Die Option „listenweiser Fallausschluss“ wird ausgewählt, da die Datenbasis von den „Fehlenden Werten“ bereinigt wurde.

Befehle: Analysieren>Dimensionsreduktion>Faktorenanalyse

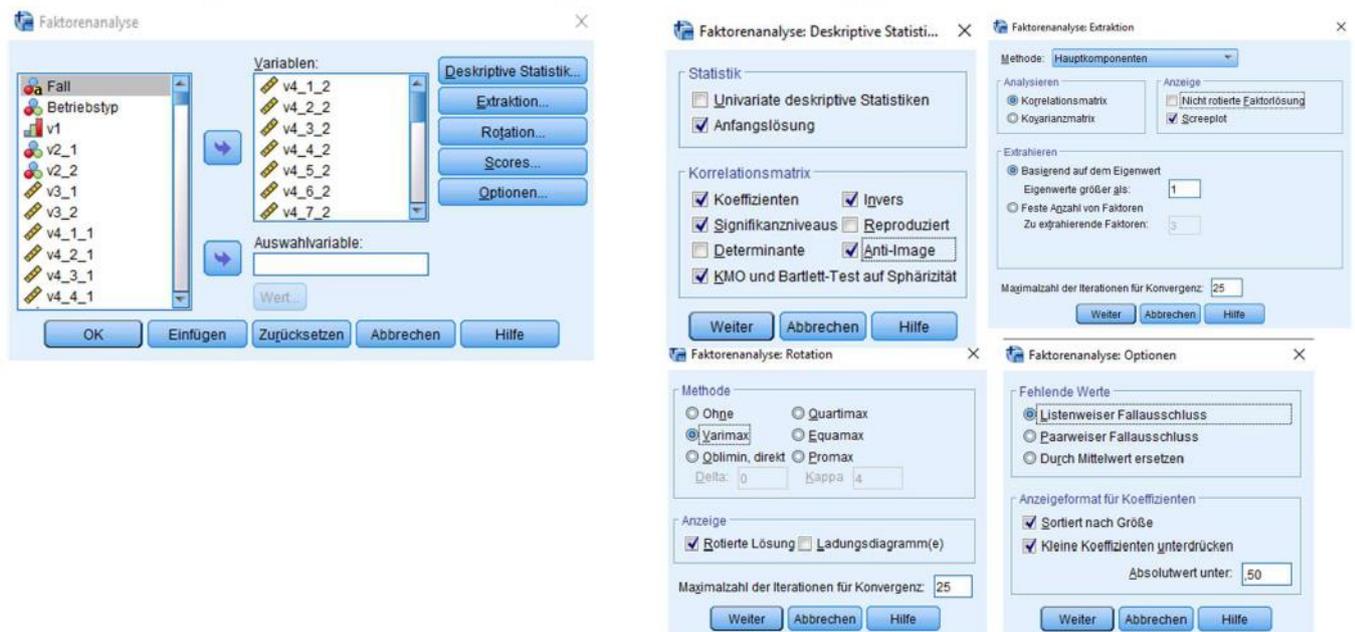


Abbildung 88: Aufruf der Faktorenanalyse in SPSS. Quelle: eigene Darstellung

Folgende Abbildungen veranschaulichen die Ergebnisse der Faktorenanalyse und die dazugehörige sachlogische Zuteilung der Kategorien. Abbildung 89 zeigt die voreingestellte Reduktion auf drei Komponenten.

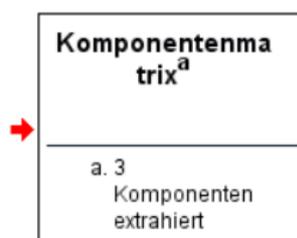


Abbildung 89: Reduktion der Kategorien auf drei Komponenten. Quelle: eigene Darstellung

Die rotierte Komponentenmatrix für EF (Abbildung 90) und WF (Abbildung 91) zeigt die Stärke der Zugehörigkeiten von Variablen zu den einzelnen Komponenten, was einer sachlogischen Interpretation bedarf.

Rotierte Komponentenmatrix^a

	Komponente		
	1	2	3
Test von Rückwärtskompatibilität	,857		
Transparenz (Erklärbarkeit + Interpretierbarkeit)	,854		
Wartung und das Update der Software per Remote	,819		
Benutzerinformation	,750		
Schnell ändernden Anforderungen	,724		,411
Rückwärtskompatibilität	,670		,427
Innovation deutlich über den Status-Quo	,623		
Schnelle Reaktion auf Kundenwünsche/-feedback	,530	,465	,525
Kommunikation	,475	,419	
Standardeinstellung		,810	
Jedes Feature im Produkt wurde auf minimalen Energieverbrauch getestet		,778	
Ethische Aspekte		,753	
Safety (funktionale Sicherheit)			,685
Minimaler Ressourcenverbrauch von Hardware und Energie			,674
Security			-,643

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung.

a. Die Rotation ist in 5 Iterationen konvergiert.

Abbildung 90: Zugehörigkeiten der Einflussvariablen in den drei Komponenten. Quelle: eigene Darstellung

Rotierte Komponentenmatrix^a

	Komponente		
	1	2	3
Produkt hatte wenig Reklamationen	,948		
Produkt funktioniert optimal (innerhalb der Gewährleistungs- und Garantiefristen)	,915		
Fluktuation innerhalb des Teams minimal	,878		
Konflikte innerhalb und außerhalb des Projektes waren minimal	,861		
Digitaler Müll und Schrankware sind kein Ergebnis des Projekts gewesen	,771		
Energieverbrauch	,721		
End-Nutzer verwenden das Produkt wie geplant	,699		
Nutzungsintensität mit guten Gewissen	,667		,534
Benutzerfreundlichkeit	,660	,444	
Wartung der Software und Updates waren per Remote möglich		,931	
Keine neue Hardware durch den Kunden		,860	
Kundenbindung wurde gesichert		,831	
Langfristige Sicherung des Arbeitsplatzes			,694
Entwicklungskosten			-,602

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung.

a. Die Rotation ist in 4 Iterationen konvergiert.

Abbildung 91: Zugehörigkeiten der Wirkungsvariablen in den drei Komponenten. Quelle: eigene Darstellung

3.3.4.3. Reliabilitätsanalyse mittels Cronbachs Alpha

Als erste Voraussetzung der Faktorenanalyse wird die Reliabilitätsanalyse mittels Cronbachs Alpha durchgeführt. Die folgenden Abbildungen zeigen sowohl für die unabhängigen Variablen (Einflussgrößen) als auch die abhängigen Variablen (Wirkungsgrößen) das Ergebnis sowie die Interpretation der Faktorenanalyse und die Erfüllung der Voraussetzungen, u. a. das dazugehörige Cronbachs Alpha. Die sachlogische Interpretation und Zuordnung zu den Kategorien (sozial, ökonomisch und ökologisch) werden dann tabellarisch in Tabelle 50 und Tabelle 51 dargestellt. Cronbach Alpha ist ein wichtiger Kennwert zur Beurteilung der Genauigkeit, mit der ein Merkmal durch Items erfasst wird. Dazu sollte Cronbachs Alpha hoch sein ($\text{Alpha} \geq 0,8$). Als gerade noch akzeptabel werden in der Literatur Werte ab 0,6 angesehen. Weiterhin sind Verbesserungsmöglichkeiten durch das Löschen von Items: erkennbar durch (vor-) letzte Spalte in den Abbildungen, möglich. Bei einem hohem Wert müssen nicht zwingend bereits vor Durchführung der Faktorenanalyse Items gelöscht werden; bei niedrigen Werten sollte man jedoch davon Gebrauch machen (vgl. Brosius, 2018, S. 949). Bei den Einflussgrößen und Cronbachs Alpha ergaben sich folgende Werte, wie in den Abbildungen Abbildung 92, Abbildung 93 und Abbildung 94. Zu sehen ist die Item-Statistik, auf deren Basis dann die tabellarische sachlogische Zuordnung erfolgte.

Reliabilitätsstatistiken

Cronbachs Alpha	Anzahl der Items
,881	9

Item-Skala-Statistiken

	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
Test von Rückwärtskompatibilität	20,47	52,257	,664	,865
Transparenz (Erklärbarkeit + Interpretierbarkeit)	21,16	52,265	,776	,855
Wartung und das Update der Software per Remote	20,38	53,984	,542	,878
Benutzerinformation	21,28	53,757	,667	,865
Schnell ändernden Anforderungen	21,19	54,544	,777	,857
Rückwärtskompatibilität	20,69	54,157	,623	,869
Innovation deutlich über den Status-Quo	20,91	57,830	,532	,876
Schnelle Reaktion auf Kundenwünsche/-feedback	21,41	58,120	,575	,873
Kommunikation	21,03	59,386	,555	,875

Abbildung 92: Cronbachs Alpha der Einflussgrößen (Ökonomisch). Quelle: eigene Darstellung

Reliabilitätsstatistiken

Cronbachs Alpha	Anzahl der Items
,649	2

Item-Skala-Statistiken

	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
Safety (funktionale Sicherheit)	3,56	2,133	,482	.
Minimaler Ressourcenverbrauch von Hardware und Energie	2,26	1,898	,482	.

Abbildung 93: Cronbachs Alpha der Einflussgrößen (Ökologisch). Quelle: eigene Darstellung

Reliabilitätsstatistiken

Cronbachs Alpha	Anzahl der Items
,726	3

Item-Skala-Statistiken

	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
Standardeinstellung	7,57	4,599	,567	,614
Jedes Feature im Produkt wurde auf minimalen Energieverbrauch getestet	7,30	4,355	,658	,498
Ethische Aspekte	7,80	5,407	,429	,771

Abbildung 94: Cronbachs Alpha der Einflussgrößen (sozial). Quelle: eigene Darstellung

Bei den Wirkungsgrößen und Cronbachs Alpha ergaben sich folgende drei Werte, wie in Abbildung 95, Abbildung 96 und Abbildung 97. In den Abbildungen ist die Item-Statistik zu sehen, auf deren Basis die tabellarische sachlogische Zuordnung erfolgte. Tabelle 48 und Tabelle 49 zeigen die Zuordnung der EF und WF zu den Kategorien, um daraus eine neue Variable in SPSS berechnen zu können, die den Durchschnitt der jeweiligen EF und WF in ihrer Zuordnung auf Basis der Reliabilitätsanalyse und Cronbachs Alpha abbildet.

Reliabilitätsstatistiken

Cronbachs Alpha	Anzahl der Items
,897	8

Item-Skala-Statistiken

	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
Produkt hatte wenig Reklamationen	16,74	38,111	,892	,866
Produkt funktioniert optimal (innerhalb der Gewährleistung- und Garantiefrieten)	16,91	37,083	,883	,864
Fluktuation innerhalb des Teams minimal	16,74	39,020	,772	,875
Konflikte innerhalb und außerhalb des Projektes waren minimal	16,22	38,905	,759	,876
Digitaler Müll und Schrankware sind kein Ergebnis des Projekts gewesen	17,09	40,992	,437	,910
Energieverbrauch	16,22	37,451	,616	,893
End-Nutzer verwenden das Produkt wie geplant	17,26	40,565	,642	,887
Benutzerfreundlichkeit	17,04	42,407	,576	,892

Abbildung 95: Cronbachs Alpha der Wirkungsgrößen (ökonomisch). Quelle: eigene Darstellung

Reliabilitätsstatistiken

Cronbachs Alpha	Anzahl der Items
,641	2

Item-Skala-Statistiken

	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
Nutzungsintensität mit guten Gewissen	2,45	1,789	,486	.
Langfristige Sicherung des Arbeitsplatzes	1,90	1,090	,486	.

Abbildung 96: Cronbachs Alpha der Wirkungsgrößen (sozial). Quelle: eigene Darstellung

Reliabilitätsstatistiken

Cronbachs Alpha	Anzahl der Items
,727	3

Item-Skala-Statistiken

	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
Wartung der Software und Updates waren per Remote möglich	5,76	6,190	,602	,572
Keine neue Hardware durch den Kunden	5,66	7,091	,474	,729
Kundenbindung wurde gesichert (bezüglich regelmässiges Update der Software)	5,83	7,005	,578	,609

Abbildung 97: Cronbachs Alpha der Wirkungsgrößen (ökologisch). Quelle: eigene Darstellung

Um den Gesamterfolg als abhängige Variable zu berechnen, wird eine neue Variable als Durchschnitt der Wirkungsgrößen transformiert bzw. neu berechnet, was ein Cronbachs Alpha von 0,852 ergibt, wie die Abbildung 98 es zeigt.

Reliabilitätsstatistiken				
	Cronbachs Alpha	Anzahl der Items		
	,852	14		

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
Energieverbrauch	33,45	93,418	,480	,843
Keine neue Hardware durch den Kunden	33,50	96,789	,324	,855
Entwicklungskosten	33,05	104,471	,141	,860
Benutzerfreundlichkeit	34,40	93,200	,767	,830
Nutzungsintensität mit gutem Gewissen	34,55	90,682	,749	,828
Kundenbindung wurde gesichert (bezüglich regelmässiges Update der Software)	33,75	97,776	,296	,856
Langfristige Sicherung des Arbeitsplatzes	34,00	100,526	,219	,860
Konflikte innerhalb und außerhalb des Projektes waren minimal	33,70	91,168	,745	,828
Fluktuation innerhalb des Teams minimal	34,05	92,892	,708	,831
Wartung der Software und Updates waren per Remote möglich	33,60	98,042	,262	,860
Produkt hatte wenig Reklamationen	34,20	90,695	,868	,824
Produkt funktioniert optimal (innerhalb der Gewährleistung- und Garantiefrieten)	34,20	89,221	,860	,822
End-Nutzer verwenden das Produkt wie geplant	34,60	97,305	,475	,843
Digitaler Müll und Schrankware sind kein Ergebnis des Projekts gewesen	34,75	95,776	,569	,839

Abbildung 98: Gesamterfolg und dazugehöriger Cronbachs Alpha als neue Variable. Quelle: eigene Darstellung

Die Reliabilitätsanalyse der Datenbasis mittels Cronbachs Alpha bedarf sowohl einer pragmatischen sachlogischen Analyse, indem die Einflussvariablen und Wirkungsvariablen den Komponenten aus der Komponentenmatrix zugeordnet werden, als auch eine kritische Auseinandersetzung mit den erreichten Ergebnissen. Um die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit erreichen zu können, wird die Schleife des empirischen Forschungsprozesses an genau dieser Stelle notwendig sein. Dies zeigt deutlich den praktischen sowie pragmatischen Nutzen der Forschungsschleife zwischen Induktion zu Deduktion sowie von der Deduktion zu Induktion. Tabelle 48 und Tabelle 49 zeigen das Endergebnis der Analyse.

Tabelle 48: Zuordnung der Einflussvariablen zu den Komponenten und die dazugehörigen Kategorien

Einflussvariable	Ökonomische	Ökologische	Soziale
EF1			
EF2			
EF3			
EF4			
EF5			
EF6			
EF7			
EF8			
EF9			
EF10	Aufgrund der Daten/ Cronbachs Alpha/ Faktorenanalyse wird EF10 nicht weiter betrachtet		
EF11			
EF12			
EF13			
EF14			
EF15			

Tabelle 49: Zuordnung der Wirkungsvariablen zu den Komponenten und die dazugehörigen Kategorien

Wirkungsvariable	Ökonomische	Ökologische	Soziale
WF1			
WF2			
WF3	Aufgrund der Daten/ Cronbachs Alpha/ Faktorenanalyse wird WF3 nicht weiter betrachtet		
WF4			
WF5			
WF6			
WF7			
WF8			
WF9			
WF10			
WF11			
WF12			
WF13			
WF14			

3.3.4.4. Korrelationen sowie Korrelationsmatrix und inverse Korrelationsmatrix

Ein weiteres Eignungskriterium der Faktorenanalyse ist die Korrelationsmatrix, welche durch die Stärke des Zusammenhanges anhand des hohen Wertes der Korrelationskoeffizienten zum Ausdruck gebracht wird. Da liegt der Wertebereich zwischen -1 und +1. Zu den Werten der Korrelationskoeffizienten zählt zu einer ganzen Reihe signifikanter Zusammenhänge, die durch die Signifikanzniveaus zum Ausdruck gebracht werden. Hier liegen signifikante Werte, wenn $p \leq 0,05$. Zum anderen ist die Faktorenanalyse geeignet, wenn bei der inversen Korrelationsmatrix die Nicht-Diagonalelemente möglichst nahe bei null liegen.

Bei Letzterem gibt es kein allgemeingültiges Kriterium, wie stark und häufig die Nicht-Diagonalelemente von null abweichen dürfen (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 408–410). Bei der vorliegenden Datenbasis waren die Werte der Korrelationskoeffizienten zwischen -1 und 1. Dazu gibt es in der Datenbasis eine Reihe signifikanter Zusammenhänge. Die inverse Korrelationsmatrix hat gezeigt, dass die Nicht-Diagonalelemente möglichst nahe bei null sind. Die drei beschriebenen Voraussetzungen anhand der Korrelation wurden sowohl für EF als auch für WF geprüft. Abbildung 99, Abbildung 100, Abbildung 101 und Abbildung 102 zeigen die erhaltenen Ergebnisse.

Korrelationsmatrix

	Standard-einstellung	Rückwärtskompatibilität	Kommunikation	Wartung und das Update der Software per Remote	Benutzerinformation	Transparenz (Erklärbarkeit + Interpretierbarkeit)	Test von Rückwärtskompatibilität	Jedes Feature im Produkt wurde auf minimalen Energieverbrauch getestet	Safety (funktionale Sicherheit)	Security	Minimaler Ressourcenverbrauch von Hardware und Energie	Ethische Aspekte	Innovation deutlich über den Status-Quo	Schnell ändernden Anforderungen	Schnelle Reaktion auf Kundenwünsche/feedback	
Korrelation	Standard-einstellung	1,000	,161	,259	-,167	,179	,132	,019	,624	,198	,034	,254	,347	,026	,200	,421
	Rückwärtskompatibilität	,161	1,000	,505	,456	,385	,636	,660	,397	,456	-,079	,524	,371	,446	,640	,612
	Kommunikation	,259	,505	1,000	,238	,455	,452	,325	,377	,257	-,219	,295	,364	,495	,602	,745
	Wartung und das Update der Software per Remote	-,167	,456	,238	1,000	,443	,531	,747	,057	,147	,465	,167	,206	,347	,353	,269
	Benutzerinformation	,179	,385	,455	,443	1,000	,808	,609	,230	,145	,024	,130	,331	,458	,605	,435
	Transparenz (Erklärbarkeit + Interpretierbarkeit)	,132	,636	,452	,531	,808	1,000	,667	,174	,231	-,009	,239	,487	,509	,766	,564
	Test von Rückwärtskompatibilität	,019	,660	,325	,747	,609	,667	1,000	,279	,309	,157	,350	,130	,456	,604	,425
	Jedes Feature im Produkt wurde auf minimalen Energieverbrauch getestet	,624	,397	,377	,057	,230	,174	,279	1,000	,223	-,082	,521	,468	,142	,214	,427
	Safety (funktionale Sicherheit)	,198	,456	,257	,147	,145	,231	,309	,223	1,000	-,044	,483	-,151	,193	,391	,441
	Security	,034	-,079	-,219	,465	,024	-,009	,157	-,082	-,044	1,000	-,263	,088	-,037	-,143	-,185
	Minimaler Ressourcenverbrauch von Hardware und Energie	,254	,524	,295	,167	,130	,239	,350	,521	,483	-,263	1,000	,145	,174	,380	,462
	Ethische Aspekte	,347	,371	,364	,206	,331	,487	,130	,468	-,151	,088	,145	1,000	,172	,346	,374
	Innovation deutlich über den Status-Quo	,026	,446	,495	,347	,458	,509	,456	,142	,193	-,037	,174	,172	1,000	,473	,426
	Schnell ändernden Anforderungen	,200	,640	,602	,353	,605	,766	,604	,214	,391	-,143	,380	,346	,473	1,000	,849
	Schnelle Reaktion auf Kundenwünsche/feedback	,421	,612	,745	,269	,435	,564	,425	,427	,441	-,185	,462	,374	,426	,849	1,000
Sig. (1-seitig)	Standard-einstellung		,216	,100	,208	,191	,261	,462	<,001	,166	,434	,105	,041	,450	,164	,016
	Rückwärtskompatibilität	,216		,004	,010	,026	,000	,000	,022	,010	,350	,003	,031	,011	,000	,000
	Kommunikation	,100	,004		,121	,010	,010	,052	,029	,102	,141	,072	,034	,005	,001	,000
	Wartung und das Update der Software per Remote	,208	,010	,121		,012	,003	,000	,391	,237	,008	,208	,157	,041	,038	,092
	Benutzerinformation	,191	,026	,010	,012		,000	,000	,129	,240	,454	,263	,049	,009	,001	,013
	Transparenz (Erklärbarkeit + Interpretierbarkeit)	,261	,000	,010	,003	,000		,000	,198	,128	,482	,120	,006	,004	,000	,001
	Test von Rückwärtskompatibilität	,462	,000	,052	,000	,000	,000		,084	,062	,222	,040	,264	,010	,001	,015
	Jedes Feature im Produkt wurde auf minimalen Energieverbrauch getestet	,000	,022	,029	,391	,129	,198	,084		,137	,345	,003	,008	,245	,147	,015
	Safety (funktionale Sicherheit)	,166	,010	,102	,237	,240	,128	,062	,137		,416	,006	,231	,173	,024	,012
	Security	,434	,350	,141	,008	,454	,482	,222	,345	,416		,097	,335	,430	,243	,183
	Minimaler Ressourcenverbrauch von Hardware und Energie	,105	,003	,072	,208	,263	,120	,040	,003	,006	,097		,239	,198	,028	,009
	Ethische Aspekte	,041	,031	,034	,157	,049	,006	,264	,008	,231	,335	,239		,200	,042	,030
	Innovation deutlich über den Status-Quo	,450	,011	,005	,041	,009	,004	,010	,245	,173	,430	,198	,200		,007	,015
	Schnell ändernden Anforderungen	,164	,000	,001	,038	,001	,000	,001	,147	,024	,243	,028	,042	,007		,000
	Schnelle Reaktion auf Kundenwünsche/feedback	,016	,000	,000	,092	,013	,001	,015	,015	,012	,183	,009	,030	,015	,000	

Abbildung 99: Korrelationskoeffizienten und Signifikanzniveaus in der Korrelationsmatrix (Einflussvariablen).

Quelle: eigene Darstellung

Inverse Korrelationsmatrix

	Standard-einstellung	Rückwärtskompatibilität	Kommunikation	Wartung und das Update der Software per Remote	Benutzerinformation	Transparenz (Erklärbarkeit + Interpretierbarkeit)	Test von Rückwärtskompatibilität	Jedes Feature im Produkt wurde auf minimalen Energieverbrauch getestet	Safety (funktionale Sicherheit)	Security	Minimaler Ressourcenverbrauch von Hardware und Energie	Ethische Aspekte	Innovation deutlich über den Status-Quo	Schnell ändernden Anforderungen	Schnelle Reaktion auf Kundenwünsche/feedback
Standard-einstellung	2,776	,370	,273	1,790	-,248	-,878	-,535	-1,077	-,075	-1,055	-,090	-,115	,198	1,631	-2,337
Rückwärtskompatibilität	,370	3,885	-,625	,671	1,641	-1,887	-2,207	-,054	-,771	,028	-,487	-,841	-,158	,789	-,657
Kommunikation	,273	-,625	3,168	-,458	-1,251	1,242	,508	-,127	,004	,542	,364	-,400	-,618	,513	-2,378
Wartung und das Update der Software per Remote	1,790	,671	-,458	6,096	,140	-1,657	-4,625	1,327	,084	-2,309	-,888	-1,056	,183	4,376	-3,643
Benutzerinformation	-,248	1,641	-1,251	,140	4,535	-4,091	-,890	-,964	,061	-,144	,258	,705	-,038	-,442	1,071
Transparenz (Erklärbarkeit + Interpretierbarkeit)	-,878	-1,887	1,242	-1,657	-4,091	8,880	-,034	1,777	-,537	1,276	,299	-2,415	-,592	-3,048	1,151
Test von Rückwärtskompatibilität	-,535	-2,207	,508	-4,625	-,890	-,034	7,937	-2,761	,623	,492	,400	2,763	-,265	-5,042	3,646
Jedes Feature im Produkt wurde auf minimalen Energieverbrauch getestet	-1,077	-,054	-,127	1,327	-,964	1,777	-2,761	4,167	-,340	,152	-1,072	-2,147	-,028	2,608	-1,690
Safety (funktionale Sicherheit)	-,075	-,771	,004	,084	,061	-,537	,623	-,340	2,047	-,502	-,550	1,270	,079	-,251	-,402
Security	-1,055	,028	,542	-2,309	-,144	1,276	,492	,152	-,502	2,478	,792	-,539	-,154	-1,003	1,146
Minimaler Ressourcenverbrauch von Hardware und Energie	-,090	-,487	,364	-,888	,258	,299	4,00	-1,072	-,550	,792	2,260	,175	,025	-,789	,250
Ethische Aspekte	-,115	-,841	-,400	-1,056	,705	-2,415	2,763	-2,147	1,270	-,539	,175	3,611	,246	-1,441	,971
Innovation deutlich über den Status-Quo	,198	-,158	-,618	,183	-,038	-,592	-,265	-,028	,079	-,154	,025	,246	1,648	,206	-,143
Schnell ändernden Anforderungen	1,631	,789	,513	4,376	-,442	-3,048	-5,042	2,608	-,251	-1,003	-,789	-1,441	,206	11,637	-8,926
Schnelle Reaktion auf Kundenwünsche/feedback	-2,337	-,657	-2,378	-3,643	1,071	1,151	3,646	-1,690	-,402	1,146	,250	,971	-,143	-8,926	10,743

Abbildung 100: Nicht-Diagonalelemente der inversen Korrelationsmatrix (Einflussvariablen). Quelle: eigene

Darstellung

		Korrelationsmatrix														
		Energieverbrauch	Keine neue Hardware durch den Kunden	Entwicklungskosten	Benutzerfreundlichkeit	Nutzungsintensität mit guten Gewissen	Kundenbindung wurde gesichert	Langfristige Sicherung des Arbeitsplatzes	Konflikte innerhalb und außerhalb des Projektes waren minimal	Fluktuation innerhalb des Teams minimal	Wartung der Software und Updates waren per Remote möglich	Produkt hatte wenig Reklamationen	Produkt funktioniert optimal (innerhalb der Gewährleistungs- und Garantiefristen)	End-Nutzer verwenden das Produkt wie geplant	Digitaler Müll und Schrankware sind kein Ergebnis des Projekts gewesen	
Korrelation	Energieverbrauch	1,000	-.053	.137	.480	.479	-.107	.152	.504	.602	-.133	.613	.593	.513	.478	
	Keine neue Hardware durch den Kunden	-.053	1,000	.086	.391	.253	.538	-.190	.297	.151	.710	.233	.214	-.151	-.053	
	Entwicklungskosten	.137	.086	1,000	.219	-.098	-.280	.044	.398	.249	-.198	.421	.185	.123	.154	
	Benutzerfreundlichkeit	.480	.391	.219	1,000	.826	.328	.343	.512	.514	.323	.671	.706	.186	.413	
	Nutzungsintensität mit guten Gewissen	.479	.253	-.098	.826	1,000	.351	.464	.535	.581	.272	.617	.719	.354	.493	
	Kundenbindung wurde gesichert	-.107	.538	-.280	.328	.351	1,000	.136	.021	-.073	.784	.138	.217	-.031	.049	
	Langfristige Sicherung des Arbeitsplatzes	.152	-.190	.044	.343	.464	.136	1,000	.160	.340	-.155	.213	.195	.096	.224	
	Konflikte innerhalb und außerhalb des Projektes waren minimal	.504	.297	.398	.512	.535	.021	.160	1,000	.785	.111	.812	.743	.603	.568	
	Fluktuation innerhalb des Teams minimal	.602	.151	.249	.514	.581	-.073	.340	.785	1,000	-.059	.806	.780	.597	.556	
	Wartung der Software und Updates waren per Remote möglich	-.133	.710	-.198	.323	.272	.784	-.155	.111	-.059	1,000	.124	.170	.029	-.119	
	Produkt hatte wenig Reklamationen	.613	.233	.421	.671	.617	.138	.213	.812	.806	.124	1,000	.916	.627	.748	
	Produkt funktioniert optimal (innerhalb der Gewährleistungs- und Garantiefristen)	.593	.214	.185	.706	.719	.217	.195	.743	.780	.170	.916	1,000	.615	.812	
	End-Nutzer verwenden das Produkt wie geplant	.513	-.151	.123	.186	.354	-.031	.096	.603	.597	.029	.627	.615	1,000	.516	
	Digitaler Müll und Schrankware sind kein Ergebnis des Projekts gewesen	.478	-.053	.154	.413	.493	.049	.224	.568	.556	-.119	.748	.812	.516	1,000	
	Sig. (1-seitig)	Energieverbrauch		.412	.283	.016	.016	.327	.261	.012	.003	.288	.002	.003	.010	.017
Keine neue Hardware durch den Kunden		.412		.360	.044	.141	.007	.212	.102	.262	.000	.161	.183	.263	.412	
Entwicklungskosten		.283	.360		.176	.340	.116	.427	.041	.145	.201	.032	.218	.303	.259	
Benutzerfreundlichkeit		.016	.044	.176		.000	.079	.069	.010	.010	.083	.001	.000	.216	.035	
Nutzungsintensität mit guten Gewissen		.016	.141	.340	.000		.065	.020	.008	.004	.123	.002	.000	.063	.014	
Kundenbindung wurde gesichert		.327	.007	.116	.079	.065		.284	.466	.379	.000	.281	.179	.449	.419	
Langfristige Sicherung des Arbeitsplatzes		.261	.212	.427	.069	.020	.284		.250	.071	.257	.184	.205	.344	.171	
Konflikte innerhalb und außerhalb des Projektes waren minimal		.012	.102	.041	.010	.008	.466	.250		.000	.320	.000	.000	.002	.004	
Fluktuation innerhalb des Teams minimal		.003	.262	.145	.010	.004	.379	.071	.000		.402	.000	.000	.003	.005	
Wartung der Software und Updates waren per Remote möglich		.288	.000	.201	.083	.123	.000	.257	.320	.402		.301	.236	.452	.308	
Produkt hatte wenig Reklamationen		.002	.161	.032	.001	.002	.281	.184	.000	.000	.301		.000	.002	.000	
Produkt funktioniert optimal (innerhalb der Gewährleistungs- und Garantiefristen)		.003	.183	.218	.000	.000	.179	.205	.000	.000	.236	.000		.002	.000	
End-Nutzer verwenden das Produkt wie geplant		.010	.263	.303	.216	.063	.449	.344	.002	.003	.452	.002	.002		.010	
Digitaler Müll und Schrankware sind kein Ergebnis des Projekts gewesen		.017	.412	.259	.035	.014	.419	.171	.004	.005	.308	.000	.000	.010		

Abbildung 101: Korrelationskoeffizienten und Signifikanzniveaus in der Korrelationsmatrix (Wirkungsvariablen). Quelle: eigene Darstellung

Inverse Korrelationsmatrix

	Energieverbrauch	Keine neue Hardware durch den Kunden	Entwicklungskosten	Benutzerfreundlichkeit	Nutzungsintensität mit guten Gewissen	Kundenbindung wurde gesichert	Langfristige Sicherung des Arbeitsplatzes	Konflikte innerhalb und außerhalb des Projektes waren minimal	Fluktuation innerhalb des Teams minimal	Wartung der Software und Updates waren per Remote möglich	Produkt hatte wenig Reklamationen	Produkt funktioniert optimal (innerhalb der Gewährleistungs- und Garantietermine)	End-Nutzer verwenden das Produkt wie geplant	Digitaler Müll und Schrankware sind kein Ergebnis des Projekts gewesen
Energieverbrauch	2,332	,127	,636	-1,543	,248	-,141	,513	,028	-,612	,863	-1,097	1,216	-,775	-,138
Keine neue Hardware durch den Kunden	,127	4,555	-,918	-,476	-,550	-1,180	1,639	-1,027	-2,748	-2,552	,599	2,075	1,943	-,848
Entwicklungskosten	,636	-,918	3,672	-2,175	2,836	,909	-,882	-1,114	1,799	1,215	-3,935	,975	-,429	,887
Benutzerfreundlichkeit	-1,543	-,476	-2,175	9,323	-5,426	1,362	-1,208	,953	2,487	-1,561	-1,480	-6,170	2,631	2,721
Nutzungsintensität mit guten Gewissen	,248	-,550	2,836	-5,426	7,730	,036	-1,569	-1,488	,376	,679	,352	-,871	-1,134	-,055
Kundenbindung wurde gesichert	-,141	-1,180	,909	1,362	,036	4,808	-2,083	,599	2,616	-2,719	-1,727	-2,675	,413	,648
Langfristige Sicherung des Arbeitsplatzes	,513	1,639	-,882	-1,208	-1,569	-2,083	3,196	,207	-3,126	,483	,805	4,048	,065	-1,609
Konflikte innerhalb und außerhalb des Projektes waren minimal	,028	-1,027	-1,114	,953	-1,488	,599	,207	4,633	-1,590	-,428	-,977	,397	-,847	-,585
Fluktuation innerhalb des Teams minimal	-,612	-2,748	1,799	2,487	,376	2,616	-3,126	-1,590	9,048	1,718	-4,023	-7,079	-,339	4,238
Wartung der Software und Updates waren per Remote möglich	,863	-2,552	1,215	-1,561	,679	-2,719	,483	-,428	1,718	6,349	-1,020	-,562	-1,998	1,895
Produkt hatte wenig Reklamationen	-1,097	,599	-3,935	-1,480	,352	-1,727	,805	-,977	-4,023	-1,020	15,538	-4,952	-1,020	-2,902
Produkt funktioniert optimal (innerhalb der Gewährleistungs- und Garantietermine)	1,216	2,075	,975	-6,170	-,871	-2,675	4,048	,397	-7,079	-,562	-4,952	21,550	-1,594	-7,745
End-Nutzer verwenden das Produkt wie geplant	-,775	1,943	-,429	2,631	-1,134	,413	,065	-,847	-,339	-1,998	-1,020	-1,594	3,786	,512
Digitaler Müll und Schrankware sind kein Ergebnis des Projekts gewesen	-,138	-,848	,887	2,721	-,055	,648	-1,609	-,585	4,238	1,895	-2,902	-7,745	,512	6,513

Abbildung 102: Nicht-Diagonalelemente der inversen Korrelationsmatrix (Wirkungsvariablen). Quelle: eigene Darstellung

3.3.4.5. Eignungsbeurteilung auf Normalverteilung mittels Kolmogorov-Smirnov-Tests

Die Prüfung auf die Normalverteilung mittels Kolmogorov-Smirnov-Tests ist eine Empfehlung und kein Abbruchkriterium (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 198). Der Test hat ergeben, dass die Datenbasis bezüglich Einflussfaktoren nur in der ökologischen Komponente normalverteilt ist. Im Falle der Wirkungsgrößen sind die Daten in der ökologischen und ökonomischen Komponente normalverteilt. Abbildung 103 und Abbildung 104 zeigen die Ergebnisse.

Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe

		Ökonomische Einflussfaktoren	Ökologische Einflussfaktoren	Soziale Einflussfaktoren	
N		36	36	36	
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert	2,6357	2,9167	3,6759	
	Std.-Abweichung	,91575	1,27895	1,16152	
Extremste Differenzen	Absolut	,146	,109	,193	
	Positiv	,146	,097	,127	
	Negativ	-,105	-,109	-,193	
Teststatistik		,146	,109	,193	
Asymp. Sig. (2-seitig) ^c		,049	,200 ^e	,002	
Monte-Carlo-Signifikanz (2-seitig) ^d	Sig.	,049	,336	,002	
	99% Konfidenzintervall	Untergrenze	,044	,324	,001
		Obergrenze	,055	,348	,003

- a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
 b. Aus den Daten berechnet.
 c. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors.
 d. Lilliefors-Methode auf der Basis von 10000 Monte-Carlo-Stichproben mit Startwert 2000000.
 e. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

Abbildung 103: K-S-Test, Anpassungstest von EF. Quelle: eigene Darstellung

Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe

		Ökonomische Wirkungsgrößen	Soziale Wirkungsgrößen	Ökologische Wirkungsgrößen	
N		36	35	36	
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert	2,3838	2,1571	2,9398	
	Std.-Abweichung	,78426	1,05560	1,27314	
Extremste Differenzen	Absolut	,133	,216	,135	
	Positiv	,133	,216	,092	
	Negativ	-,074	-,136	-,135	
Teststatistik		,133	,216	,135	
Asymp. Sig. (2-seitig) ^c		,108	<,001	,097	
Monte-Carlo-Signifikanz (2-seitig) ^d	Sig.	,105	<,001	,095	
	99% Konfidenzintervall	Untergrenze	,097	,000	,088
		Obergrenze	,113	,000	,103

- a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
 b. Aus den Daten berechnet.
 c. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors.
 d. Lilliefors-Methode auf der Basis von 10000 Monte-Carlo-Stichproben mit Startwert 1314643744.

Abbildung 104: K-S-Test, Anpassungstest von WF. Quelle: eigene Darstellung

3.3.4.6. Eignungsbeurteilung mittels Bartlett-Tests

Die Faktorenanalyse kann fortgesetzt werden, wenn beim Bartlett-Test ein signifikantes Ergebnis vorliegt. Der Bartlett-Test prüft, ob es sein könnte, dass die Korrelationskoeffizienten in der Grundgesamtheit den Wert Null besitzen (vgl. Backhaus et al., 2018, S.

376). Abbildung 105 für EF sowie Abbildung 106 für WF zeigen, dass beim Bartlett-Test der vorliegenden Datenbasis ein signifikantes Ergebnis vorliegt.

KMO- und Bartlett-Test

Maß der Stichprobeneignung nach Kaiser-Meyer-Olkin.		,690
Bartlett-Test auf Sphärizität	Ungefähres Chi-Quadrat	231,887
	df	105
	Signifikanz nach Bartlett	<,001

Abbildung 105: KMO- und Bartlett-Test von EF. Quelle: eigene Darstellung

KMO- und Bartlett-Test		
Maß der Stichprobeneignung nach Kaiser-Meyer-Olkin.		,711
Bartlett-Test auf Sphärizität	Ungefähres Chi-Quadrat	199,382
	df	91
	Signifikanz nach Bartlett	<,001

Abbildung 106: KMO- und Bartlett-Test von WF. Quelle: eigene Darstellung

3.3.4.7. Eignungsbeurteilung mittels Anti-Image-Kovarianzmatrix und KMO-Kriterium

Das Kaiser-Meyer-Olkin Maß stellt ein zusammenfassendes Testmaß dar und kann max. den Wert 1 annehmen. Das KMO-Maß bzw. Kaiser-Meyer-Olkin-Maß wird als das beste Maß zur Beurteilung der Korrelationsmatrix angesehen (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 378–379). Die Werte der vorliegenden Datenbasis sind ausreichend $\geq 0,6$ bei EF und befriedigend $\geq 0,7$ bei WF. In Abbildung 105 und Abbildung 106 sind die KMO-Maß-Werte zu sehen. Die Anti-Image-Matrix als weiteres Eignungskriterium enthält nicht die partiellen Korrelationskoeffizienten, sondern ihre negativen Werte (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 377–378). Geeignet ist die Datenbasis, wenn die meisten Werte, die außerhalb der Diagonale liegen, möglichst klein sind. Abbildung 107 für EF und Abbildung 108 für WF stellen die Anti-Image-Matrix dar, um zu zeigen, dass eine geeignete Datenbasis vorliegt.

Ein weiteres Kriterium ist MSA. MSA steht für Measure Of Sampling Adequacy und ist ein Maß für Stichprobeneignung. Es stellt kein Gesamtmaß wie das KMO-Kriterium dar, sondern einen Wert pro Skalenitem. Bei der Beurteilung gelten die gleichen Stufen wie beim KMO-Kriterium (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 378–379). Abbildung 107 und Abbildung 108 zeigen die Diagonalelemente der Anti-Image-Korrelation und ihre Wertebereiche von EF und WF. Dabei liegen die Werte zwischen ausreichend $\geq 0,6$ und gut $\geq 0,8$.

Anti-Image-Matrizen

	Standardeinstellung	Rückwärtskompatibilität	Kommunikation	Wartung und das Update der Software per Remote	Benutzerinformation	Transparenz (Erklärbarkeit + Interpretierbarkeit)	Test von Rückwärtskompatibilität	Jedes Feature im Produkt wurde auf minimalen Energieverbrauch getestet	Safety (funktionale Sicherheit)	Security	Minimaler Ressourcenverbrauch von Hardware und Energie	Ethische Aspekte	Innovation deutlich über den Status-Quo	Schnell ändernden Anforderungen	Schnelle Reaktion auf Kundenwünsche/feedback
Anti-Image-Kovarianz	.360	.034	.031	.106	-.020	-.036	-.024	-.093	-.013	-.153	-.014	-.011	.043	.050	-.078
Rückwärtskompatibilität	.034	.257	-.051	.028	.093	-.055	-.072	-.003	-.097	.003	-.055	-.080	-.025	.017	-.016
Kommunikation	.031	-.051	.316	-.024	-.087	.044	.020	-.010	.001	.069	.051	-.035	-.118	.014	-.070
Wartung und das Update der Software per Remote	.106	.028	-.024	.164	.005	-.031	-.096	.052	.007	-.153	-.064	-.048	.018	.062	-.056
Benutzerinformation	-.020	.093	-.087	.005	.220	-.102	-.025	-.051	.007	-.013	.025	.043	-.005	-.008	.022
Transparenz (Erklärbarkeit + Interpretierbarkeit)	-.036	-.055	.044	-.031	-.102	.113	.000	.048	-.030	.058	.015	-.075	-.040	-.029	.012
Test von Rückwärtskompatibilität	-.024	-.072	.020	-.096	-.025	.000	.126	-.083	.038	.025	.022	.096	-.020	-.055	.043
Jedes Feature im Produkt wurde auf minimalen Energieverbrauch getestet	-.093	-.003	-.010	.052	-.051	.048	-.083	.240	-.040	.015	-.114	-.143	-.004	.054	-.038
Safety (funktionale Sicherheit)	-.013	-.097	.001	.007	.007	-.030	.038	-.040	.488	-.099	-.119	.172	.023	-.011	-.016
Security	-.153	.003	.069	-.153	-.013	.058	.025	.015	-.099	.403	.141	-.060	-.038	-.035	.043
Minimaler Ressourcenverbrauch von Hardware und Energie	-.014	-.055	.051	-.064	.025	.015	.022	-.114	-.119	.141	.442	.021	.007	-.030	.010
Ethische Aspekte	-.011	-.060	-.035	-.048	.043	-.075	.096	-.143	.172	-.060	.021	.377	.041	-.034	.025
Innovation deutlich über den Status-Quo	.043	-.025	-.118	.018	-.005	-.040	-.020	-.004	.023	-.038	.007	.041	.607	.011	-.008
Schnell ändernden Anforderungen	.050	.017	.014	.062	-.008	-.029	-.055	.054	-.011	-.035	-.030	-.034	.011	.086	-.071
Schnelle Reaktion auf Kundenwünsche/feedback	-.078	-.016	-.070	-.056	.022	.012	.043	-.038	-.018	-.043	.010	.025	-.008	-.071	.093
Anti-Image-Korrelation	.557*	.113	.092	.435	-.070	-.177	-.114	-.317	-.031	-.402	-.036	-.036	.093	.287	-.428
Rückwärtskompatibilität	.113	.831*	-.178	.138	.391	-.321	-.397	-.013	-.273	.009	-.164	-.225	-.062	.117	-.102
Kommunikation	.092	-.178	.824*	-.104	-.330	.234	.101	-.035	.002	.193	.136	-.118	-.270	.084	-.408
Wartung und das Update der Software per Remote	.435	.138	-.104	.532*	.027	-.225	-.665	.263	.024	-.594	-.239	-.225	.058	.520	-.450
Benutzerinformation	-.070	.391	-.330	.027	.758*	-.645	-.148	-.222	.020	-.043	.081	.174	-.014	-.061	.153
Transparenz (Erklärbarkeit + Interpretierbarkeit)	-.177	-.321	.234	-.225	-.645	.756*	-.004	.292	-.126	.272	.067	-.426	-.155	-.300	.118
Test von Rückwärtskompatibilität	-.114	-.397	.101	-.665	-.148	-.004	.649*	-.480	.155	.111	.095	.516	-.073	-.525	.395
Jedes Feature im Produkt wurde auf minimalen Energieverbrauch getestet	-.317	-.013	-.035	.263	-.222	.292	-.480	.582*	-.116	.047	-.349	-.553	-.011	.375	-.253
Safety (funktionale Sicherheit)	-.031	-.273	.002	.024	.020	-.126	.155	-.116	.716*	-.223	-.256	.467	.043	-.052	-.086
Security	-.402	.009	.193	-.594	-.043	.272	.111	.047	-.223	.321*	.335	-.180	-.076	-.187	.222
Minimaler Ressourcenverbrauch von Hardware und Energie	-.036	-.164	.136	-.239	.081	.067	.095	-.349	-.256	.335	.783*	.081	.013	-.154	.051
Ethische Aspekte	-.036	-.225	-.118	-.225	.174	-.426	.516	-.553	.467	-.180	.081	.522*	.101	-.222	.156
Innovation deutlich über den Status-Quo	.093	-.062	-.270	.058	-.014	-.155	-.073	-.011	.043	-.076	.013	.101	.927*	.047	-.034
Schnell ändernden Anforderungen	.287	.117	.084	.520	-.061	-.300	-.525	.375	-.052	-.187	-.154	-.222	.047	.693*	-.798
Schnelle Reaktion auf Kundenwünsche/feedback	-.428	-.102	-.408	-.450	.153	.118	.395	-.253	-.086	.222	.051	.156	-.034	-.798	.696*

a. Maß der Stichprobeneignung

Abbildung 107: Anti-Image-Kovarianz von EF. Quelle: eigene Darstellung

		Anti-Image-Matrizen													
		Energieverbrauch	Keine neue Hardware durch den Kunden	Entwicklungskosten	Benutzerfreundlichkeit	Nutzungsintensität mit gutem Gewissen	Kundenbindung wurde gesichert	Langfristige Sicherung des Arbeitsplatzes	Konflikte innerhalb und außerhalb des Projektes waren minimal	Fluktuation innerhalb des Teams minimal	Wartung der Software und Updates waren per Remote möglich	Produkt hatte wenig Reklamationen	Produkt funktioniert optimal (innerhalb der Gewährleistungs- und Garantiefristen)	End-Nutzer verwenden das Produkt wie geplant	Digitaler Müll und Schrankware sind kein Ergebnis des Projekts gewesen
Anti-Image-Kovarianz	Energieverbrauch	,429	,012	,074	-,071	,014	-,013	,069	,003	-,029	,058	-,030	,024	-,088	-,009
	Keine neue Hardware durch den Kunden	,012	,220	-,065	-,011	-,016	-,054	,113	-,049	-,067	-,088	,008	,021	,113	-,029
	Entwicklungskosten	,074	-,065	,272	-,064	,100	,052	-,075	-,065	,054	,052	-,069	,012	-,031	,037
	Benutzerfreundlichkeit	-,071	-,011	-,064	,107	-,075	,030	-,041	,022	,029	-,026	-,010	-,031	,075	,045
	Nutzungsintensität mit gutem Gewissen	,014	-,016	,100	-,075	,129	,001	-,063	-,042	,005	,014	,003	-,005	-,039	-,001
	Kundenbindung wurde gesichert	-,013	-,054	,052	,030	,001	,208	-,136	,027	,060	-,089	-,023	-,026	,023	,021
	Langfristige Sicherung des Arbeitsplatzes	,069	,113	-,075	-,041	-,063	-,136	,313	,014	-,108	,024	,016	,059	,005	-,077
	Konflikte innerhalb und außerhalb des Projektes waren minimal	,003	-,049	-,065	,022	-,042	,027	,014	,216	-,038	-,015	-,014	,004	-,048	-,019
	Fluktuation innerhalb des Teams minimal	-,029	-,067	,054	,029	,005	,060	-,108	-,038	,111	,030	-,029	-,036	-,010	,072
	Wartung der Software und Updates waren per Remote möglich	,058	-,088	,052	-,026	,014	-,089	,024	-,015	,030	,158	-,010	-,004	-,083	,046
	Produkt hatte wenig Reklamationen	-,030	,008	-,069	-,010	,003	-,023	,016	-,014	-,029	-,010	,064	-,015	-,017	-,029
	Produkt funktioniert optimal (innerhalb der Gewährleistungs- und Garantiefristen)	,024	,021	,012	-,031	-,005	-,026	,059	,004	-,036	-,004	-,015	,046	-,020	-,055
	End-Nutzer verwenden das Produkt wie geplant	-,088	,113	-,031	,075	-,039	,023	,005	-,048	-,010	-,083	-,017	-,020	,264	,021
	Digitaler Müll und Schrankware sind kein Ergebnis des Projekts gewesen	-,009	-,029	,037	,045	-,001	,021	-,077	-,019	,072	,046	-,029	-,055	,021	,154
	Anti-Image-Korrelation	Energieverbrauch	,856*	,039	,217	-,331	,059	-,042	,188	,009	-,133	,224	-,182	,171	-,261
Keine neue Hardware durch den Kunden		,039	,549*	-,224	-,073	-,093	-,252	,430	-,224	-,428	-,475	,071	,209	,488	-,156
Entwicklungskosten		,217	-,224	,361*	-,372	,532	,216	-,257	-,270	,312	,252	-,521	,110	-,115	,181
Benutzerfreundlichkeit		-,331	-,073	-,372	,689*	-,639	,203	-,221	,145	-,271	-,203	-,123	-,435	,443	,349
Nutzungsintensität mit gutem Gewissen		,059	-,093	,532	-,639	,780*	,006	-,316	-,249	,045	,097	,032	-,068	-,210	-,008
Kundenbindung wurde gesichert		-,042	-,252	,216	,203	,006	,573*	-,531	,127	,397	-,492	-,200	-,263	,097	,116
Langfristige Sicherung des Arbeitsplatzes		,188	,430	-,257	-,221	-,316	-,531	,333*	,054	-,581	,107	,114	,488	,019	-,353
Konflikte innerhalb und außerhalb des Projektes waren minimal		,009	-,224	-,270	,145	-,249	,127	,054	,909*	-,246	-,079	-,115	,040	-,202	-,107
Fluktuation innerhalb des Teams minimal		-,133	-,428	,312	,271	,045	,397	-,581	-,246	,691*	,227	-,339	-,507	-,058	,552
Wartung der Software und Updates waren per Remote möglich		,224	-,475	,252	-,203	,097	-,492	,107	-,079	,227	,601*	-,103	-,048	-,408	,295
Produkt hatte wenig Reklamationen		-,182	,071	-,521	-,123	,032	-,200	,114	-,115	-,339	-,103	,870*	-,271	-,133	-,288
Produkt funktioniert optimal (innerhalb der Gewährleistungs- und Garantiefristen)		,171	,209	,110	-,435	-,068	-,263	,488	,040	-,507	-,048	-,271	,769*	-,177	-,654
End-Nutzer verwenden das Produkt wie geplant		-,261	,488	-,115	,443	-,210	,097	,019	-,202	-,058	-,408	-,133	-,177	,731*	,103
Digitaler Müll und Schrankware sind kein Ergebnis des Projekts gewesen		-,009	-,029	,037	,045	-,001	,021	-,077	-,019	,072	,046	-,029	-,055	,021	,154

a. Maß der Stichprobeneignung

Abbildung 108: Anti-Image-Kovarianz von WF. Quelle: eigene Darstellung

3.3.4.8. Faktorextraktion und Modellbeurteilung

Die Modellbeurteilung sowie Faktorextraktion basieren zum einen auf der erklärten Varianz und dem Eigenwert-Kriterium (Eigenwert>1), zum anderen auf dem Screeplot und dem Ellbow-Kriterium. Nichtsdestotrotz ist dem Untersucher bezüglich Faktorenzahl ein subjektiver Eingriff erlaubt, ohne dabei nur die statistischen Kriterien heranzuziehen (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 396–398). Die vorliegende aufbereitete Datenbasis ist auf drei Faktoren extrahiert, da ein subjektiver Eingriff notwendig ist. Der Grund für die Auswahl von drei Faktoren liegt darin, dass die drei Nachhaltigkeitskategorien im Fokus der Untersuchung stehen. Abbildung 109 und Abbildung 110 zeigen, dass die Entscheidung für drei Faktoren von EF durch statistische Kriterien angemessen ist, was auch für WF gilt, wie Abbildung 111 und Abbildung 112 deutlich hervorheben.

Komponente	Erklärte Gesamtvarianz								
	Anfängliche Eigenwerte			Summen von quadrierten Faktorladungen für Extraktion			Rotierte Summe der quadrierten Ladungen		
	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %
1	6,120	40,798	40,798	6,120	40,798	40,798	4,851	32,342	32,342
2	2,141	14,273	55,071	2,141	14,273	55,071	2,539	16,927	49,269
3	1,499	9,991	65,062	1,499	9,991	65,062	2,369	15,792	65,062
4	1,311	8,741	73,802						
5	,812	5,414	79,216						
6	,692	4,610	83,826						
7	,646	4,308	88,134						
8	,470	3,136	91,271						
9	,358	2,388	93,659						
10	,345	2,299	95,958						
11	,218	1,453	97,411						
12	,178	1,185	98,595						
13	,104	,690	99,286						
14	,071	,475	99,761						
15	,036	,239	100,000						

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

Abbildung 109: Erklärte Gesamtvarianz von EF. Quelle: eigene Darstellung

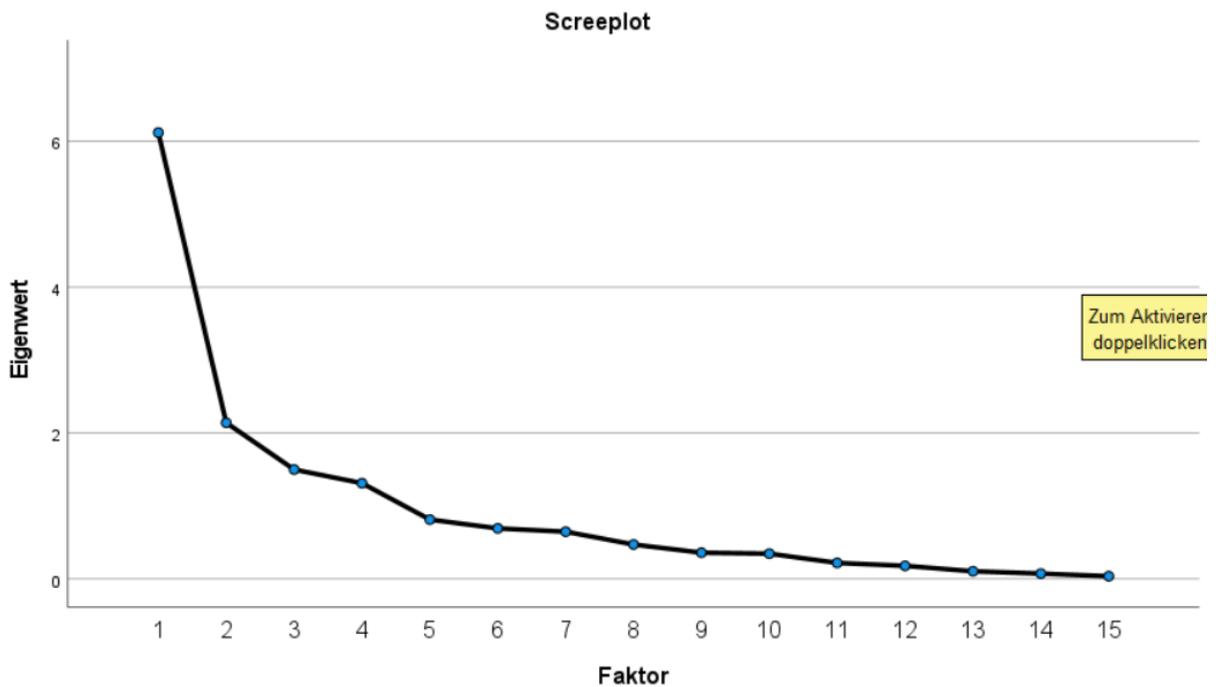


Abbildung 110: Screepplot von EF. Quelle: eigene Darstellung

Erklärte Gesamtvarianz									
Komponente	Anfängliche Eigenwerte			Summen von quadrierten Faktorladungen für Extraktion			Rotierte Summe der quadrierten Ladungen		
	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %
1	6,191	44,224	44,224	6,191	44,224	44,224	5,980	42,718	42,718
2	2,681	19,151	63,375	2,681	19,151	63,375	2,801	20,007	62,725
3	1,387	9,906	73,281	1,387	9,906	73,281	1,476	10,701	73,281
4	1,082	7,727	81,007						
5	,687	4,909	85,916						
6	,598	4,272	90,189						
7	,471	3,366	93,554						
8	,328	2,344	95,898						
9	,194	1,385	97,283						
10	,136	,973	98,257						
11	,105	,753	99,009						
12	,061	,437	99,446						
13	,047	,338	99,784						
14	,030	,216	100,000						

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

Abbildung 111: Erklärte Gesamtvarianz von WF. Quelle: eigene Darstellung

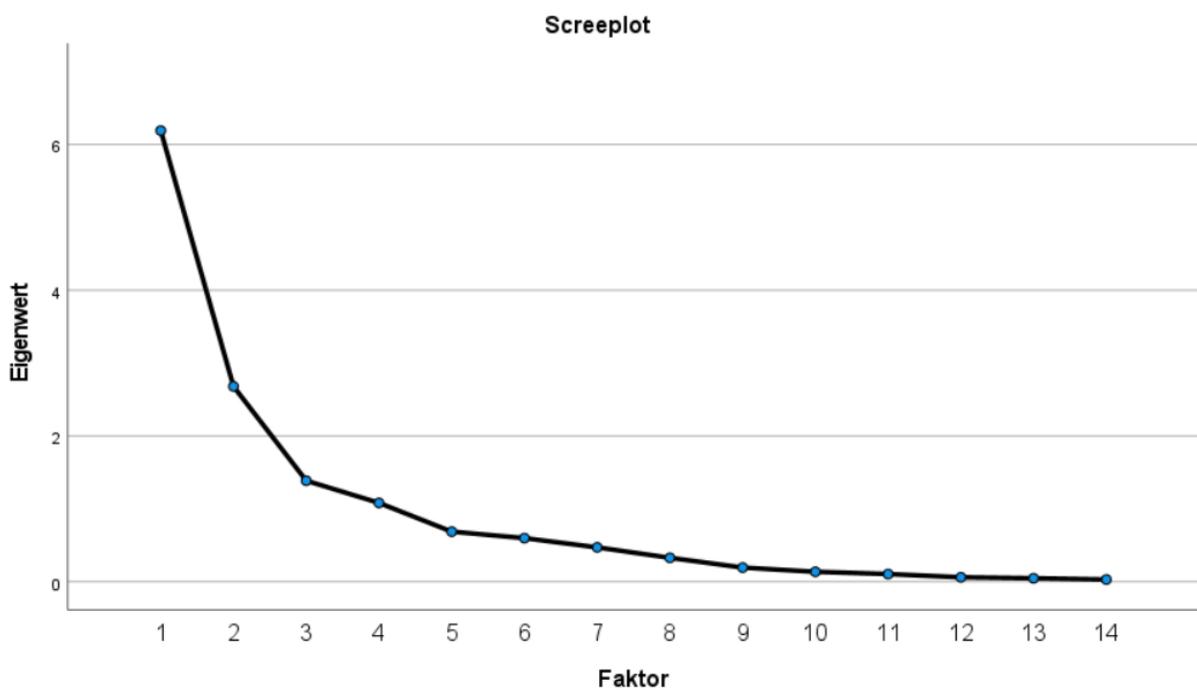


Abbildung 112: Screplot von WF. Quelle: eigene Darstellung

3.3.5. Überprüfung der Hypothesen und des Modells (Regressionsanalyse)

Die Interpretation, Dokumentation und Offenlegung aller Schritte der Faktorenanalyse erlauben, die vorliegende Datenbasis weiter zu analysieren und zu untersuchen. Die angedeutete Faktorenzahl und die Prüfung auf Eignungsbeurteilung der Datenbasis ermöglichen das Aufspüren der Zusammenhänge zwischen unabhängigen und abhängigen Variablen.

Um Einflüsse und Wirkungen untersuchen zu können, werden Regressionsmodelle bzw. Regressionsgleichungen herangezogen, um Prognosen zu stellen. Das vorliegende Modell hat mehrere Hypothesen, die ein Hypothesensystem darstellen. Des Weiteren liegt den unabhängigen Variablen und abhängigen Variablen ein metrisches Skalenniveau zugrunde, was einer multiplen linearen Regression von mehreren unabhängigen Variablen und einer abhängigen Variable bedarf (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 72). Dabei werden alle unabhängigen Variablen (EF) gleichzeitig in das Regressionsmodell eingebracht, was als Einschlussmethode in SPSS eingestellt werden kann (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 103). Die Einstellung ist in Abbildung 113 zu sehen.

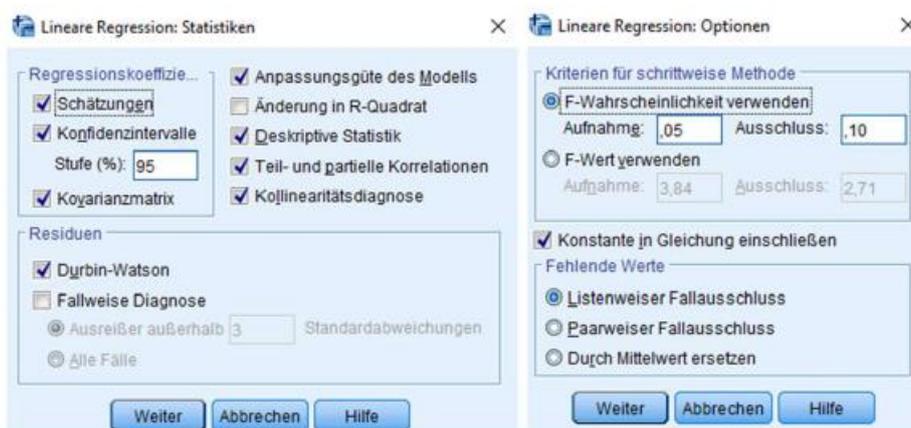


Abbildung 113: Statistiken und Optionen der linearen Regression in SPSS. Quelle: eigene Darstellung

Vor der Durchführung der linearen Regression werden die Anwendungsvoraussetzungen und etwaigen Prämissenverletzungen geprüft, da bei Verletzungen das Modell möglicherweise verworfen werden kann. Dabei ist es besonders wichtig, die Störgrößen/Residuen zu beachten, da sie sich auf die Abweichung zwischen den beobachteten Werten und theoretischen erwarteten Werten beziehen (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 103). Abbildung 114 zeigt zu prüfende Anwendungsvoraussetzungen und etwaige Prämissenverletzungen.

Prämissenverletzungen des linearen Regressionsmodells

Prämisse	Prämissenverletzung	Konsequenzen
Linearität in den Parametern	Nichtlinearität	Verzerrung der Schätzwerte
Vollständigkeit des Modells (Berücksichtigung aller relevanten Variablen)	Unvollständigkeit	Verzerrung der Schätzwerte
Homoskedastizität der Störgrößen	Heteroskedastizität	Ineffizienz
Unabhängigkeit der Störgrößen	Autokorrelation	Ineffizienz
Keine lineare Abhängigkeit zwischen den unabhängigen Variablen	Multikollinearität	Ineffizienz
Normalverteilung der Störgrößen	nicht normalverteilt	Ungültigkeit der Signifikanztests (F-Test und t-Test)

Abbildung 114: Prämissenverletzungen des linearen Regressionsmodells. Quelle: (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 103)

Die multiple lineare Regression und die Prüfung ihrer Anwendungsvoraussetzungen und etwaigen Prämissenverletzungen setzen auf die Ergebnisse der Faktorenanalyse. In Abbildung 115 sind sowohl die kategorisierten unabhängigen Einflussvariablen (EF) in den drei Kategorien EFOKON, EFÖKOL und EFSOZI als auch die abhängigen Wirkungsgrößen (WF) in den drei Kategorien WFÖKON, WFÖKOL und WFSOZI zu sehen. Der Erfolg stellt die neu erstellte abhängige Variable dar, was für den Mittelwert aller Wirkungsgrößen steht.

Erfolg	Numerisch	8	2	Gesamterfolg (ökonomisch, ökologisch, sozial)	Ohne	,00, 99,00	10	Rechts	Metrisch	Eingabe
EFÖKONO	Numerisch	8	2	Ökonomische Einflussfaktoren	Ohne	Ohne	10	Rechts	Metrisch	Eingabe
EFÖKOLO	Numerisch	8	2	Ökologische Einflussfaktoren	Ohne	Ohne	10	Rechts	Metrisch	Eingabe
EFSOZ	Numerisch	8	2	Soziale Einflussfaktoren	Ohne	Ohne	10	Rechts	Metrisch	Eingabe
WFÖKONO	Numerisch	8	2	Ökonomische Wirkungsgrößen	Ohne	Ohne	10	Rechts	Metrisch	Eingabe
WFSOZ	Numerisch	8	2	Soziale Wirkungsgrößen	Ohne	Ohne	10	Rechts	Metrisch	Eingabe
WFÖKOL	Numerisch	8	2	Ökologische Wirkungsgrößen	Ohne	Ohne	10	Rechts	Metrisch	Eingabe

Abbildung 115: Berechnete neue Variablen als Ergebnis der Faktorenanalyse. Quelle: eigene Darstellung

3.3.5.1. Linearität in den Parametern

Um die Linearität in den Variablen prüfen zu können, wird ein Streudiagramm wie in Abbildung 116, Abbildung 117 und Abbildung 118 erstellt. Die visuelle Inspektion der Kurvenverläufe deutet auf eine Häufung von Punktwerten hin, um nichtlineare Beziehungsverläufe erkennen zu können (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 90–92). Die Inspektion der folgenden drei Abbildungen ergibt, dass nur im Falle der ökonomischen Einflussgrößen ein linearer Beziehungsverlauf erkennbar ist.

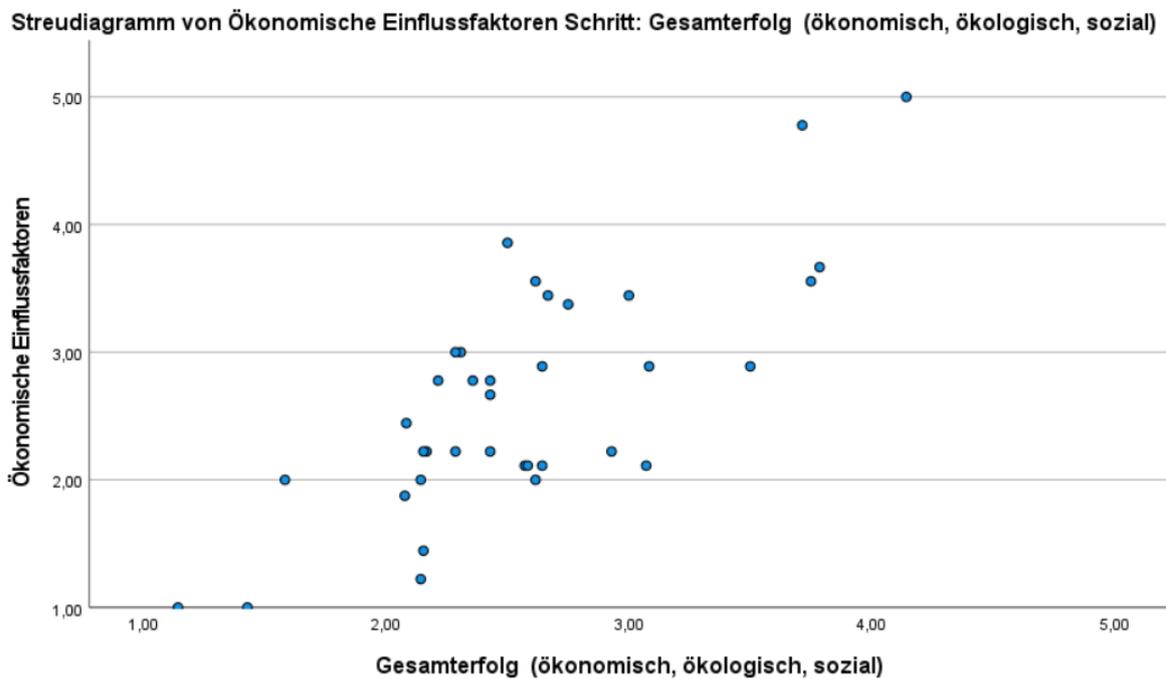


Abbildung 116: Streudiagramm von ökonomischen Einflussgrößen und dem nachhaltigen Erfolg. Quelle: eigene Darstellung

Streudiagramm von Ökologische Einflussfaktoren Schritt: Gesamterfolg (ökonomisch, ökologisch, sozial)

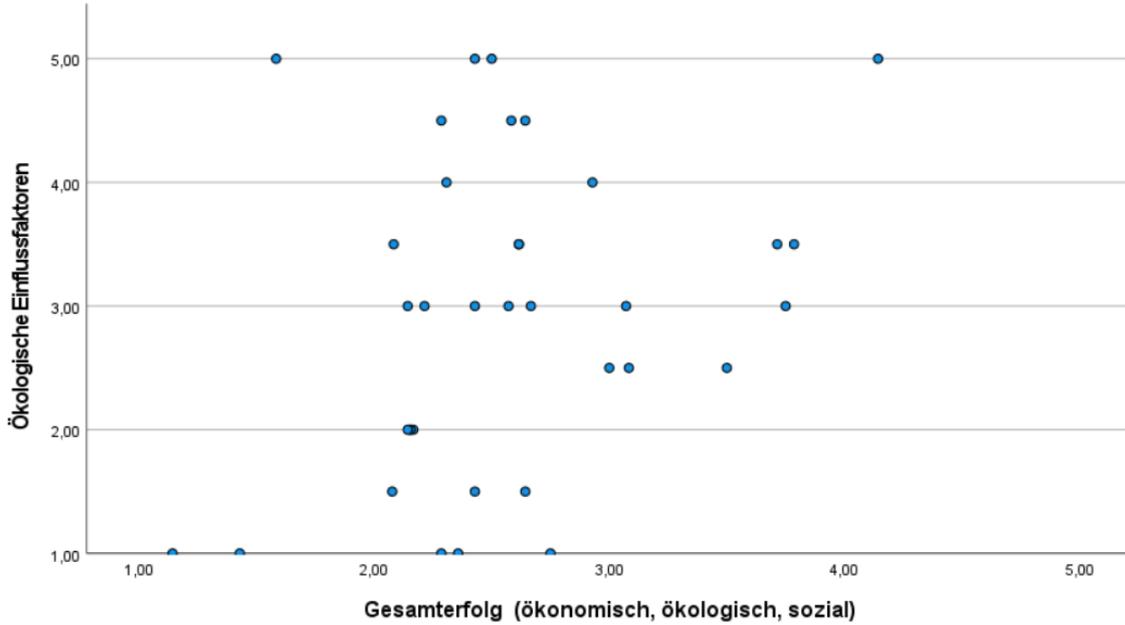


Abbildung 117: Streudiagramm von ökologischen Einflussgrößen und dem nachhaltigen Erfolg. Quelle: eigene Darstellung

Streudiagramm von Soziale Einflussfaktoren Schritt: Gesamterfolg (ökonomisch, ökologisch, sozial)

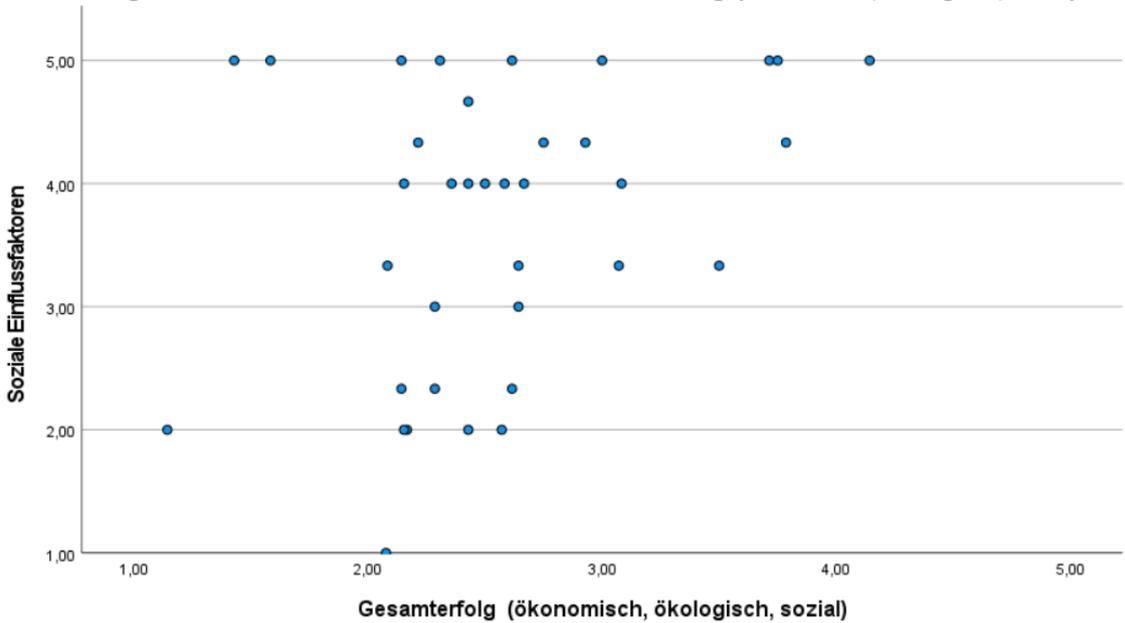


Abbildung 118: Streudiagramm von sozialen Einflussgrößen und dem nachhaltigen Erfolg. Quelle: eigene Darstellung

3.3.5.2. Vollständigkeit des Modells

Die Prüfung des Modells auf Vollständigkeit setzt auf sachlogische Interpretationen sowie systematische und dokumentierte Vorgehensweisen, um zum einen nicht viele unabhängige Variablen „overfitting“ in der Regressionsgleichungen zu berücksichtigen und zum anderen nicht weniger als nötig „underfitting“ zu berücksichtigen. Bei Letzterem leidet der Erklärungsgehalt des Modells. Im Falle von overfitting ist die Gefahr groß, dass ein signifikanter Einfluss ausgewiesen wird, obwohl keiner besteht, oder dass ein tatsächlicher signifikanter Einfluss von anderen Variablen überdeckt und somit nicht erkannt wird (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 93–94). Die Prüfung des Modells auf Vollständigkeit ergab, dass die Variablen systematisch sowie sorgfältig ausgewählt und die zu messenden Prädiktoren in das Modell vollständig integriert worden sind, um die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit erreichen zu können.

3.3.5.3. Homoskedastizität der Störgrößen

Ist die Streuung der Residuen bei einer Reihe von Werten der prognostizierten abhängigen Variable nicht konstant, liegt eine Homoskedastizität vor. Im Falle einer Homoskedastizität ergibt sich zumeist ein Dreiecksmuster oder ein anderes deutlich erkennbares Muster (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 94–96), was bei der vorliegenden Datenbasis nicht zu erkennen ist (siehe Abbildung 119).

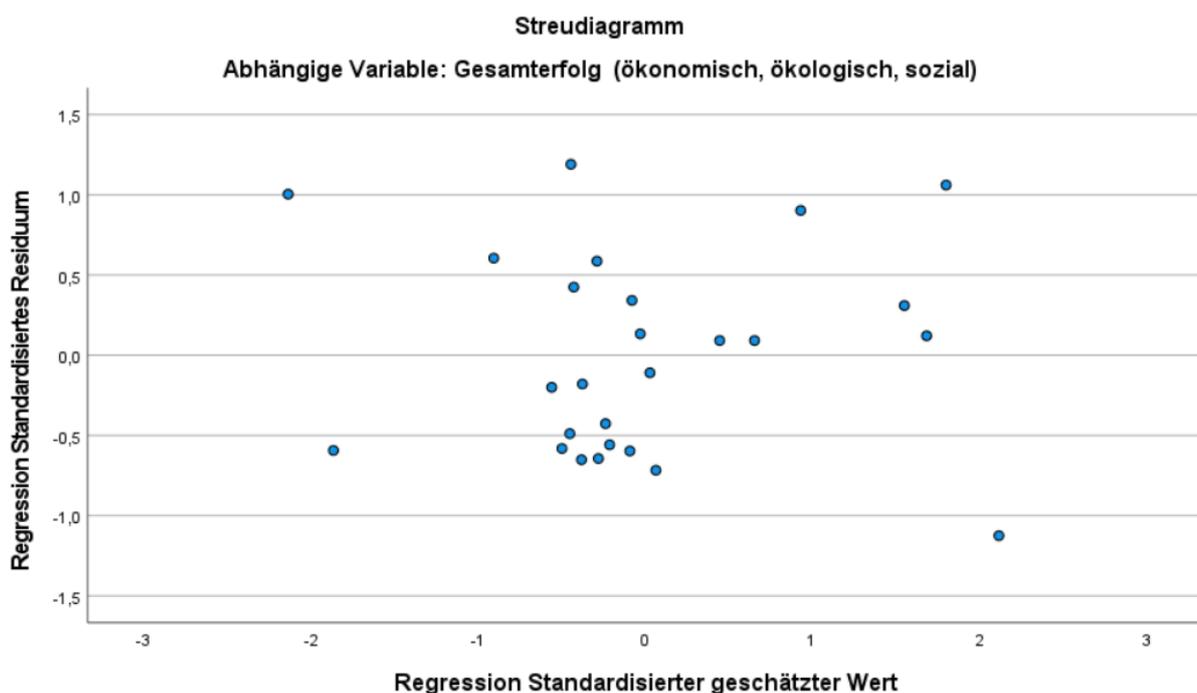


Abbildung 119: Die Prüfung der Homoskedastizität als Streudiagramm. Quelle: eigene Darstellung

3.3.5.4. Unabhängigkeit der Störgrößen (Autokorrelation)

Für die Prüfung der Unabhängigkeit der Störgrößen stehen zwei Methoden zur Verfügung. Die Inspektion eines Musters im geplotteten Diagramm der Residuen (X-Achse) gegen die prognostizierten (geschätzten) Werte (Y-Achse) gilt als eine Methode, bei der eine Autokorrelation vorliegt, wenn ein Muster erkennbar ist. Andererseits steht der Durbin-Watson-Test als weitere, aber rechnerische Methode zur Verfügung, bei der Werte zwischen 0 und 4 liegen können, so dass bei einem Wert nahe von 2 überprüft werden kann, dass keine Autokorrelation vorliegt (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 96–98). Die Inspektion wie im vorherigen Abschnitt ergab, dass keine Autokorrelation vorliegt. Der Durbin-Watson-Test ergab einen Wert von 2,493, was besagt, dass keine Autokorrelation vorliegt. Aus der Durbin-Watson-Tabelle wurde eine Unschärfe zwischen 1,38 und 1,67 abgelesen, da zum einen drei Regressoren in der Regression eingebunden sind und zum anderen ca. 45 Items vorliegen (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 616–617). Abbildung 120 zeigt die Ergebnisse des Durbin-Watson-Tests.

Modellzusammenfassung ^b					
Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers	Durbin-Watson-Statistik
1	,766 ^a	,587	,549	,43304	2,493

a. Einflußvariablen : (Konstante), Soziale Einflussfaktoren, Ökologische Einflussfaktoren, Ökonomische Einflussfaktoren
b. Abhängige Variable: Gesamterfolg (ökonomisch, ökologisch, sozial)

Abbildung 120: Durbin-Watson-Test der Datenbasis. Quelle: eigene Darstellung

3.3.5.5. Keine lineare Abhängigkeit zwischen den unabhängigen Variablen (Multikollinearität)

Multikollinearität liegt vor, wenn die unabhängigen Variablen stark voneinander abhängig sind. Eine erste Einschätzung ist auf Basis der Korrelationsmatrix möglich. Hohe Korrelationskoeffizienten (nahe +/-1) bedeuten ernsthafte Multikollinearität (Signifikanz dafür nicht relevant) (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 98–99). Im Falle der vorliegenden Datenbasis liegt keine Multikollinearität vor, wie in Abbildung 121 und Abbildung 122 zu sehen ist.

Nichtparametrische Korrelationen

			Korrelationen		
			Ökonomische Einflussfaktoren	Ökologische Einflussfaktoren	Soziale Einflussfaktoren
Spearman-Rho	Ökonomische Einflussfaktoren	Korrelationskoeffizient	1,000	,308	,387*
		Sig. (2-seitig)	.	,068	,020
		N	36	36	36
	Ökologische Einflussfaktoren	Korrelationskoeffizient	,308	1,000	,355*
		Sig. (2-seitig)	,068	.	,034
		N	36	36	36
	Soziale Einflussfaktoren	Korrelationskoeffizient	,387*	,355*	1,000
		Sig. (2-seitig)	,020	,034	.
		N	36	36	36

*. Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

Abbildung 121: Korrelationen zwischen unabhängigen Variablen EF. Quelle: eigene Darstellung

Korrelationen

		Ökonomische Wirkungsgrö- ßen	Soziale Wirkungsgrö- ßen	Ökologische Wirkungsgrö- ßen
Ökonomische Wirkungsgrößen	Pearson-Korrelation	1	,413*	,180
	Sig. (2-seitig)		,014	,294
	N	36	35	36
Soziale Wirkungsgrößen	Pearson-Korrelation	,413*	1	,058
	Sig. (2-seitig)	,014		,742
	N	35	35	35
Ökologische Wirkungsgrößen	Pearson-Korrelation	,180	,058	1
	Sig. (2-seitig)	,294	,742	
	N	36	35	36

*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Abbildung 122: Korrelationen zwischen abhängigen Variablen WF. Quelle: eigene Darstellung

Eine bessere Einschätzung für Multikollinearität ist jedoch auf Basis der Toleranzwerte gegeben; Werte < 0,05 weisen auf Multikollinearität hin (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 100–101). Wie in Abbildung 123 zu sehen, hat auch diese Einschätzung ergeben, dass keine Multikollinearität in der vorliegenden Datenbasis vorliegt.

		Koeffizienten ^a											
Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.	95,0% Konfidenzintervalle für B		Korrelationen			Kollinearitätsstatistik	
		Regressionskoeffizient B	Std.-Fehler	Beta			Untergrenze	Obergrenze	Nullter Ordnung	Partiell	Teil	Toleranz	VIF
1	(Konstante)	1,080	,281		3,848	<,001	,508	1,652					
	Ökonomische Einflussfaktoren	,522	,090	,742	5,826	<,001	,339	,704	,765	,717	,662	,796	1,256
	Ökologische Einflussfaktoren	,015	,064	,029	,227	,822	-,116	,145	,307	,040	,026	,801	1,248
	Soziale Einflussfaktoren	,019	,071	,033	,259	,797	-,127	,164	,335	,046	,029	,778	1,286

a. Abhängige Variable: Gesamterfolg (ökonomisch, ökologisch, sozial)

Abbildung 123: Toleranzwerte der Koeffizienten. Quelle: eigene Darstellung

3.3.5.6. Normalverteilung der Störgrößen

Die Normalverteilung der Störgrößen stellt ein abschließendes Kriterium auf Prämissenverletzungen der Regressionsanalyse dar, um alle Anwendungsvoraussetzungen zu überprüfen. Zum einen gilt die Inspektion des Histogramms als eine Methode, um auf die normalverteilten Residuen hin zu prüfen (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 110–112). Die Residuen sind in der vorliegenden Datenbasis normalverteilt, wie die Inspektion des Histogramms in Abbildung 124 ergeben hat.

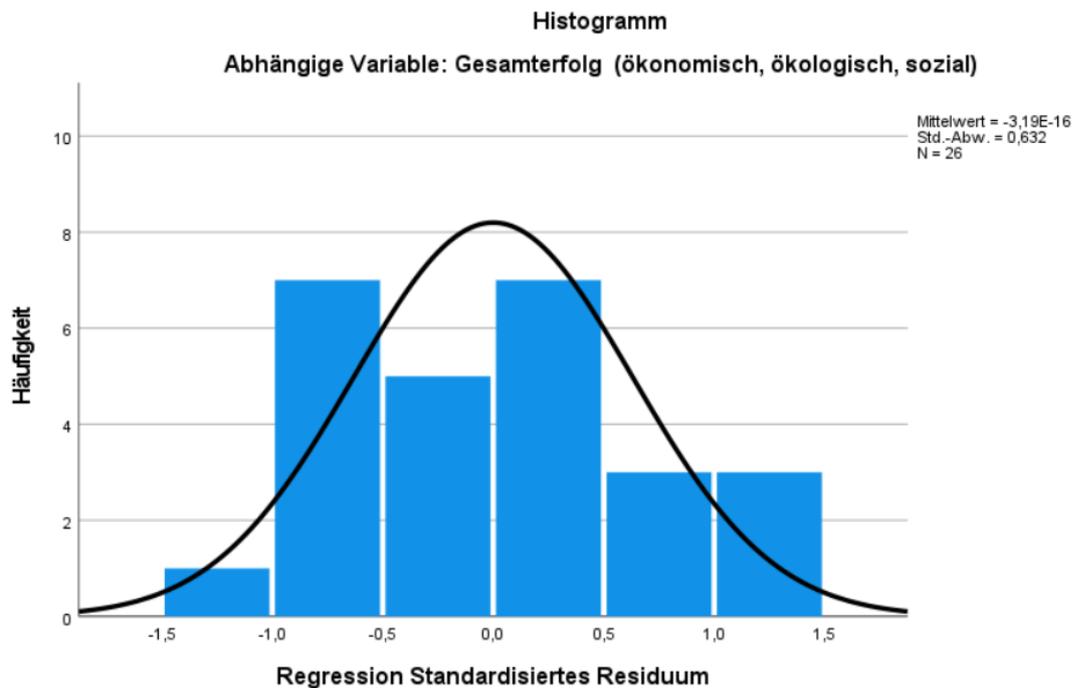


Abbildung 124: Die Normalverteilung der Residuen. Quelle: eigene Darstellung

Eine weitere Überprüfung der Residuen auf ihre Normalverteilung wird durch den Kolmogorov-Smirnov-Test ermöglicht. Dazu sollten im ersten Schritt die standardisierten Residuen als Variable im Datensatz gespeichert werden, um dann den Test durchführen zu können (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 108–110). Der K-S-Test ergab, dass die Residuen normalverteilt sind, da, wie in Abbildung 125 zu sehen ist, kein signifikantes Ergebnis vorliegt.

Nichtparametrische Tests

Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe

		Standardized Residual		
N		26		
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert	,0000000		
	Std.-Abweichung	,63245553		
Extremste Differenzen	Absolut	,134		
	Positiv	,134		
	Negativ	-,090		
Teststatistik		,134		
Asymp. Sig. (2-seitig) ^c		,200 ^d		
Monte-Carlo-Signifikanz (2-seitig) ^e	Sig.		,258	
		99% Konfidenzintervall	Untergrenze	,246
			Obergrenze	,269

- a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
- b. Aus den Daten berechnet.
- c. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors.
- d. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.
- e. Lilliefors-Methode auf der Basis von 10000 Monte-Carlo-Stichproben mit Startwert 2000000.

Abbildung 125: K-S-Test auf Normalverteilung der Residuen. Quelle: eigene Darstellung

3.3.5.7. Regressionsanalyse

Nachdem festgestellt worden ist, dass die Anwendungsvoraussetzungen der Regressionsanalyse erfüllt sind, sowie keine Prämissenverletzungen vorliegen, kann die Regressionsanalyse durchgeführt werden. Dabei gilt zu beachten, dass zum einen die Signifikanz des Modells sowie das Bestimmtheitsmaß R-Quadrat („goodness of fit“) (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 74) und zum anderen die Signifikanz der Koeffizienten und ihre Stärke und Richtung des Einflusses in die Interpretation einfließen sollten (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 84–86). Der Wert von R-Quadrat, wie in Abbildung 126, besagt, dass 58 % der Streuung des nachhaltigen Erfolges durch die drei Regressoren erklärt werden kann.

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers	Durbin-Watson-Statistik
1	,766 ^a	,587	,549	,43304	2,493

a. Einflußvariablen : (Konstante), Soziale Einflussfaktoren, Ökologische Einflussfaktoren, Ökonomische Einflussfaktoren
b. Abhängige Variable: Gesamterfolg (ökonomisch, ökologisch, sozial)

Abbildung 126: Modellzusammenfassung. Quelle: eigene Darstellung

Die ANOVA Statistik zeigt, wie in Abbildung 127, dass das Modell signifikant ist.

Modell		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
1	Regression	8,537	3	2,846	15,174	<,001 ^b
	Nicht standardisierte Residuen	6,001	32	,188		
	Gesamt	14,537	35			

a. Abhängige Variable: Gesamterfolg (ökonomisch, ökologisch, sozial)

b. Einflußvariablen : (Konstante), Soziale Einflussfaktoren, Ökologische Einflussfaktoren, Ökonomische Einflussfaktoren

Abbildung 127: Signifikanz des Modells. Quelle: eigene Darstellung

Wie in Abbildung 128 zu sehen, liegt bei den Koeffizienten nur bei den ökonomischen Einflussfaktoren auf Basis der vorliegenden Daten ein signifikanter Einfluss mit einem Wert von 0,742 vor. Dabei ergab sich kein signifikanter Einfluss, was bedeutet, dass diese Faktoren nicht zur Prognose des nachhaltigen Erfolges in einer Regressionsgleichung herangezogen werden können. Dadurch ergibt sich eine Regressionsgleichung nur bei den ökonomischen Einflussfaktoren zur Prognose mit einer Konstante von 1,080 und einem nicht standardisierten Beta im Wert von 0,522.

		Koeffizienten ^a												
Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.	95,0% Konfidenzintervalle für B		Korrelationen			Kollinearitätsstatistik		
		Regressionskoeffizient B	Std.-Fehler	Beta			Untergrenze	Obergrenze	Nullter Ordnung	Partiell	Teil	Toleranz	VIF	
1	(Konstante)	1,080	,281		3,848	<,001	,508	1,652						
	Ökonomische Einflussfaktoren	,522	,090	,742	5,826	<,001	,339	,704	,765	,717	,662	,796	1,256	
	Ökologische Einflussfaktoren	,015	,064	,029	,227	,822	-,116	,145	,307	,040	,026	,801	1,248	
	Soziale Einflussfaktoren	,019	,071	,033	,259	,797	-,127	,164	,335	,046	,029	,778	1,286	

a. Abhängige Variable: Gesamterfolg (ökonomisch, ökologisch, sozial)

Abbildung 128: Signifikanz der Koeffizienten. Quelle: eigene Darstellung

3.4. Ergebnisse der empirischen Hauptuntersuchung

3.4.1. Diskussion, kritische Auseinandersetzung und Interpretation der Ergebnisse

Die Diskussion und Interpretation der Ergebnisse beziehen sich sowohl auf die Signifikanz des Modells und der Koeffizienten der linearen Regression sowie auf die Korrelation zwischen den Koeffizienten als auch auf die Aussagekraft der Ergebnisse. Um die sachlogische Diskussion und Interpretation unterstützen zu können, beginnt die Auseinandersetzung mit den erreichten Ergebnissen bei den nicht-signifikanten Koeffizienten der Regressionsanalyse. Die Faktorenanalyse und die anschließende Regressionsanalyse ergaben auf Basis der sachlogischen und subjektiv zugeordneten Einflussfaktoren (unabhängige Variablen) in den beiden Kategorien „ökologisch“ und „sozial“, dass sie **keinen signifikanten Einfluss** auf den nachhaltigen Erfolg haben. Die Diskussion und Interpretation der Ergebnisse beider Kategorien sind Tabelle 50 und Tabelle 51 zu entnehmen. Die ökologischen Faktoren (siehe Tabelle 50) zielten auf die Festlegung eines Maßstabes in der Entwicklung ab. Sie beziehen sich auf jedes zweckbestimmte Produkt, um auf dieser Basis Benchmarking zu betreiben und einen gemeinsamen Nenner zu etablieren. So lassen sich Probleme im Produktlebenszyklus indirekt oder direkt entgegenwirken.

Tabelle 50: Diskussion und Interpretation der Ergebnisse in der ökologischen Kategorie

Einfluss-faktoren	Item der Onlineumfrage	
EF9	Safety (funktionale Sicherheit)	Der Grund für diese Zuordnung liegt darin, dass die Safety-Aspekte (indirekt) und der minimale Ressourcenverbrauch von Hardware (direkt) zu einem erhöhten ökologischen Mehrwert in der Software beitragen.
EF11	Minimaler Ressourcenverbrauch von Hardware und Energie war für das fertiggestellte Produkt als Alleinstellungsmerkmal geplant.	
Diskussion und Interpretation		
Das Thema ist in den wissenschaftlichen Diskussionen vertreten aber längst nicht in der industriellen Softwareentwicklung eingesetzt. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Teilnehmer der Onlineumfrage in ihre beruflichen Praxis es kaum einsetzen bzw. ihnen nicht bekannt ist		

Die Zuordnung der drei Faktoren in die soziale Kategorie (siehe Tabelle 51) liegt darin begründet, dass sowohl die Standardeinstellung als auch der Test auf minimalen Energieverbrauch und die ethischen Aspekte zu mehr sozialer Verträglichkeit im Endprodukt sowie beim Endnutzer beitragen.

Tabelle 51: Diskussion und Interpretation der Ergebnisse in der sozialen Kategorie

Einflussfaktoren	Item der Onlineumfrage	Grund für die Zuordnung
EF1	Standardeinstellung	Der Grund für diese Zuordnung liegt darin, dass diese Faktoren zusammengefasst unter der sozialen Kategorie dazu führen, dass eine zweckbestimmte Applikationssoftware zu mehr Sozialverträglichkeit unter Einhaltung der Faktoren beitragen kann.
EF8	Jedes Feature im Produkt wurde auf minimalen Energieverbrauch getestet	
EF12	Ethische Aspekte	
Diskussion und Interpretation		
Das Thema ist in den wissenschaftlichen Diskussionen vertreten aber längst nicht in der industriellen Softwareentwicklung eingesetzt. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Teilnehmer der Onlineumfrage in ihre beruflichen Praxis es kaum einsetzen bzw. ihnen nicht bekannt ist		

Nachdem die nicht-signifikanten Faktoren beleuchtet worden sind, werden nun die ökonomischen Faktoren diskutiert und interpretiert, da sie einen entscheidenden Einfluss auf den nachhaltigen Erfolg haben und ihre sachlogische subjektive Zuordnung als unabhängige Variablen in der Kategorie der ökonomischen Einflussfaktoren zusammengefasst worden sind. Sie werden in Tabelle 52 gezeigt, um die Diskussion und Interpretation der Ergebnisse der ökonomischen Einflussfaktoren abzuschließen.

Einflussfaktoren	Item der Onlineumfrage	Grund für die Zuordnung sowie Diskussion und Interpretation
EF2	Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert auf die Rückwärtskompatibilität des fertiggestellten Produktes gelegt (keine Verschwendung von Hardwareressourcen).	<p>Der Grund für diese Zuordnung liegt darin, dass diese Einflussfaktoren einen gemeinsamen Nenner haben, der zwei Punkte in der vorliegenden Arbeit vereint. Zum einen gibt es zwischen den Einflussfaktoren einen direkten Einfluss auf die Entwicklungskosten, Produktpreise, After Sales Kosten und den erwirtschafteten Gewinn. Zum anderen haben diese Faktoren indirekt einen positiven Einfluss auf die sozialen und einen direkten auf die ökologischen Einflussfaktoren, was in Abbildung 130 anhand der Korrelationen zwischen den Faktoren eindeutig erkennbar ist.</p> <p>Des Weiteren stellen die zehn Faktoren links in der Tabelle Best Practice für nachhaltige Entwicklung und Erwirtschaftung dar, damit der Gewinn langfristig abgesichert werden kann sowie sich teilweise umweltschonend und sozial verträglich auf dem Software-Markt etabliert. Diese Nachhaltigkeit ohne direkten Bezug zum Energieverbrauch lässt sich als schwache Nachhaltigkeit bezeichnen. Eine starke Nachhaltigkeit durch Einbeziehung der ökologischen Faktoren geben die erhobenen Daten nicht her. Nichtsdestotrotz zeigen die Ergebnisse auf Basis der Daten, dass es durch die Richtung und Stärke der Korrelation sehr wohl einen Zusammenhang zwischen den Faktoren gibt. Dies ist ein Indiz dafür, dass die grünen Softwareaspekte positiv und langfristig sowohl den Gewinn als auch die Gesellschaft und die Umwelt beeinflussen werden, da die Kosten der Entwicklung mit allen Nebeneffekten sehr stark minimiert werden können, solange keine Rebound-Effekte auftreten.</p>
EF3	Die Kommunikation innerhalb und außerhalb des Projektes und die Feedbackschleifen waren sehr zufriedenstellend.	
EF4	Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert auf die Wartung und das Update der Software per Remote gelegt.	
EF5	Eine verständliche und einfache Benutzerinformation für den Endnutzer bezüglich der Bedienung war im Fokus des Projektes.	
EF6	Die Benutzerinformation für den Endnutzer bezüglich Transparenz (Erklärbarkeit + Interpretierbarkeit) des Produktes war der Fokus des Projektes.	
EF7	Der Test von Rückwärtskompatibilität war im Fokus des Projektes.	
EF13	Innovation deutlich über dem Status quo von bestehenden Lösungen am Markt war Schwerpunkt des Projektes.	
EF14	Die Akzeptanz von sich schnell ändernden Anforderungen war im Projekt für alle Projektbeteiligten selbstverständlich.	
EF15	Im Rahmen der Entwicklung wurde besonderer Wert auf die schnelle Reaktion auf Kundenwünsche/-feedback gelegt.	

Tabelle 52: Diskussion und Interpretation der Ergebnisse in der ökonomischen Kategorie

Zum Schluss ist festzustellen, dass die zehn ökonomischen Einflussfaktoren für die Prognose des nachhaltigen Erfolges einen eindeutigen, maßgeblichen Einfluss haben. Das Ergebnis teilt sich nach der Ursache und Wirkung sowie durch einen direkten oder indirekten Zusammenhang, was die lineare Regressionsgleichung in Abbildung 129 zeigt, um eine Prognose zu ermöglichen. Die Zusammenhänge und ihre Stärken anhand der Korrelation können herangezogen werden, wie in Abbildung 130 zu sehen, um einwirkenden Risiken auf das Projekt sowie auf das Produkt in seinem Lebenszyklus entgegenzuwirken und die

Gewinnchancen nachhaltig positiv zu erhöhen; ohne dabei einen Bedarf zu haben, Kompromisse einzugehen. Alles in allem ergaben die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit und die Datenbasis sowohl ein signifikantes Modell und wurden klar und eindeutig sowie sachlogisch interpretiert.

Die ANOVA Statistik zeigt, dass das Modell signifikant ist.

Modell		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
1	Regression	8,537	3	2,846	15,174	<.001 ^b
	Nicht standardisierte Residuen	6,001	32	,188		
	Gesamt	14,537	35			

a. Abhängige Variable: Gesamterfolg (ökonomisch, ökologisch, sozial)

b. Einflussvariablen : (Konstante), Soziale Einflussfaktoren, Ökologische Einflussfaktoren, Ökonomische Einflussfaktoren

$$Y = 0,522 * X(n) + 1,080$$

Stärke : **0,742**

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.	95,0% Konfidenzintervalle für B		Korrelationen		Kollinearitätsstatistik	
		Regressionskoeffizient B	Std.-Fehler				Untergrenze	Obergrenze	Nullter Ordnung	Partiell	Toleranz	VIF
1	(Konstante)	1,080	,281		3,848	<.001	,508	1,652				
	Ökonomische Einflussfaktoren	,522	,090	,742	5,826	<.001	,339	,704	,765	,717	,662	,796
	Ökologische Einflussfaktoren	,015	,064	,029	,227	,822	-,116	,145	,307	,040	,026	,801
	Soziale Einflussfaktoren	,019	,071	,033	,259	,797	-,127	,164	,335	,046	,029	,778

a. Abhängige Variable: Gesamterfolg (ökonomisch, ökologisch, sozial)

Abbildung 129: Ergebnis der linearen Regression als Gleichung. Quelle: eigene Darstellung

		Gesamterfolg (ökonomisch, ökologisch, sozial)	Ökonomische Einflussfaktoren	Ökologische Einflussfaktoren	Soziale Einflussfaktoren	Ökonomische Wirkungsgrößen	Soziale Wirkungsgrößen	Ökologische Wirkungsgrößen
Spearman-Rho	Gesamterfolg (ökonomisch, ökologisch, sozial)	Korrelationskoeffizient	1,000	,685**	,283	,306	,816**	,457**
		Sig. (2-seitig)		<.001	,095	,070	<.001	,006
		N	36	36	36	36	36	35
Ökonomische Einflussfaktoren	Korrelationskoeffizient	,685**	1,000	,308	,387*	,434**	,212	,644**
	Sig. (2-seitig)	<.001		,068	,020	,008	,221	<.001
	N	36	36	36	36	36	35	36
Ökologische Einflussfaktoren	Korrelationskoeffizient	,283	,308	1,000	,355*	,348*	,484**	-,052
	Sig. (2-seitig)	,095	,068		,034	,038	,003	,765
	N	36	36	36	36	36	35	36
Soziale Einflussfaktoren	Korrelationskoeffizient	,306	,387*	,355*	1,000	,261	,187	,019
	Sig. (2-seitig)	,070	,020	,034		,124	,282	,912
	N	36	36	36	36	36	35	36
Ökonomische Wirkungsgrößen	Korrelationskoeffizient	,816**	,434**	,348*	,261	1,000	,432**	,133
	Sig. (2-seitig)	<.001	,008	,038	,124		,010	,438
	N	36	36	36	36	36	35	36
Soziale Wirkungsgrößen	Korrelationskoeffizient	,457**	,212	,484**	,187	,432**	1,000	,020
	Sig. (2-seitig)	,006	,221	,003	,282	,010		,911
	N	35	35	35	35	35	35	35
Ökologische Wirkungsgrößen	Korrelationskoeffizient	,572**	,644**	-,052	,019	,133	,020	1,000
	Sig. (2-seitig)	<.001	<.001	,765	,912	,438	,911	
	N	36	36	36	36	36	35	36

** Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

* Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

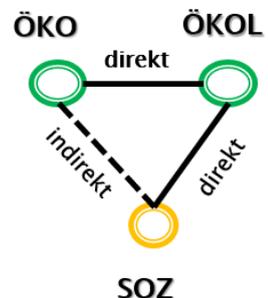


Abbildung 130: Korrelation und ihre Stärke und Richtung zwischen Einflussvariablen und nachhaltigem Erfolg. Quelle: eigene Darstellung

Nachdem die Ergebnisse der Hauptuntersuchung anhand der Signifikanz vorgestellt worden sind, bedarf es nun einer Reflexion sowie kritischen Auseinandersetzung und Interpretation der Aussagekraft der Ergebnisse. Die Reflexion der Ergebnisse beginnt mit Argumenten und Maßnahmen, die den systematischen Fehler der Hauptuntersuchung beeinflusst und minimal gehalten haben:

1. Eine systematische sachlogische Dokumentation der empirischen Hauptuntersuchung minimierte den systematischen Fehler.
2. Eine zielführende argumentative Zuordnung in Einfluss- und Wirkungsgrößen stellte die Basis für den Befragungsinhalt dar.
3. Einsatz von Werkzeugen wie SPSS, wobei die Gütekriterien der empirischen Forschung entlang des methodischen Vorgehens angewendet worden sind, haben dazu geführt, den systematischen Fehler zu minimieren; eine Wiederholung der Hauptuntersuchung wird die gleichen Ergebnisse liefern.
4. Ein Pretest wurde durchgeführt.
5. Eine Filterfrage bezüglich der Teilnahme an der Befragung nur bei einem erfolgreich abgeschlossenen Softwareprojekt und der zurückliegenden Zeit des Projektes haben dazu geführt, dass ein Konfidenzintervall der Datenbasis zum Vergleich zwischen erfolgreichen Projekten und nicht erfolgreichen Projekten nicht herangezogen werden kann.
6. Filterfragen und Abschlussfragen haben eine Vorauswahl an erfolgreichen Projekten sowie in Bezug auf erfahrene Teilnehmer in softwareintensiven Projekten getroffen. Dies führte dazu, dass zum einen die Teilnehmerzahl bei der Onlineumfrage kleiner als 50 war und zum anderen ein Raum für Bias (Verzerrung-Varianz-Dilemma) entstand, was Modell Over Fitting und Under Fitting anbelangt. Dies hat die Aussagekraft der Ergebnisse geschwächt. Um diesem Dilemma entgegenzuwirken, wurde die Onlineumfrage randomisiert durchgeführt. Weiterhin wurde eine zielführende argumentative Zuordnung der unabhängigen als auch abhängigen Variablen der Umfrageergebnisse in der Faktorenanalyse in Form einer Komponentenmatrix als Vorläufer der linearen Regressionsanalyse vorgenommen.
7. Die Randomisierung der Befragungssystems hat die Bias der Ergebnisse minimiert.
8. Einhaltung der Voraussetzungen der Faktorenanalyse und linearen Regression
9. Begründung und Dokumentationen der subjektiven vorgenommenen Zuordnungen im Rahmen der Faktorenanalyse

Um die Signifikanz der linearen Regressionsgleichung kritisch zu interpretieren, werden folgende Ergebnisse aus SPSS diskutiert, welche die Ursache und Wirkung aussagekräftig und prozentual bestätigen. In Analogie dazu wird mit der Korrelationsmatrix vorgegangen, um den Einfluss und die Richtung der Ergebnisse auf die Forschungsfragen und Thesen der vorliegenden Arbeit zu zeigen. Dabei wird eine zukünftige Wiederholung der Hauptuntersuchung herangezogen, um die Ergebnisse in ihrer Aussagekraft beurteilen zu können.

Der Wert von R-Quadrat, wie in Abbildung 126, besagt, dass 58 % der Streuung des nachhaltigen Erfolges durch die drei Regressoren erklärt werden können. Die ANOVA Statistik zeigt, wie in Abbildung 127, dass das Modell signifikant ist. Bei den Koeffizienten, wie in Abbildung 128 zu sehen, liegt nur bei den ökonomischen Einflussfaktoren auf Basis der vorliegenden Daten ein signifikanter Einfluss mit einem Wert von 0,742 vor. Bei den ökologischen und sozialen Einflussfaktoren ergab sich kein signifikanter Einfluss, was bedeutet, dass diese Faktoren nicht zur Prognose des nachhaltigen Erfolges in einer Regressionsgleichung herangezogen werden können. Dadurch ergibt sich eine Regressionsgleichung nur bei den ökonomischen Einflussfaktoren zur Prognose mit einer Konstante von 1,080 und einem nicht standardisierten Beta im Wert von 0,522. Dies hat Folgendes zu bedeuten:

1. Eine Wiederholung der Hauptuntersuchung erhöht den Wert von R-Quadrat.
2. Eine Wiederholung der Hauptuntersuchung mit den ökonomischen Einflussfaktoren wird dazu führen, dass ein höherer signifikanter Einfluss $> 0,742$ ergeben wird
3. Eine Wiederholung der Hauptuntersuchung wird dazu führen, dass die Korrelation zwischen sozialen und ökologischen Einflussfaktoren stets gegeben sein wird.
4. Eine Wiederholung der Hauptuntersuchung wird dazu führen, dass der indirekte Einfluss zwischen sozialen unabhängigen Variablen und direkten ökologischen unabhängigen Variablen zum nachhaltigen Erfolg immer gegeben sein wird.

3.4.2. Finale Darstellung des Instruments

3.4.2.1. Fazit und Zusammenführen der Erkenntnisse

Die Ergebnisse der Hauptuntersuchung haben sowohl die Hauptforschungsfrage als auch die beiden Subforschungsfragen beantwortet, indem eine Regressionsgleichung zur Prognose aufgestellt sowie eine Einfluss-Wirkungsbeziehung in Form einer Korrelationsmatrix gezeigt worden ist. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die grünen Softwareindikatoren den Erfolg positiv beeinflussen und dass ein direkter Zusammenhang zwischen ökologischen Einflussfaktoren und nachhaltigem Erfolg gegeben ist. Dazu gibt es einen direkten Zusammenhang zwischen sozialen und ökologischen Einflussfaktoren, was zu bedeuten hat, dass ein indirekter Zusammenhang zwischen sozialen Einflussfaktoren und nachhaltigem Erfolg gegeben ist. Infolgedessen ermöglichen die Ergebnisse der Hauptuntersuchung drei mögliche Varianten, wie das Instrument in seiner finalen Darstellung aussieht sowie in der Praxis eingesetzt werden kann. Das Instrument kann sowohl im Risikomanagement der klassischen traditionellen industriellen Softwareentwicklung eingesetzt werden als auch in der Prognose des nachhaltigen Erfolges vor der Entwicklung einer Softwareapplikation. Um beide Varianten praxistauglich zu gestalten, bedarf es jedoch einer Integration des Instruments im Anforderungsmanagement im Sinne klassischer oder agiler Softwareentwicklung.

3.4.2.2. Risikomanagement und Bewertung

Die Ergebnisse der Arbeit stellen Korrelationskoeffizienten zur Minderung der Risiken dar. Diese können dann in ihrer Richtung und Stärke eingesetzt werden, um als prozentuales Maß zur Minderung der Risikowahrscheinlichkeit herangezogen zu werden, wenn die ökologischen, sozialen und ökonomischen ausgewählten und erarbeiteten Einflussfaktoren als Risikominderungsmaßnahmen in der Risikobewertung verwendet werden. Abbildung 130 im vorherigen Unterkapitel zeigt die Werte der Korrelationskoeffizienten. Abbildung 131 zeigt ein Exemplar für die Risikoanalyse, Bewertung und die klare Hervorhebung der Indikatoren sowie den möglichen Einsatz ihrer Minderungsstärke mittels der erarbeiteten Korrelationskoeffizienten.

Hiermit steht für den Risikomanagementprozesses ein **strategisches** Instrument zur Verfügung, welches mit nachhaltigen Indikatoren erweitert werden kann. Damit werden zudem die entsprechenden nachfolgenden Schritte des Risikomanagements bezüglich Nachverfolgung, Dokumentation sowie Verifikation und Validierung berücksichtigt, um es **operativ** einsetzen zu können.

The diagram shows a form for risk analysis and evaluation. It consists of a header row with 14 boxes and a 4x14 grid below it. Labels and arrows point to specific boxes:

- Was ist das Risiko. Kurz beschreiben** points to the first box labeled "Risiko".
- Priorität** points to the second box labeled "P".
- Warum gilt dieses Risiko für das Projekt bzw. Produkt** points to the third box labeled "Warum?".
- Eintrittswahrscheinlichkeit** points to the fourth box labeled "E".
- Schwere Risiko** points to the fifth box labeled "S".
- Erfolg** points to the sixth box labeled "R".
- Begründung** points to the seventh box labeled "E".
- Warum?** points to the eighth box labeled "Warum?".
- Nachhaltiger Softwareindikator Minderungsmaßnahme** points to the ninth box labeled "Indikator".
- Prozentualer Maß der Minderung** points to the tenth box labeled "↓%".
- Eintrittswahrscheinlichkeit** points to the eleventh box labeled "E".
- Schwere Risiko** points to the twelfth box labeled "S".
- Erfolg** points to the thirteenth box labeled "R".
- Erfolg** points to the fourteenth box labeled "E".

Abbildung 131: Exemplarisches Formular zur Risikoanalyse und Bewertung. Quelle: eigene Darstellung

3.4.2.3. Prognose des nachhaltigen Erfolges

Die Ergebnisse der Arbeit stellen eine Regressionsgleichung für die neun signifikanten Einflussfaktoren dar. Um die Prognose durchführen zu können, bedarf es eines Fragebogens, wie in Tabelle 53 zu sehen ist. Anschließend wird der Durchschnitt der Werte der Fragebogenantworten gebildet, um sie in die Regressionsgleichung mit den Beta-Werten und der Konstante einzusetzen, so dass daraus eine Prognose erstellt werden kann. Je mehr sich der prognostizierte Wert aus den Durchschnittswerten dem Gesamtmöglichen von 1,602 annähert, desto nachhaltiger und erfolgreicher kann das Softwareentwicklungsprojekt abgeschlossen werden. Eine weitere Einsatzmöglichkeit wäre, ein Item zu verändern und die restlichen konstant zu halten, um die Wirkung des veränderlichen Items auf den Abschluss des Projektes mit einem nachhaltigen Erfolg isoliert zu betrachten.

Tabelle 53: Fragebogen zur Prognose des nachhaltigen Erfolges

Nr.	Items und die dazugehörige textuelle Beschreibung	1 = trifft voll und ganz zu	2 = trifft eher zu	3 = teils teils	4 = trifft eher nicht zu	5 = trifft überhaupt nicht zu
1	Im Rahmen der Entwicklung wird besonderer Wert auf die Rückwärtskompatibilität des fertiggestellten Produktes gelegt (keine Verschwendung von Hardwareressourcen).					
2	Die Kommunikation innerhalb und außerhalb des Projektes und die Feedbackschleifen werden sehr zufriedenstellend sein.					
3	Im Rahmen der Entwicklung wird besonderer Wert auf die Wartung und das Update der Software per Remote gelegt.					
4	Eine verständliche und einfache Benutzerinformation für den Endnutzer bezüglich der Bedienung ist im Fokus des Projektes.					
5	Die Benutzerinformation für den Endnutzer bezüglich Transparenz (Erklärbarkeit + Interpretierbarkeit) des Produktes wird im Fokus des Projektes sein.					
6	Der Test von Rückwärtskompatibilität wird im Fokus des Projektes sein.					
7	Innovation deutlich über dem Status-Quo von bestehenden Lösungen am Markt wird Schwerpunkt des Projektes sein.					
8	Die Akzeptanz von sich schnell ändernden Anforderungen wird im Projekt für alle Projektbeteiligten selbstverständlich sein.					
9	Im Rahmen der Entwicklung wird besonderer Wert auf die schnelle Reaktion auf Kundenwünsche/-feedback gelegt.					

3.4.2.4. Die Instrumente in der Software-Praxis

Die Risikoanalyse und Entscheidung für ein Projekt oder Produkt bedürfen Daten und Analysen, um eine Entscheidung für oder gegen das Projekt treffen zu können. In Abbildung 132 wird schematisch die Risikoanalyse zum Projektbeginn der Software-Praxis veranschaulicht. Um die Risikoanalyse und die anschließende Risikobewertung durchführen zu können, bieten sich das entwickelte Instrument mit den dazugehörigen nachhaltigen Indikatoren und die ausgearbeiteten Korrelationskoeffizienten mit dazugehörigen Werten an. In Analogie zur Risikoanalyse und Bewertung stehen die nachhaltigen Indikatoren und die Regressionsgleichung für die Prognose des nachhaltigen Erfolges zur Verfügung, um für oder gegen einen Projektauftrag zu entscheiden. Abbildung 133 zeigt schematisch den Einsatz der Prognose in der Software-Praxis.

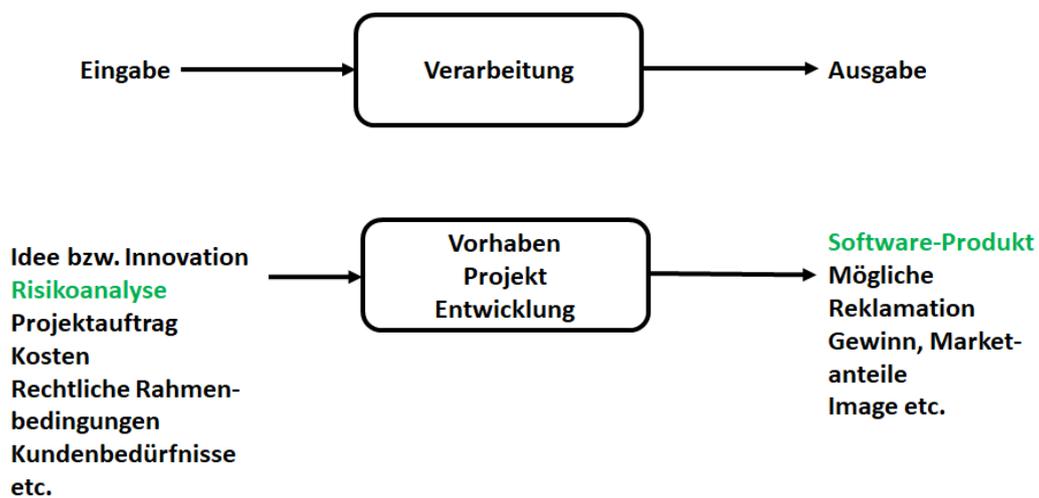


Abbildung 132: Schematische Darstellung der Risikoanalyse in der Praxis. Quelle: eigene Darstellung



Abbildung 133: Schematische Darstellung der Entscheidung für oder gegen ein Projekt. Quelle: eigene Darstellung

3.4.2.5. Anforderungsmanagement und Entwicklung von Applikationssoftware

Das entwickelte Instrument ist erst dann praxistauglich und kann der Problemstellung der vorliegenden Arbeit entgegenwirken, wenn es in Form einer Softwareanforderung dokumentiert wird, welche zeitlich in der Phase der Anforderungserhebung im Anforderungsmanagementprozess betrachtet werden soll. Abbildung 134 zeigt die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit als fester Bestandteil in der Entwicklung der Softwareapplikation.

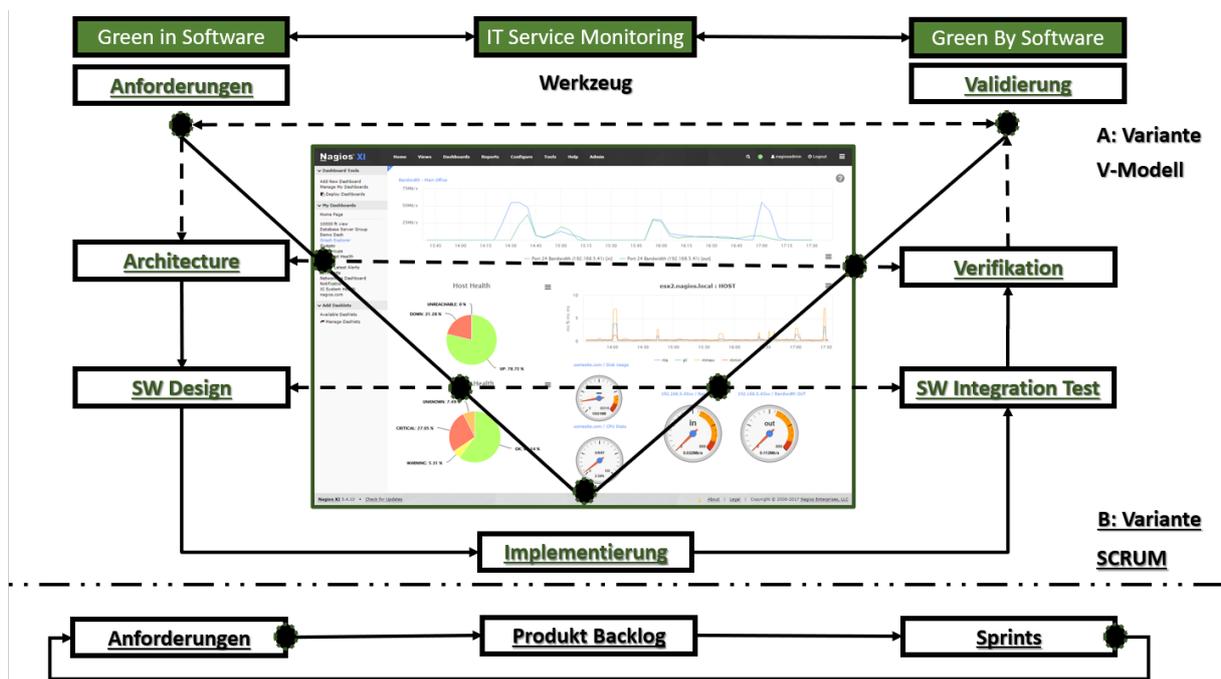


Abbildung 134: Integration des Instruments im Anforderungsmanagement. Quelle: eigene Darstellung

Die Formulierung von Softwareanforderung wird laut Rupp durch eine Satzschablone unterstützt (vgl. Rupp und SOPHISTen, 2020), welche mit und ohne Bedingung in den Abbildung 135 und Abbildung 136 gezeigt wird (vgl. Peterjohann, 2022).

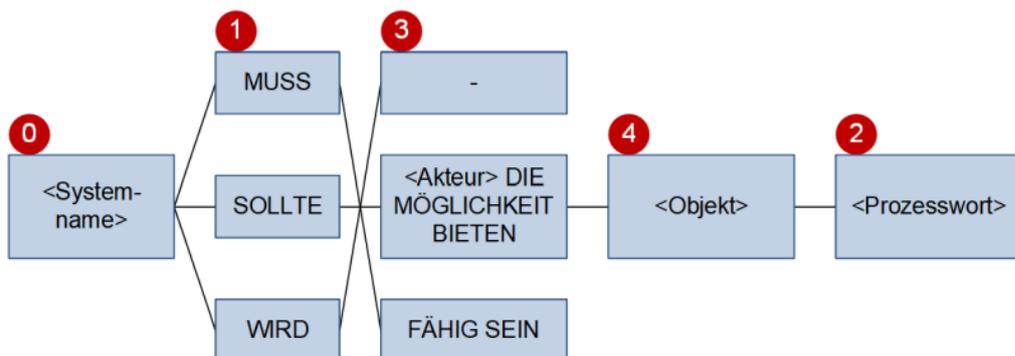


Abbildung 135: Die Satzschablone ohne Bedingung. Quelle: vgl. Peterjohann, 2022

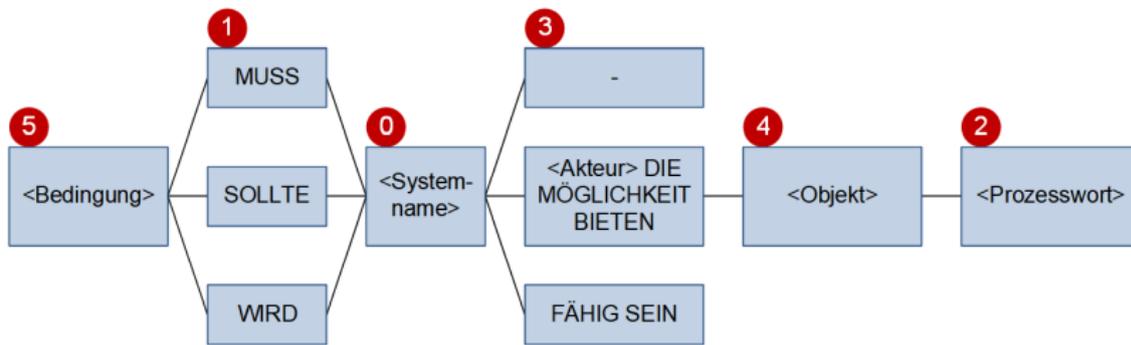


Abbildung 136: Die Satzschablone mit Bedingung. Quelle: vgl. Peterjohann, 2022

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit werden mit Hilfe der gezeigten Satzschablonen in eine Softwareanforderung formuliert, wobei die Ergebnisse aus dem Empirieteil (qualitativ) herangezogen werden, um die ausgearbeiteten Kategorien in Softwareanforderungen gezielt zu formulieren (siehe Abbildung 137). Die Softwareanforderungen werden in der Praxis in einem Anforderungsmanagementsystem, wie z. B. IBM DOORS¹⁸ oder POLARION¹⁹, formuliert und bis zu ihren Validierungen und Tests verfolgt.

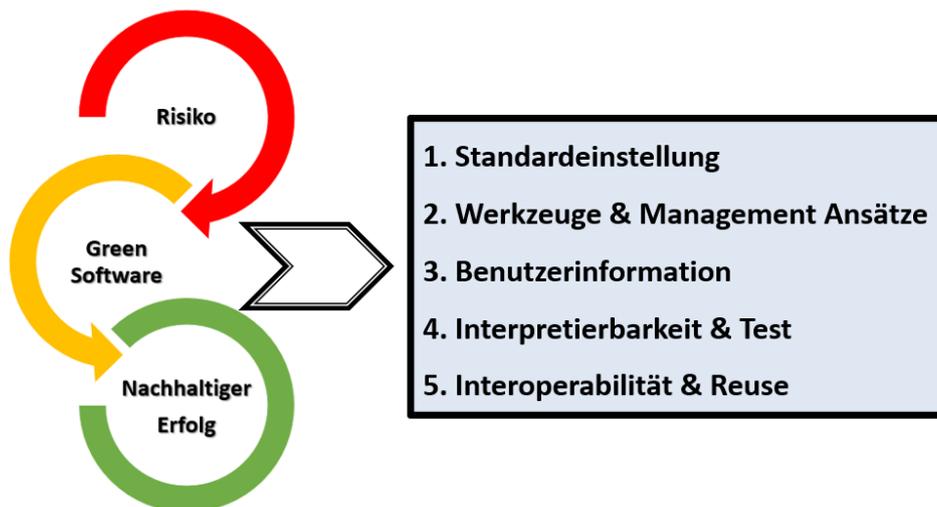


Abbildung 137: Ergebnisse aus dem Empirieteil (Qualitativ). Quelle: eigene Darstellung

Die folgenden formulierten Softwareanforderungen beziehen sich auf die Entwicklungstätigkeiten (Green in Software) sowie auf die Zweckbestimmung und die After Sales Phase der Softwareapplikation. In der Kategorie „**Standardeinstellung**“ und

¹⁸ <https://www.ibm.com/de-de/products/requirements-management>

¹⁹ <https://polarion.plm.automation.siemens.com/>

„**Benutzerinformation**“ können Softwareentwicklungsteams mit den folgenden formulierten Softwareanforderungen ansetzen:

- Die Softwareapplikation muss eine Möglichkeit bieten, den Energieverbrauch anhand der Taktzyklen des Prozessors zu berechnen.
- Die Softwareapplikation muss eine Möglichkeit bieten, den Benutzer über den Energieverbrauch der Standardeinstellung in der Anwendung zu informieren.
- Verändert sich der Energieverbrauch der Softwareapplikation in der Standardeinstellung über einen quantifizierten Schwellenwert, muss die Softwareapplikation eine Möglichkeit bieten, den Benutzer zu warnen oder einen Fehler anzuzeigen.

In der Kategorie „**Softwaretest**“ und „**Werkzeuge**“ können Softwareentwicklungsteams mit den folgenden formulierten Softwareanforderungen ansetzen:

- Die Softwareapplikation muss eine Möglichkeit bieten, den Energieverbrauch der Anwendungsfälle in die Testwerkzeuge zu integrieren.
- Wenn sich der Energieverbrauch der Anwendungsfälle über einen quantifizierten Stellenwert verändert, muss die Softwareapplikation die Möglichkeit bieten, über den Anwendungsfall einen diagnostischen Logeintrag in diversen Stufen zu dokumentieren.

In der Kategorie „**Managementansätze**“ können Softwareentwicklungsteams mit den folgenden formulierten Softwareanforderungen ansetzen:

- Die Softwareapplikation muss eine Möglichkeit bieten, den Energieverbrauch der Anwendungsfälle in die Managementwerkzeuge zu integrieren.
- Verändert sich der Energieverbrauch der Anwendungsfälle über einen quantifizierten Stellenwert, muss die Softwareapplikation die Möglichkeit bieten, das Management zu warnen.

In der Kategorie „**Interoperabilität & Reuse**“ können Softwareentwicklungsteams mit den folgenden formulierten Softwareanforderungen ansetzen:

- Die Softwareapplikation muss eine Möglichkeit bieten, den Energieverbrauch der Anwendungsfälle bei jedem Release bzw. bei jeder neuen Version zu dokumentieren.
- Verändert sich der Energieverbrauch der Anwendungsfälle über einen quantifizierten Stellenwert, muss die Softwareapplikation die Möglichkeit bieten, einen Benchmark zwischen Softwareversionen begründet zu dokumentieren.

4. Zusammenfassung und Fazit

4.1. Zusammenfassung

Die Diskussion und Interpretation der Ergebnisse der Arbeit haben gezeigt, dass die Ziele der vorliegenden Arbeit erreicht worden sind, so dass die Forschungsfragen zum einen beantwortet wurden. Es wurde gezeigt, dass nachhaltige Softwareindikatoren die Risiken mindern sowie eine Prognose ermöglichen. Zum anderen wurde deutlich, dass die Forschungslücke mit einem strategischen, praxistauglichen Instrument geschlossen werden kann, um mehr für starke Nachhaltigkeit zu sorgen und um dies langfristig und strategisch innerhalb des Softwareunternehmens aufrechtzuerhalten. Das systematische, dokumentierte, methodische Vorgehen der vorliegenden Arbeit (Literaturlauswertung, Experteninterviews und die Online-Umfrage) ermöglicht einen wissenschaftlichen und praktischen Erkenntnisgewinn, was durch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit klar hervorgehoben werden kann. Dabei lag der Fokus der vorliegenden Arbeit auf der Softwareindustrie als Innovationstreiber mit einem beachtlichen Wachstum, was anhand der Anzahl der Beschäftigten sowie verfügbaren Produkte auf dem Markt zu erkennen ist. Die Aspekte der nachhaltigen Entwicklung zu berücksichtigen und schon bei der Softwareentwicklung zu beachten, stellt einen wechselseitigen Nutzen sowohl für die Endnutzer/Verbraucher als auch für die Softwareunternehmen dar. Folgende Beispiele aus dem alltäglichen Leben beschreiben am besten, was grüne Software leisten kann, wie dadurch die Umwelt geschont werden kann, damit dem Endnutzer/Verbraucher sozial und ökologisch verträgliche Softwareprodukte zur Verfügung gestellt werden können. Unternehmen können dadurch einen nachhaltigen Gewinn erwirtschaften.

Beispiel 1:

Ein Kunde eines Mobilfunkanbieter kauft sich ein neues Smartphone und nutzt mobile Datenverbindungen im privaten Alltag (z. B. Facebook, YouTube). Das Datenvolumen ist verbraucht und der Kunde bekommt eine SMS, um das Datenvolumen bis zum Ende der Abrechnungsperiode aufzustocken. Der Kunde prüft daraufhin auf seinem Smartphone, wofür er das Datenvolumen genutzt hat. Er schaut zudem online in seinen Kundenaccount, ob auch alles stimmt. Zu seinem Erstaunen stellt der Kunde fest, dass das Datenvolumen laut Kundenaccount noch lange nicht verbraucht ist, im Smartphone dennoch bereits die Grenze

erreicht ist. Der Kunde ruft daraufhin bei der Hotline vom Mobilfunkanbieter an, um sich zu erkundigen. Der Servicemitarbeiter bestätigt, dass das Datenvolumen verbraucht ist. Der Kunde hat sein Datenvolumen für eine bestimmte Summe Geld bis Ende der vertraglichen Periode aufgestockt. Um aber beim nächsten Mal mehr Sicherheit über den Verbrauch zu erhalten, installiert der Kunde eine bekannte Open Source Applikation, um sein Datenvolumen durch eine unabhängige Instanz überwachen zu lassen. Schockiert stellt der Kunde ein paar Tage nach der Installation fest, dass die neu installierte Applikation innerhalb von vier Tagen das Datenvolumen selbst verbraucht hat, um den Verbrauch des Datenvolumens zu messen. Die Standardeinstellung der Applikation war darauf ausgerichtet, dass die Messung jede Minute erfolgen soll und nicht beispielsweise wöchentlich oder monatlich. Diese Information war jedoch bei der Installation sowie auf der Downloadplattform nicht eindeutig kenntlich gemacht. Die Standardeinstellung der Software/Applikation sollte daher immer so an die Kunden ausgeliefert werden, dass der Ressourcenverbrauch (direkt Datenvolumen/ indirekt Stromverbrauch im Server/Handy) minimal ist. Diese Eigenschaft stellt einen Indikator für eine nachhaltige Softwareentwicklung dar.

Beispiel 2:

Wie im Beispiel 1 im Falle von Smartphone und Datenvolumen können solche Szenarien auch bei CAR IT im Automobilbereich auftreten, wenn die Autos via Smartphones mit dem Internet verbunden werden.

Beispiel 3:

Bei den ersten zwei Beispielen handelte sich um die Standard- bzw. Werkseinstellung eines Produktes. Um den Bogen zur Nutzungsphase zu schlagen, dient folgendes drittes Beispiel. Dabei werden YouTube und dessen Video Streaming-Plattformen unter die Lupe genommen, wobei 1 % Stromersparnis bzw. Batterieschonung mit einem Faktor von mindestens einer Million verknüpft wird. Es ist eindeutig zu erkennen, dass bei der Nutzung eines Videos einige zeitliche Markierungen zwischengespeichert werden, ohne dass der Nutzer darauf Einfluss hat, um eine bewusste Entscheidung für oder gegen solch eine Zwischenspeicherung zu treffen. Dabei handelt es sich meistens um ein Feature, welches das angeschaute Video beim ersten Zuschauen über den Verlauf speichert. Dies wird dazu benutzt, wieder an der letzten markierten zwischengespeicherten Stelle zu starten. Es ist so eingestellt, dass bei einem zweiten Versuch, das Video anzuschauen, es einfach weiterläuft. Um über die Vorteile und Nachteile eines solchen Features zu diskutieren, hilft eine Analogie, wie das Lesen eines

Buches via E-Books. Da E-Books anders zu handhaben sind als Videos, sollte intensiver über Datenübertragung, Arbeitsspeicher, Aktualisierung und Stromverbrauch bei einem Video nachgedacht werden, um langfristig umweltschonend und stromsparend damit umgehen zu können. Vor allem geht es darum, dass der Endnutzer eine bewusste Entscheidung diesbezüglich treffen kann und die Kontrolle darüber erlangt. Dabei ist es technologisch irrelevant, ob Cache oder Speicherverwaltung bzw. primitive Datenspeicherung im Einsatz ist. Relevant ist in dieser Hinsicht vor allem auch die millionenfache Nutzung hinsichtlich des Effekts des Stromsparens, vor allem wenn auf solch ein Feature generell verzichtet werden kann.

Beispiel 4:

Um das Zusammenspiel zwischen Softwareentwicklung und Nutzung besser zu verdeutlichen, wird das vierte Beispiel aus dem Bereich der Webtechnologien herangezogen. Dabei handelt es sich um die Entwicklung einer Single Page Application und ihre Optimierung hinsichtlich Download-Zeit und Ressourcenverbrauch. Bei der Entwicklungsphase spielen einige knifflige versteckte Optionen als Parametereinstellung sowohl im Back-End (serverseitig), wie z. B. Komprimierungen und CDN (Content Delivery Network) als Cache-Zwischenspeicher bei internationalen ortsabhängigen Anfragen der Webseite, als auch im Client (Webseite), wie Imageoptimierungen (z. B. Größe und Auflösung), eine Rolle. Eine vorausschauende Entwicklung hinsichtlich des Ressourcenverbrauches im Sinne von IT for Green bzw. Software for Green beeinflusst zum einen indirekt den Ressourcenverbrauch während der Nutzungsphase; zum anderen erhöht sie die Akzeptanz und Zufriedenheit des Endnutzers beim Surfen im Netz. Dazu kann das Beispiel mit dem Einstellungsparameter herangezogen werden, um die Transparenz im Lebenszyklus eines Produktes hervorzuheben, was bei der Softwareentwicklung mit den zwei Faktoren Erklärbarkeit und Dokumentation beschrieben werden kann. In der Entwicklung als auch in der Nutzungsphase führen diese Einstellungen und Optimierungen zu mehr Vertrauen, sowohl in der Lieferkette bei der Entwicklung als auch gegenüber diversen Stakeholdern in der Nutzungsphase.

Beispiel 5:

Was das Update und die Aktualisierung der Software angeht, ist es wie das Verhältnis für die Entscheidung zwischen Safety und Security. Bei Ersterem ist es von entscheidender Bedeutung, dass der Aufwand minimal ist, so dass Reaktionszeit, Kosten und Aufwand auf ein Minimum gehalten werden. Dadurch gewinnt die nachhaltige Software neben Safety und Security immer mehr an Bedeutung, um das Risiko minimal zu halten und auf

unvorhergesehene zukünftige Ereignisse nachhaltig und mit wenig Aufwand und Kosten reagieren zu können. Zudem spielen Cloud Computing, Edge Computing und On The Air Update mit ihren Safety- und Security-Aspekten entscheidende Rollen.

Auf Basis des oben genannten Beispiels ist deutlich zu erkennen, dass die Integration der nachhaltigen Softwareindikatoren zu einem schon bei der Risikoanalyse, Risikobewertung und Risikominderung von Softwareprojekten ein Alleinstellungsmerkmal darstellt, um Rebound-Effekte, Dematerialisierung, Obsoleszenz sowie Effizienz und Suffizienz berücksichtigen zu können. Zum anderen können diese Indikatoren zur Prognose des nachhaltigen Erfolges in der Softwareentwicklung beitragen.

4.2. Fazit und Ausblick

4.2.1. Fazit

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit haben gezeigt, dass es notwendig und zeitgemäß ist, nachhaltige Softwareindikatoren sowohl strategisch als auch operativ im Projekt und Produktentwicklungsalltag zu integrieren. Obwohl die Einsparungen von Ressourcen in einem einzelnen Softwarebaustein oder einer einzelnen Software nicht sehr groß sind, sind sie im Falle, dass der Baustein oder die Software weltweit millionenfach eingesetzt wird, doch erheblich. Es bedarf daher sowohl einer Evaluation als auch Integration sowie Bestätigung innerhalb einer Organisation, um langfristig nachhaltig sowie sozialverträglich und umweltschonend zu wirtschaften und um wettbewerbsfähig auf dem Markt zu bleiben. Dabei sollten die strategischen und operativen Ebenen der Ergebnisse veranschaulicht werden (siehe Abbildung 138 und Abbildung 139).

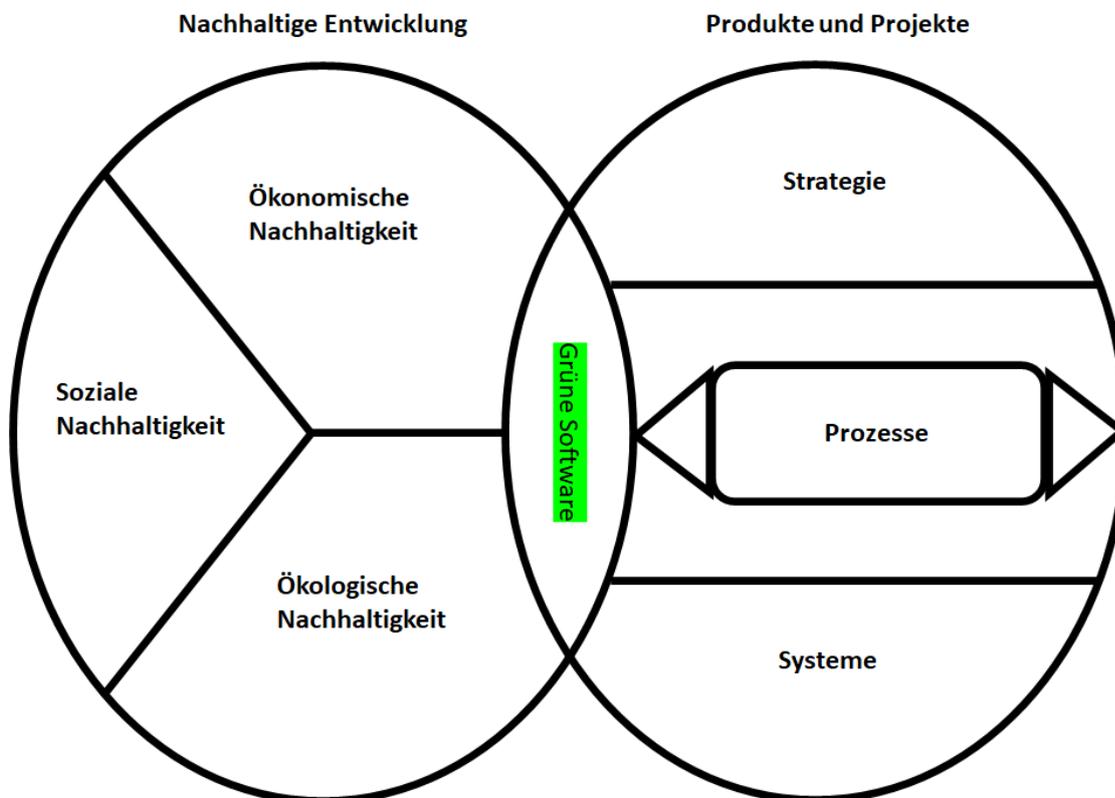


Abbildung 138: Strategische und operative Ebene, wobei grüne Software als Schnittmenge dargestellt ist.

Quelle: eigene Darstellung

Auf strategischer Ebene sollten die Indikatoren als Schnittmenge angesehen werden, um die Nachhaltigkeitsziele und dahinterstehenden Visionen und Strategien zu erreichen. Auf der Organisationsebene spielen die Strategien und Prozesse sowie Systeme eine entscheidende Rolle. Auf der operativen Ebene können dann die nachhaltige Software sowie Safety und Security in der Produktentwicklung in gleichem Maße behandelt werden, sodass bei der Systementwicklung (Software sowie Hardware) die grünen Softwareindikatoren beachtet werden. Vor allem die Integration in Risikomanagementprozessen und die Forderung solcher Indikatoren anhand von Benchmarking sowie Zertifizierungen der Produkte können dazu beitragen, langfristig nachhaltig und wettbewerbsfähig am Markt zu bestehen. Die grünen Softwareindikatoren und das dazugehörige Prognosemodell der vorliegenden Arbeit lassen sich so operativ einsetzen, um nach einer Integration innerhalb einer Organisation zukünftige Ziele sowie Visionen ableiten zu können, die dazu beitragen, langfristig umweltschonend, sozial verträglich und ökonomisch sowie wettbewerbsfähig gegenüber Markt und Gesellschaft zu bleiben.

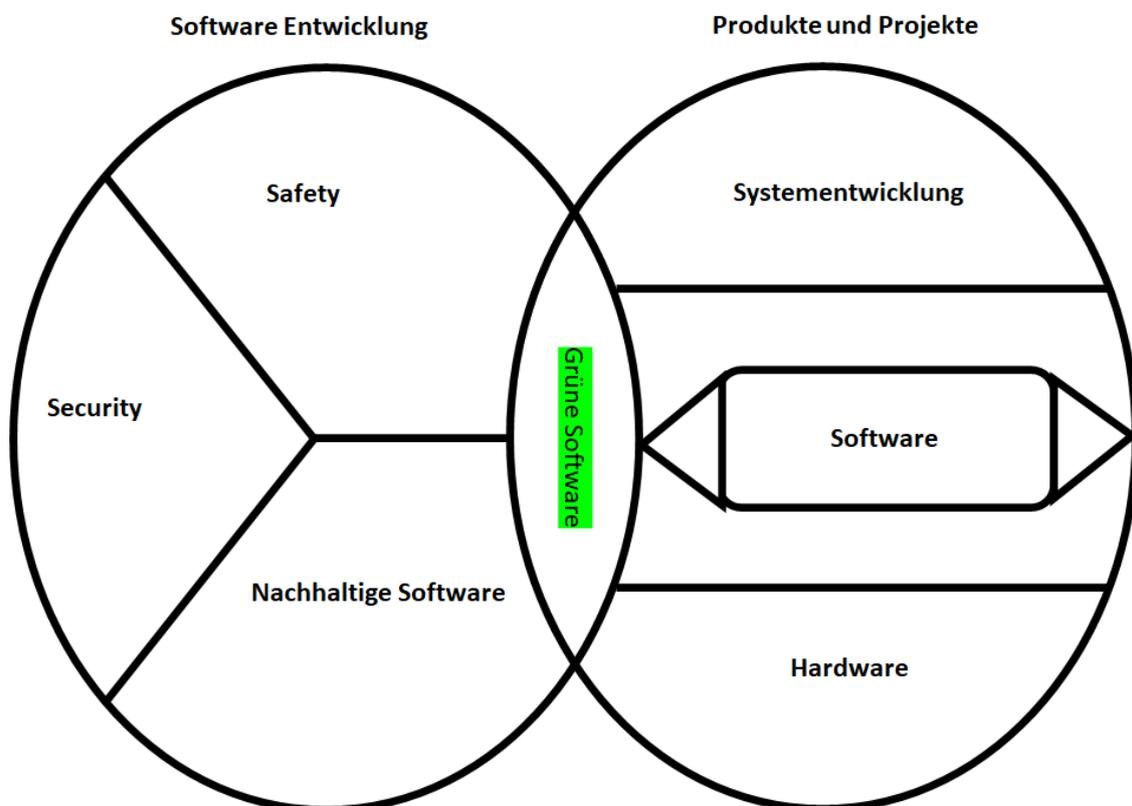


Abbildung 139: Safety- und Security-Ebene neben der Nachhaltigkeit, wobei grüne Software als Schnittmenge dargestellt ist. Quelle: eigene Darstellung

4.2.2. Ausblick

Die Problemstellung und Zielsetzung der vorliegenden Arbeit haben eine zeitliche Komponente als unabhängige Variable, welche wiederholende Untersuchung und Forschung bedarf. Neben der zeitlichen Komponente spielen die Eingrenzung der Arbeit in einen bestimmten Kontext sowie der fehlende praktische Einsatz des Instruments eine entscheidende Rolle. Der Forschungsbedarf der vorliegenden Arbeit teilt sich in zwei Bereiche. Der erste Bereich bezieht sich auf die Erweiterung des Kontextes auf weitere zweckbestimmte Softwareapplikationen, wie Streamingdienste und Green Data, bis hin zu Thin Clients und Client-Server-Softwareapplikationen. Neben dem Kontext und der Zweckbestimmung gilt es, die Ergebnisse in einem Pilotprojekt einzusetzen und zu überprüfen, ob die Praxis die theoriegeleitete Prognose bestätigen kann. Weiterhin stellt eine Erweiterung der Forschungsfragen auf andere Zielstellungen und Untersuchungen, wie z. B. die experimentelle Messung der Stromaufnahme bei einer ausgeführten Applikationssoftware, einen Untersuchungsbedarf dar. Für weitere Untersuchungen kann die ausgewählte Forschungsmethode der vorliegenden Arbeit herangezogen werden, vor allem wenn die Forschungsfragen und Thesen einer Wissensgenerierung bedürfen.

Beim zweiten Bereich handelt es sich um statistische sowie mathematische Analysewerkzeuge, die mit der Praxistauglichkeit und den gesammelten Erfahrungen mit dem Instrument sowie den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit zusammenhängen. Es bedarf daher weiterer Forschung, um die Komplexität zu beherrschen sowie mittels einfacher Regressionsgleichungen und Wahrscheinlichkeiten rechnen zu können. Die zeitlich gesammelten Erfahrungen mit dem Instrument bieten Ansatzpunkte für weitere Untersuchung, die die Beziehung zwischen nachhaltigen Indikatoren, also den Einflussfaktoren und den Risiken, linear darstellen. Dazu kommt die Tatsache, dass diese Einflussfaktoren einen direkten positiven Einfluss auf den nachhaltigen Erfolg haben, die Risiken mindern und normalverteilt sind.

Zur besseren Veranschaulichung stellen Abbildung 140 und Abbildung 141 diese Beziehungen schematisch dar. Die Unabhängigkeit der Einflussvariablen sowie Faktoren stellt eine Voraussetzung dar, um mit deren Summation und Durchschnitt rechnen zu können, wenn sie in der Prognose des Erfolges als Wahrscheinlichkeit und Risikominderung oder Risikowahrscheinlichkeit eingesetzt werden.



Abbildung 140: Linearer Zusammenhang. Quelle: eigene Darstellung

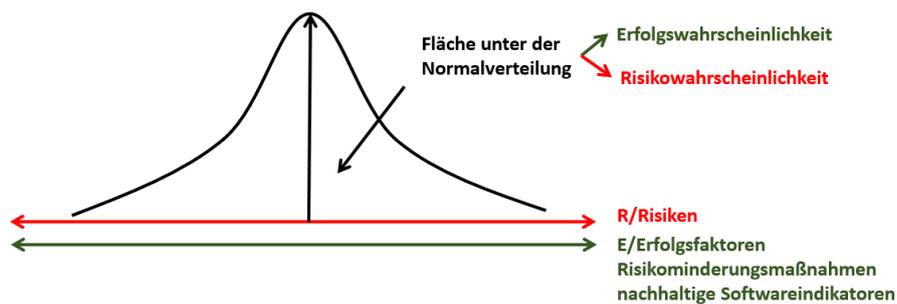


Abbildung 141: Normalverteilung der Einflussfaktoren. Quelle: eigene Darstellung

Weiterhin werden Machine Learning Modelle sowie neuronale Netze mit der Zeit immer mehr an Bedeutung gewinnen, so dass eine Untersuchung mittels solcher Methoden empfehlenswert ist. Für diesen Schritt sind die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit und die dazugehörige Datenbasis notwendig, um sowohl für die Entwicklung solcher Modelle als auch für ihre Validierung eingesetzt zu werden. Bei Beachtung der zeitlichen Komponente und einer wiederholten Untersuchung der vorliegenden Arbeit mit unabhängigen und abhängigen Variablen können die Ergebnisse standardisiert werden, so dass sich wie bei einer Gaußschen Glockenkurve standardisierte Tabellen ergeben, um den nachhaltigen Erfolg einer Softwareapplikation direkt ablesen zu können.

5. Literaturverzeichnis

- Accenture** (2015). *2015 Global Risk Management: Capital Markets Report*. Online: <https://www.accenture.com/us-en/global-risk-management-research-2015-capital-markets> [abgefragt am 20.08.2016]
- Aghamanoukjan, A.; Buber, R.; Meyer, M.** (2009). *Qualitative Interviews*. Qualitative Marktforschung. (2. Auflage). Gabler, S. 415–436
- Ahn, H.; Clermont, M.; Souren, R.** (Hrsg.) (2016). *Nachhaltiges Entscheiden. Beiträge zum multiperspektivischen Performancemanagement von Wertschöpfungsprozessen*. (1. Auflage). Wiesbaden: Springer Fachmedien
- Albertao, F.; Xiao, J.; Tian, C.; Lu, Y.; Zhang, K. Q.; Liu, C.** (2010). *Measuring the Sustainability Performance of Software Projects*. 2010 IEEE 7th International Conference on E-Business Engineering. Shanghai: IEEE, S. 369–373
- Alby, T.; David, B.; Sabine, P.** (2016). *Projektmanagement: Definitionen, Einführungen und Vorlagen — Projektmanagement verständlich erläutert*. Online: <http://projektmanagement-definitionen.de/> [abgefragt am 04.09.2016]
- Amsel, N.; Ibrahim, Z.; Malik, A.; Tomlinson, B.** (2011). *Toward Sustainable Software Engineering (NIER Track)*. Proceedings of the 33rd International Conference on Software Engineering. New York: ACM, S. 976–979
- Backhaus, K.; Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R.** (2018). *Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung*. (15. Auflage). Heidelberg: Springer Gabler
- Balzert, H.; Ebert, C.** (2008). *Lehrbuch der Softwaretechnik: Softwaremanagement*. (2. Auflage). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag
- Basili, V.; Caldiera, C.; Rombach, H-D.; Snipes, W.** (1994). *The Goal Question Metric Approach*. Goal Question Metric Paradigm. New York: John Wiley and Sons, S. 528
- Basili, V. R.; Rombach, H. D.** (1988). *The TAME project: towards improvement-oriented software environments*. IEEE Transactions on Software Engineering 14, S. 758–773
- Berntsson-Svensson, R.; Aurum, A.** (2006). *Successful Software Project and Products: An Empirical Investigation*. Proceedings of the 2006 ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering. New York: ACM, S. 144–153
- Boehm, B. W.** (1983). *Seven Basic Principles of Software Engineering*. J. Syst. Softw. 3, S. 3–24
- Boehm, B. W.** (1991). *Software risk management: principles and practices*. IEEE Software 8, S. 32–41
- Böhm, M.** (2020). *Entwickler über digitale Nachhaltigkeit: „Den Unternehmen richtig auf den Sack gehen“ - DER SPIEGEL - Netzwelt*. Online: <https://www.spiegel.de/netzwelt/web/36c3->

in-leipzig-was-das-internet-mit-dem-klimawandel-zu-tun-hat-a-1302513.html [abgefragt am 11.02.2020]

Bortz, J.; Döring, N. (2015). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. (5. Auflage). Heidelberg: Springer

Brooks, F. P. (1995). *The Mythical Man-Month. Essays on Software Engineering*. (2. Auflage). Crawfordsville, Indiana: Addison-Wesley Longman

Brosius, F. (2014). *SPSS 22 für Dummies: Statistische Analyse statt Datenchaos*. (1. Auflage). Weinheim: Wiley-VCH

Brosius, F. (2018). *SPSS: Umfassendes Handbuch zu Statistik und Datenanalyse; von Version 22-25*. (8. Auflage). Frechen: mitp

Broy, M. (2006). *The „Grand Challenge“ in Informatics: Engineering Software-Intensive Systems*. IEEE Computer 39, S. 72–80

Bryman, A. (2012). *Social Research Methods*. (4. Auflage). Oxford ; New York: Oxford University Press

Buber, R.; Holzmüller, H. (2007). *Mixed Methods. Systematisierung von Untersuchungsdesigns*. Qualitative Marktforschung: Konzepte - Methoden - Analysen. (2007. Auflage). Wiesbaden: Gabler Verlag

Bühl, A. (2016). *SPSS 23: Einführung in die moderne Datenanalyse. Extras online*. (15., aktualisierte Edition). Hallbergmoos: Pearson Studium

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (2016). *CSR - CSR in der EU*. www.bmas.de. Online: <http://www.csr-in-deutschland.de/DE/Politik/CSR-international/CSR-in-der-EU/csr-in-der-eu.html> [abgefragt am 24.09.2016]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016). *Kurzinfo Nachhaltige Entwicklung*. Online: <http://www.bmub.bund.de/themen/strategien-bilanzen-gesetze/nachhaltige-entwicklung/kurzinfo/> [abgefragt am 27.02.2016]

Buschermöhle, R.; Eekhoff, H.; Josko, B. (2006). *Success and failure of hard- and software projects: SUCCESS 2006. Erfolgs- und Misserfolgskriterien bei der Durchführung von Hard- und Software-Entwicklungsprojekten in Deutschland*. (1. Auflage). Oldenburg: BIS-Vlg

Buxmann, P.; Diefenbach, S.; Hess, T. (2015). *Die Softwareindustrie: Ökonomische Prinzipien, Strategien, Perspektiven*. (3. Auflage). Heidelberg: Springer Gabler

Calero, C.; Piattini, M. (2015). *Green in Software Engineering*. (1. Auflage). Heidelberg: Springer

Carroll, A. (1991). *The pyramid of corporate social responsibility: Toward the moral management of organizational stakeholders*. Business Horizons 34, S. 39–48

Chow, T.; Cao, D.-B. (2008). *A Survey Study of Critical Success Factors in Agile Software Projects*. J. Syst. Softw. 81, S. 961–971

- Claas, T.** (2016). *Abgasskandal: EU-Kommission kennt die Abgastricks schon seit Jahren*. Online: <http://www.zeit.de/thema/vw-affeere> [abgefragt am 05.03.2016]
- Cordero Guzmán, D.; Bermeo, V.; Mory, A.** (2020). *IT Governance and Green IT: a systematic review*. London: 2020 Fourth World Conference on Smart Trends in Systems Security and Sustainability, S. 506–511
- Cristal, M.; Wildt, D.; Prikladnicki, R.** (2008). *Usage of SCRUM Practices within a Global Company*. Piscataway, NJ: IEEE computer society, S. 222–226
- Davis, A. M.** (1995). *201 Principles of Software Development*. (1. Auflage). New York: McGraw-Hill
- Dick, M.; Drangmeister, J.; Kern, E.; Naumann, S.** (2013). *Green software engineering with agile methods*. 2013 2nd International Workshop on Green and Sustainable Software (GREENS). San Francisco, S. 78–85
- Dick, M.; Naumann, S.** (2010). *Enhancing Software Engineering Processes towards Sustainable Software Product Design*. EnvirolInfo. Aachen: Shaker, S. 706–715
- Dresing, T.; Pehl, T.** (2018). *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende*. (8. Auflage). Marburg: Eigenverlag Marburg
- Dumke, R.** (2003). *Software Engineering: Eine Einführung für Informatiker und Ingenieure: Systeme, Erfahrungen, Methoden, Tools*. (4. Auflage). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag
- Dumke, R.; Ebert, C.; Heidrich, J.; Wille, C.** (2013). *Messung und Bewertung von Software*. Informatik-Spektrum 36, S. 508–519
- Dustdar, S.; Li, F.; Truong, H.-L.; Sehic, S.; Nastic, S.; Qanbari, S.; Vögler, M.; Claeßens, M.** (2013). *Green software services: From requirements to business models*. 2013 2nd International Workshop on Green and Sustainable Software (GREENS). San Francisco, S. 1–7
- Ebert, C.** (2013). *Risikomanagement kompakt*. (2. Auflage). Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg
- Ebert, C.; Dumke, R.** (1996). *Software-Metriken in der Praxis: Einführung und Anwendung von Software-Metriken in der industriellen Praxis*. (1. Auflage). Berlin: Springer
- Eco, U.** (2010). *Wie man eine wissenschaftliche Abschlussarbeit schreibt*. W. Schick (Übers.). (13. Auflage). Wien: UTB-Verlag
- Esch, F.-R.; Herrmann, A.; Sattler, H.** (2013). *Marketing: Eine managementorientierte Einführung*. (4. Auflage). München: Vahlen
- Fairley, R.** (1994). *Risk management for software projects*. IEEE Software 11, S. 57–67
- Flick, U.; Kardorff, E. von; Keupp, H.; Rosenstiel, L. von; Wolff, S.** (1995). *Handbuch Qualitative Sozialforschung: Grundlagen, Konzepte, Methoden und Anwendungen*. (2. Auflage). Weinheim: Beltz

- Flick, U.; Kardorff, E. von; Steinke, I. (2005).** *Qualitative Forschung: Ein Handbuch*. (13. Auflage). Hamburg: Rowohlt
- Foo, S.; Muruganatham, A. (2000).** *Software risk assessment model*. Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology, 2000. ICMIT 2000, S. 536–544
- Foscht, T.; Angerer, T.; Swoboda, B. (2007).** *Mixed Methods*. In: R. Buber; H. Holzmüller (Hrsg.). *Qualitative Marktforschung*. (1. Auflage). Wiesbaden: Gabler, S. 247–259
- Gartner (2017).** *Gartner Says Worldwide Traditional PC, Tablet, Ultramobile and Mobile Phone Shipments to Grow 4.2 Percent in 2014*. Online: <http://www.gartner.com/newsroom/id/2791017>
- Gaulke, M. (2004).** *Risikomanagement in IT-Projekten*. (2. Auflage). München: De Gruyter Oldenbourg
- Girtler, R. (2001).** *Methoden der Feldforschung*. (4. Auflage). Wien: UTB
- Gläser, J.; Laudel, G. (2010a).** *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse : als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen*. (4. Auflage). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften
- Gläser, J.; Laudel, G. (2010b).** *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse : als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen*. (4. Auflage). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften
- Gómez, J. M.; Strahringer, S.; Teuteberg, F. (2010).** *Green Computing & Sustainability*. (1. Auflage). Heidelberg: dpunkt.verlag
- Grothe, A.; Ankele, K.; Diekmann, V.; Eckstein, S.; Engelmann, T.; Geßner, C.; Griebshammer, R.; Johnson, M.; Kaldschmidt, S.; Kölle, A.; Liebscher, D. A. K.; Ludemann, K.; Merten, D.-I. T.; Müller-Christ, P. D. G.; Ochs, A.; Pechstein, D. A.; Prieß, D.-W.-I. R.; Rohn, D.-I. H.; Rübbelke-Alo, M.; Schäfer, F.; Schaltegger, P. D. S.; Schank, D. C.; Seipel, N.; Teller, D. M.; Wittke, D.-I. N. D. (2016).** *Bewertung unternehmerischer Nachhaltigkeit: Modelle und Methoden zur Selbstbewertung*. (1. Auflage). Berlin: Erich Schmidt Verlag
- Häder, M. (2015).** *Empirische Sozialforschung: Eine Einführung*. (3. Auflage). Wiesbaden: Springer VS
- Hasenmüller, M. P. (2013).** *Herausforderungen im Nachhaltigkeitsmanagement: Der Beitrag der Pfadforschung zur Erklärung von Implementationsbarrieren*. (1. Auflage). Wiesbaden: Springer Fachmedien
- Hauff, V. (1999).** *Unsere gemeinsame Zukunft*. (2. Auflage). Grevén: Eggenkamp
- Heidenreich, G.; Neumann, G. (2015).** *Software für Medizingeräte: Die praktische Auslegung und Umsetzung der gesetzlichen Standards für Entwicklungsleiter, Qualitätsverantwortliche und Programmierer*. (1. Auflage). Erlangen: Publicis Publishing

Hilty, L. M. (2008). *Information Technology and Sustainability: Essays on the Relationship between Information Technology and Sustainable Development*. (1. Auflage). Norderstedt: Books on Demand

Hilty, L. M.; Maksimov, Y.; Naumann, S.; Filler, A.; Guldner, A.; Kern, E.; Gröger, J.; Köhler, A. (2017). *Green Software Engineering: Kriterienkatalog für nachhaltige Software*. Online: <http://green-software-engineering.de/kriterienkatalog-v01/download.html> [abgefragt am 15.06.2017]

Hoermann, K. (2012). *CMMI-DEV Essentials: CMMI for Development - kompakt vermittelt*. (1. Auflage). Kornwestheim: KUGLER MAAG CIE

Homburg, C.; Giering, A. (1996). *Konzeptualisierung und Operationalisierung komplexer Konstrukte. Ein Leitfaden für die Marketingforschung*. Marketing : ZFP ; journal of research and management 18, S. 3–24

Homburg, C.; Krohmer, H. (2009). *Marketingmanagement: Strategie - Instrumente - Umsetzung - Unternehmensführung*. (3. Auflage). Wiesbaden: Gabler Verlag

Höpflinger, F. (2017). *Studienunterlagen. Standardisierte Erhebungen - methodische Hinweise zu Umfragen*. Online: <http://www.hoepflinger.com/fhtop/Umfragemethodik.pdf>

Huang, S.; Lai, R. (2003). *Measuring the maintainability of a communication protocol based on its formal specification*. IEEE Transactions on Software Engineering 29, S. 327–344

Hussy, W.; Schreier, M.; Echterhoff, G. (2013). *Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften für Bachelor*. (2. Auflage). Berlin: Springer

I, C.-L.; Yu, G.; Han, S.; Li, G. Y. (2019). *Green and Software-defined Wireless Networks: From Theory to Practice*. Cambridge: Cambridge University Press

IDC Economic Impact Study (2009). *Aid to recovery: The economic impact of IT, software, and the microsoft ecosystem on the global economy*. Online: http://download.microsoft.com/download/4/1/A/41ACE8D7-8712-474A-9E45-2FEAFC7CEBCB/2009_OCT_Global_White_Paper_IDC_Study.pdf [abgefragt am 16.08.2016]

ISO 26000:2010(en) (2016). *Guidance on social responsibility*. Online: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:26000:ed-1:v1:en> [abgefragt am 16.08.2016]

Jenny, B. (2010). *Projektmanagement: das Wissen für den Profi*. (2. Auflage). Zürich: vdf, Hochschulverlag an der ETH Zürich

Johann, T.; Dick, M.; Naumann, S.; Kern, E. (2012). *How to Measure Energy-efficiency of Software: Metrics and Measurement Results*. Proceedings of the First International Workshop on Green and Sustainable Software. Piscataway, NJ: IEEE Press, S. 51–54

Johannsen, A.; Kramer, A.; Kostal, H.; Sadowicz, E. (2017). *Basiswissen für Softwareprojektmanager: Aus- und Weiterbildung zum Certified Professional for Project Management*. (1. Auflage). Heidelberg: dpunkt.verlag

Kamiske, G.; Pufé, I. (2012). *Nachhaltigkeitsmanagement*. (1. Auflage). München: Carl Hanser Verlag

Karmasin, M.; Ribing, R. (2012). *Die Gestaltung wissenschaftlicher Arbeiten: Ein Leitfaden für Seminararbeiten, Bachelor-, Master- und Magisterarbeiten sowie Dissertationen*. (7. Auflage). Wien: UTB-Verlag

Kathy, B. (2015). *Lexikon der Nachhaltigkeit | Ziele und Wege | Brundtland Bericht, 1987*. Lexikon der Nachhaltigkeit. Online: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/brundtland_report_563.htm [abgefragt am 10.09.2016]

Kern, E.; Dick, M.; Naumann, S.; Guldner, A.; Johann, T. (2013). *Green software and green software engineering—definitions, measurements, and quality aspects*. Proceedings of the First International Conference on Information and Communication Technologies for Sustainability. ETH Zurich, S. 87–94

Klauer, K. J. (2006). *Forschungsmethoden der Pädagogischen Psychologie*. In: A. Krapp; B. Weidenmann (Hrsg.). *Pädagogische Psychologie*. Ein Lehrbuch. (5. Auflage). Weinheim: Beltz PVU, S. 75–98

Kneuper, R. (2007). *CMMI: Verbesserung von Software- und Systementwicklungsprozessen mit Capability Maturity Model Integration*. (3. Auflage). Heidelberg: dpunkt.verlag

Köller, O.; Möller, J. (2008). *Studienbrief Diagnostizieren und Evaluieren, Christian Albrechts Universität*. Kiel: Oldenbourg Verlag.

Kompetenzzentrum Öffentliche Arbeit bei Fraunhofer Fokus (2020). *Grüne Software - Trendschau - Aktuelle Trend- und Themensammlung | Öffentliche IT (ÖFIT)*. Kompetenzzentrum Öffentliche IT. Online: <https://www.oeffentliche-it.de/-/grune-software> [abgefragt am 11.02.2020]

Kuckartz, U.; Ebert, T.; Rädiker, S.; Stefer, C. (2012). *Evaluation Online: Internetgestützte Befragung in der Praxis*. (1. Auflage). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften

Kurzhaus, R. (2015). *Wiley-Schnellkurs Statistik*. (1. Auflage). Weinheim: Wiley

Kvale, S. (1996). *Interviews: An Introduction to Qualitative Research Interviewing*. Thousand Oaks, Calif: SAGE Publications

Kwak, Y. H.; Stoddard, J. (2004). *Project risk management: lessons learned from software development environment*. Technovation 24, S. 915–920

Lago, P.; Kazman, R.; Meyer, N.; Morisio, M.; Müller, H. A.; Paulisch, F. (2013). *Exploring initial challenges for green software engineering: summary of the first GREENS workshop, at ICSE 2012*. ACM SIGSOFT Software Engineering Notes 38, S. 31–33

Lami, G.; Buglione, L. (2012). *Measuring Software Sustainability from a Process-centric Perspective*. Proceedings of the 2012 Joint Conference of the 22Nd International Workshop on Software Measurement and the 2012 Seventh International Conference on Software Process and Product Measurement. Washington, DC: IEEE Computer Society, S. 53–59

Lami, G.; Fabbrini, F.; Fusani, M. (2012). *Software Sustainability from a Process-Centric Perspective*. Systems, Software and Services Process Improvement. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 97–108

- Lamnek, S.; Krell, C.** (2010). *Qualitative Sozialforschung: Lehrbuch. Mit Online-Materialien.* (5. Auflage). Weinheim: Beltz
- Lampe, F.** (2009). *Green-IT, Virtualisierung und Thin Clients: Mit neuen IT-Technologien Energieeffizienz erreichen, die Umwelt schonen und Kosten sparen.* (1. Auflage). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag
- Larcher, M.** (2010). *Zusammenfassende Inhaltsanalyse nach Mayring – Überlegungen zu einer QDA Software unterstützten Anwendung.* Jänner: Institut für nachhaltige Wirtschaftsentwicklung
- Lehner, F.; Wildner, S.; Scholz, M.** (2008). *Wirtschaftsinformatik: Eine Einführung.* (2. Auflage). Wien: Carl Hanser Verlag
- Leimbach, T.; Wydra, S.** (2012). *Software-Atlas Deutschland 2012.* Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, S. 20
- Litz, H. P.; Rosemann, G.** (2010a). *Quantitativ-analytische Forschungsmethoden in den Wirtschaftswissenschaften. Studienmaterial für den Studiengang Business Administration in mittelständischen Unternehmen.* Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg
- Litz, H. P.; Rosemann, K. S.** (2010b). *Quantitativ-analytische Forschungsmethoden in den Wirtschaftswissenschaften. Studienmaterial für den Studiengang Business Administration in mittelständischen Unternehmen.* Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg
- Loew, T.; Rohde, F.** (2013). *CSR und Nachhaltigkeitsmanagement.* Berlin: Institute for Sustainability. Online: <https://d-nb.info/1058389912/34> [abgefragt am 24.09.2016]
- Ludewig, J.; Lichter, H.** (2010). *Software Engineering.* (2. Auflage). Heidelberg: dpunkt.verlag
- Manotas, I.; Bird, C.; Zhang, R.; Shepherd, D.; Jaspán, C.; Sadowski, C.; Pollock, L.; Clause, J.** (2016). *An Empirical Study of Practitioners' Perspectives on Green Software Engineering.* Proceedings of the 38th International Conference on Software Engineering. New York, NY: ACM, S. 237–248
- Manteuffel, C.; Loakeimidis, S.** (2012). *A systematic mapping study on sustainable software engineering: A research preview.* 9th Student colloquium, S. 35
- Mari, L.** (2015). *Evolution of 30 years of the International Vocabulary of Metrology (VIM).* Metrologia 52. Online: <http://stacks.iop.org/0026-1394/52/i=1/a=R1> [abgefragt am 05.09.2016]
- Marimuthu, C.; Chandrasekaran, K.** (2017). *Software Engineering Aspects of Green and Sustainable Software: A Systematic Mapping Study.* Proceedings of the 10th Innovations in Software Engineering Conference. New York, NY: ACM, S. 34–44
- Martin, K.** (2007). *Kennzahlen in der IT- Werkzeuge für Controlling und Management.* (1. Auflage). Heidelberg: dpunkt.verlag
- Matharu, S.; Mishra, A.; Singh, H.; Upadhyay, P.** (2015). *Empirical Study of Agile Software Development Methodologies: A Comparative Analysis.* SIGSOFT Softw. Eng. Notes 40, S. 1–6

Mayring, P. (2002). *Einführung in die qualitative Sozialforschung*. (5. Auflage). Weinheim: Beltz

Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. (12. Auflage). Weinheim: Beltz

McConnell, S. (1997). *Software's Ten Essentials*. IEEE Softw. 14, S. 143–1444

Mildenberger, U.; Khare, A.; Thiede, C. (2008). *Corporate Social Responsibility — Theoriekonzepte und Praxisansätze*. In: F. Himpel; B. Kaluza; J. Wittmann (Hrsg.). Spektrum des Produktions- und Innovationsmanagements. Wiesbaden: Gabler, S. 107–126

Misra, S. C.; Kumar, V.; Kumar, U. (2009). *Identifying Some Important Success Factors in Adopting Agile Software Development Practices*. J. Syst. Softw. 82, S. 1869–1890

Morgenroth, K.; Schmied, J. (2017). *Risikomanagement in Software-Projekten*. Online: <http://www.elektronikpraxis.vogel.de/themen/embeddedsoftwareengineering/management/articles/290447/> [abgefragt am 18.07.2017]

Mueller, M.; Hoermann, K.; Dittmann, L.; Zimmer, J. (2008). *Automotive SPICE in Practice: Surviving Implementation and Assessment*. (1. Auflage). Santa Barbara, CA: Rocky Nook

Mülder, W.; Lorberg, D. (2015). *Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre: Lehrbuch mit Online-Lernumgebung*. (1. Auflage). Herne, Westf: NWB Verlag

Müller, M.; Haeger, K. S. (2010). *Qualitative Sozialforschung. Studienmaterial für den Studiengang Business Administration in mittelständischen Unternehmen*. Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg

Müller, M.; Hörmann, K.; Dittmann, L.; Zimmer, J. (2016). *Automotive SPICE® in der Praxis: Interpretationshilfe für Anwender und Assessoren*. (2. Auflage). Heidelberg: dpunkt.verlag

Murugesan, S.; Gangadharan, G. R. (2012). *Harnessing Green IT: Principles and Practices*. (1. Auflage). Chichester: John Wiley

Naumann, S. (2015). *Green Software Engineering (GREENSOFT)*. Online: <http://www.green-software-engineering.de/de/projekt.html> [abgefragt am 30.08.2015]

Orecka, A.; Dawid, S.; Dzianach, R. (2012). *Best Practices for Achieving Automotive SPICE Capability Level 3*. Software Process Improvement and Capability Determination. Heidelberg: Springer, S. 261–264

Penzenstadler, B. (2013). *Towards a Definition of Sustainability in and for Software Engineering*. Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing. New York, NY: ACM, S. 1183–1185. Online: <http://doi.acm.org/10.1145/2480362.2480585> [abgefragt am 03.06.2017]

Penzenstadler, B.; Bauer, V.; Calero, C.; Franch, X. (2012). *Sustainability in software engineering: A systematic literature review*. 16th International Conference on Evaluation Assessment in Software Engineering (EASE 2012). Ciudad Real: IEEE, S. 32–41

- Peterjohann**, H. (2022). *Satzschablonen*. Peterjohann Consulting. Online: <https://www.peterjohann-consulting.de/satzschablonen/> [abgefragt am 12.04.2022]
- Plewan**, H. J.; **Poensgen**, B. (2011). *Produktive Softwareentwicklung: Bewertung und Verbesserung von Produktivität und Qualität in der Praxis*. (1. Auflage). Heidelberg: dpunkt.verlag
- Pohl**, K.; **Rupp**, C. (2015). *Basiswissen Requirements Engineering: Aus- und Weiterbildung nach IREB-Standard zum Certified Professional for Requirements Engineering Foundation Level*. Heidelberg: dpunkt.verlag
- Röbken**, H.; **Wetzel**, K. (2017). *Qualitative und quantitative Forschungsmethoden. Studienmaterial für den Studiengang Business Administration in mittelständischen Unternehmen*. Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg
- Rosenthal**, S. (2016). *Agile Softwareprojekte in der Vertragsgestaltung*. heise Developer. Online: <http://www.heise.de/developer/artikel/Agile-Softwareprojekte-in-der-Vertragsgestaltung-3314037.html> [abgefragt am 10.09.2016]
- Rost**, F. (2017). *Lern- und Arbeitstechniken für das Studium | Friedrich Rost | Springer*. (7. Auflage). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften
- Rupp**, C.; **SOPHISTen** (2020). *Requirements-Engineering und -Management: Das Handbuch für Anforderungen in jeder Situation*. (7., aktualisierte und erweiterte Edition). München: Carl Hanser Verlag
- Sanio**, H. (2011). *Erfolgsfaktoren der Softwareentwicklung und deren Einsatz zur Bewertung justizinterner Softwareprojekte*. (1. Auflage). Göttingen: Books on Demand
- Schmidt**, B. (2014). *Strategien für eine integrativ nachhaltige Software Entwicklung*. Bochum: Hochschule Bochum
- Schmitz**, C. (2020). *limesurvey*. LimeSurvey - das kostenlose Open-Source-Umfrage Software Tool. Online: <https://www.limesurvey.org/de/> [abgefragt am 12.03.2020]
- Shenoy**, S. S.; **Eeratta**, R. (2011). *Green software development model: An approach towards sustainable software development*. 2011 Annual IEEE India Conference. Hyderabad: IEEE, S. 1–6
- Sierszecki**, K.; **Mikkonen**, T.; **Steffens**, M.; **Fogdal**, T.; **Savolainen**, J. (2014). *Green Software: Greening What and How Much?* IEEE Software 31, S. 64–68
- Singh**, R. K.; **Murty**, H. R.; **Gupta**, S. K.; **Dikshit**, A. K. (2012). *An overview of sustainability assessment methodologies*. Ecological Indicators 15, S. 281–299
- Sommerville**, J. (2012). *Software Engineering*. (9. Auflage). Hallbergmoos: Pearson Studium
- Spillner**, A.; **Linz**, T. (2012). *Basiswissen Softwaretest: Aus- und Weiterbildung zum Certified Tester - Foundation Level nach ISTQB-Standard*. (5. Auflage). Heidelberg: dpunkt.verlag

Stangel, W. (2017). *Die Wissenschaft - Quantitative und qualitative empirische Forschung in Psychologie und Pädagogik*. Online: <http://arbeitsblaetter.stangl-taller.at/FORSCHUNGSMETHODEN/> [abgefragt am 08.06.2017]

Stefan, K. (2020a). *36C3: Blauer Engel gegen aufgeblähte Software segelt 2020 heran*. heise online. Online: <https://www.heise.de/newsticker/meldung/36C3-Blauer-Engel-gegen-aufgeblaehete-Software-segelt-2020-heran-4624071.html> [abgefragt am 11.02.2020]

Stefan, K. (2020b). *36C3: Hackerkongress produziert mehr als 11 Tonnen CO2*. heise online. Online: <https://www.heise.de/newsticker/meldung/36C3-Hackerkongress-produziert-mehr-als-11-Tonnen-CO2-4625063.html> [abgefragt am 11.02.2020]

Steinbach, U. (2008). *Professionelle Softwareentwicklung mit SPICE: Softwareentwicklungsprozesse etablieren und verbessern*. (1. Auflage). Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller

Steiner, E.; Benesch, M. (2018). *Der Fragebogen. Von der Forschungsidee zur SPSS-Auswertung*. (5. Auflage). Wien: UTB-Verlag

Strauss, A.; Corbin, J. (2010). *Grounded Theory: Grundlagen Qualitativer Sozialforschung*. (1. Auflage). Weinheim: BeltzPVU

Strauss, J. (2010). *Grounded Theory: Grundlagen Qualitativer Sozialforschung*. Weinheim: BeltzPVU

Taina, J.; Mäkinen, S. (2015). *Green Software Quality Factors*. In: C. Calero; M. Piattini (Hrsg.). *Green in Software Engineering*. (1. Auflage). Heidelberg: Springer International Publishing, S. 129–154

Tate, K. (2005). *Sustainable Software Development: An Agile Perspective*. (1 edition). Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley Professional

Thaller, G. E. (2002). *Softwareentwicklung im Team*. Bonn: Galileo Press

The Standish Group Report (2010). *Chaos summery for 2010*. Bosten: Standish Group

Umwelt Bundesamt (2015). *Nachhaltige Software. Dokumentation des Fachgesprächs „Nachhaltige Software“*. Online: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/nachhaltige-software> [abgefragt am 27.02.2016]

Vogel, R.; Kocoglu, T.; Berger, T. (2010). *Desktopvirtualisierung: Definitionen - Architekturen - Business-Nutzen*. (1. Auflage). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag

Wagner, K. W.; Dürr, W. (2007). *Reifegrad nach ISO/IEC 15504 (SPiCE) ermitteln*. (1. Auflage). München: Carl Hanser Verlag

Wallace, L.; Keil, M.; Rai, A. (2004). *Understanding Software Project Risk: A Cluster Analysis*. *Inf. Manage.* 42, S. 115–125

Wallmüller, E. (2014). *Risiko- und Chancen-Management für IT- und Software-Projekte: Ein Leitfaden für die Umsetzung in der Praxis*. (2. Auflage). München: Carl Hanser Verlag

W.Boehm, B.; Selby, R. (2007). *Software Engineering: Barry W. Boehm's Lifetime Contributions to Software Development, Management, and Research*. (1. Auflage). New Jersey: John Wiley & Sons

Wentzel, P.-R.; Schmied, J.; Hehn, U.; Gerdorf, M. (2010). *SPICE im Unternehmen einführen: Ein Leitfaden für die Praxis*. (1. Auflage). Heidelberg: dpunkt Verlag

Winter, S. (2017). *Quantitative vs. Qualitative Methoden*. Online:
http://nosnos.synology.me/MethodenlisteUniKarlsruhe/imihome.imi.uni-karlsruhe.de/nquantitative_vs_qualitative_methoden_b.html

Wolf, W.; König, E.; Zedler, P. (1995). *Qualitative versus quantitative Forschung*. Bilanz qualitativer Forschung. (1. Auflage). Weinheim: Beltz, S. 308–329

Zarnekow, R.; Kolbe, L.; Lutz, M. (2013). *Green IT. Erkenntnisse und Best Practices aus Fallstudien*. (1. Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg

6. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kommunikation zwischen Kunden und Unternehmen in der Softwareentwicklung. Quelle: eigene Darstellung.....	4
Abbildung 2: Gegenstandsbereiche der traditionellen Wirtschaftsinformatik. Quelle: (Lehner et al., 2008, S. 12)	7
Abbildung 3: Grenzen und die zeitliche Veränderung der vorliegenden Arbeit. Quelle: eigene Darstellung	12
Abbildung 4: Grobe Struktur der Zielsetzung der Arbeit. Quelle: eigene Darstellung	17
Abbildung 5: Methodik der Arbeit. Quelle: eigene Darstellung	22
Abbildung 6: Aufbau der vorliegenden Arbeit. Quelle: eigene Darstellung	24
Abbildung 7: Leitbild der nachhaltigen Entwicklung. Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an Hasenmüller, 2013, S. 11.....	26
Abbildung 8: Vorgehen der Ökobilanzierung. Quelle: (Gómez et al., 2010, S. 67).....	27
Abbildung 9: Green Software, Green Hardware und Green IT. Quelle: Calero, Piattini, 2015, S. 17	28
Abbildung 10: Vergleich zwischen zwei Softwareapplikationen. Quelle: (Stefan, 2020a)	30
Abbildung 11: Suchanfragen von Green Software in den Jahren zwischen 2014 und 2019. Quelle: (Kompetenzzentrum Öffentliche Arbeit bei Fraunhofer Fokus, 2020)	31
Abbildung 12: Veranschaulichung der Originalität sowie Bedeutung des Themas „Green Software“ anhand der Patentanmeldungen und wiss. Publikationen: Quelle: (Kompetenzzentrum Öffentliche Arbeit bei Fraunhofer Fokus, 2020)	31
Abbildung 13: Eingrenzung und Mehrdeutigkeiten des Begriffes Green Software. Quelle: (Kompetenzzentrum Öffentliche Arbeit bei Fraunhofer Fokus, 2020)	32
Abbildung 14: Softwareentwicklung. Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an Plewan, Poensgen, 2011, S. 12	34
Abbildung 15: Entwicklungsschritte im V-Modell. Quelle: Spillner, Linz, 2012, S. 41	38
Abbildung 16: Die Arbeitsschritte in Scrum. Quelle: Alby et. al., 2016.....	39
Abbildung 17: Darstellung der GQM-Methode. Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an Basili et al., 1994, S. 528–530; Kütz, 2007, S. 44–46.....	41
Abbildung 18: Entwicklung des Kriterienkatalogs. Quelle: Eigene Darstellung.....	48
Abbildung 19: Lebenszyklusprinzip anhand der Gegenüberstellung der Software/Hardware in den Phasen Produktion, Nutzung und Entsorgung. Quelle: vgl. Hilty et al., 2017	58

Abbildung 20: Prozessgebiete nach ISO/IEC 15504 (SPiCE). Quelle: Wagner und Dürr, 2007, S. 33.....	63
Abbildung 21: Reifegraddimensionen ISO/IEC 15504 (SPiCE). Quelle: Wagner und Dürr, 2007, S. 24	64
Abbildung 22: Risikomanagement in den Projektphasen der Softwareentwicklung. Quelle: (vgl. Morgenroth und Schmied, 2017)	86
Abbildung 23: Gefährdung, Schaden, Risiko und RPZ nach der ISO 14971. Quelle: (Heidenreich und Neumann, 2015, S. 31)	87
Abbildung 24: Risikomatrix. Quelle: eigene Darstellung angelehnt an (vgl. Johannsen et al., 2017, S. 217–220).....	87
Abbildung 25: Risikobewertungsmatrix. Die Anzahl der Risiken, die in der Matrix eingetragen sind, sind rein fiktiv. Sie bilden die Anzahl der Risiken nach der Bewertung, also die Berechnung der RPZ. Quelle: eigene Darstellung angelehnt an (vgl. Johannsen et al., 2017, S. 217–220).....	88
Abbildung 26: Mixed Methods mit ihren Vorgehensweisen. Quelle: (vgl. Buber und Holzmüller, 2007, S. 115)	113
Abbildung 27: Überblick der eingesetzten Methoden. Quelle: eigene Darstellung	114
Abbildung 28: Vor- und Nachteile der Interviewarten nach Mayring Quelle: Flick et al., S. 349ff	115
Abbildung 29: Auswahltypen und Stichprobenverfahren. Quelle: (vgl. Esch et al., 2013, S. 98)	120
Abbildung 30: Transkript erstes Interview mit F4 Tool. Quelle: Eigene Darstellung	140
Abbildung 31: Transkript zweites Interview mit F4 Tool. Quelle: Eigene Darstellung.....	141
Abbildung 32: Transkript drittes Interview mit F4 Tool. Quelle: Eigene Darstellung	141
Abbildung 33: Beginn der Inhaltsanalyse der drei Interviews beim Laden der transkribierten Interviews im Werkzeug F4Analyse: Quelle: eigene Darstellung	142
Abbildung 34: Notizen bei der Strukturierung des Materials. Quelle: eigene Darstellung ...	143
Abbildung 35: Memos bei der Strukturierung des Materials. Quelle: eigene Darstellung....	143
Abbildung 36: Code System Deduktive. Quelle: eigene Darstellung	144
Abbildung 37: Codesystem Induktiv. Quelle: eigene Darstellung.....	144
Abbildung 38: Einordnung der Experten zum generierten Wissen. Quelle: Eigene Darstellung	145
Abbildung 39: Ähnlichkeiten bei den Aussagen der Experten. Quelle: Eigene Darstellung ..	146

Abbildung 40: Unterschiede bei den Aussagen der Experten. Quelle: Eigene Darstellung...	146
Abbildung 41: Abstraktes zusammenfassendes Ergebnis der Interviews und der Inhaltsanalyse. Quelle: Eigene Darstellung	148
Abbildung 42: Schematischer Aufbau des Modells. Quelle: eigene Darstellung.....	150
Abbildung 43: Die inhaltliche Darstellung des Modells. Quelle: eigene Darstellung	151
Abbildung 44: Faktorenanalyse und ihre Anordnung in der multivariaten Analyse. Quelle: eigene Darstellung angelehnt an (vgl. Homburg und Krohmer, 2009, S. 347)	160
Abbildung 45: Multiple Regressionsanalyse und ihre Anordnung im multivariaten Analyseverfahren. Quelle: eigene Darstellung angelehnt an (vgl. Homburg und Krohmer, 2009, S. 347)	160
Abbildung 46: Einleitende Fragengruppe und Fragen. Quelle: eigene Darstellung	166
Abbildung 47: Filter Fragengruppe und Fragen. Quelle: eigene Darstellung	167
Abbildung 48: Hypothesenprüfende Fragengruppe und Fragen. Quelle: eigene Darstellung	167
Abbildung 49: Hypothesenprüfende Fragengruppe und Fragen. Quelle: eigene Darstellung	168
Abbildung 50: Hypothesenprüfende Fragengruppe und Fragen. Quelle: eigene Darstellung	168
Abbildung 51: Hypothesenprüfende Fragengruppe und Fragen. Quelle: eigene Darstellung	169
Abbildung 52: Abschließende Fragengruppe und Fragen. Quelle: eigene Darstellung.....	170
Abbildung 53: Filterfrage (Berufserfahrungen). Quelle: eigene Darstellung.....	171
Abbildung 54: Filterfrage (erfolgreicher Projektabschluss). Quelle: eigene Darstellung	172
Abbildung 55: Abschließende Frage (Mitarbeiterzahl in der Entwicklung). Quelle: eigene Darstellung	172
Abbildung 56: Abschließende Frage (Branche). Quelle: eigene Darstellung	173
Abbildung 57: Häufigkeitsverteilung von EF1 (Standardeinstellung). Quelle: eigene Darstellung	176
Abbildung 58: Häufigkeitsverteilung von EF2 (Rückwärtskompatibilität). Quelle: eigene Darstellung	176
Abbildung 59: Häufigkeitsverteilung von EF3 (Kommunikation). Quelle: eigene Darstellung	177

Abbildung 60: Häufigkeitsverteilung von EF4 (Wartung/Update). Quelle: eigene Darstellung	177
Abbildung 61: Häufigkeitsverteilung von EF5 (Benutzerinformation). Quelle: eigene Darstellung	178
Abbildung 62: Häufigkeitsverteilung von EF6 (Transparenz). Quelle: eigene Darstellung	178
Abbildung 63: Häufigkeitsverteilung von EF7 (Test von Rückwärtskompatibilität). Quelle: eigene Darstellung.....	179
Abbildung 64: Häufigkeitsverteilung von EF8 (Energieverbrauch). Quelle: eigene Darstellung	179
Abbildung 65: Häufigkeitsverteilung von EF9 (Safety). Quelle: eigene Darstellung.....	180
Abbildung 66: Häufigkeitsverteilung von EF10 (Security). Quelle: eigene Darstellung.....	180
Abbildung 67: Häufigkeitsverteilung von EF11 (Hardware und Energie). Quelle: eigene Darstellung	181
Abbildung 68: Häufigkeitsverteilung von EF12 (Ethische Aspekte). Quelle: eigene Darstellung	181
Abbildung 69: Häufigkeitsverteilung von EF13 (Innovation deutlich über dem Status-Quo). Quelle: eigene Darstellung	182
Abbildung 70: Häufigkeitsverteilung von EF14 (sich schnell ändernde Anforderungen). Quelle: eigene Darstellung	182
Abbildung 71: Häufigkeitsverteilung von EF15 (Schnelle Reaktion auf Kundenwünsche/- feedback). Quelle: eigene Darstellung	183
Abbildung 72: Häufigkeitsverteilung von WF1 (Energieverbrauch). Quelle: eigene Darstellung	183
Abbildung 73: Häufigkeitsverteilung von WF2 (Keine neue Hardware durch den Kunden). Quelle: eigene Darstellung	184
Abbildung 74: Häufigkeitsverteilung von WF3 (Entwicklungskosten). Quelle: eigene Darstellung	184
Abbildung 75: Häufigkeitsverteilung von WF4 (Benutzerfreundlichkeit). Quelle: eigene Darstellung	185
Abbildung 76: Häufigkeitsverteilung von WF5 (Nutzungsintensität mit gutem Gewissen). Quelle: eigene Darstellung	185
Abbildung 77: Häufigkeitsverteilung von WF6 (Kundenbindung wurde gesichert). Quelle: eigene Darstellung.....	186

Abbildung 78: Häufigkeitsverteilung von WF7 (langfristige Sicherung des Arbeitsplatzes). Quelle: eigene Darstellung	186
Abbildung 79: Häufigkeitsverteilung von WF8 (Konflikte innerhalb und außerhalb des Projektes waren minimal). Quelle: eigene Darstellung	187
Abbildung 80: Häufigkeitsverteilung von WF9 (Fluktuation innerhalb des Teams minimal). Quelle: eigene Darstellung	187
Abbildung 81: Häufigkeitsverteilung von WF10 (Wartung der Software und Updates waren per Remote möglich). Quelle: eigene Darstellung	188
Abbildung 82: Häufigkeitsverteilung von WF11 (Produkt hatte wenig Reklamationen). Quelle: eigene Darstellung.....	188
Abbildung 83: Häufigkeitsverteilung von WF12 (Produkt funktioniert optimal (innerhalb der Gewährleistungs- und Garantiefristen)). Quelle: eigene Darstellung	189
Abbildung 84: Häufigkeitsverteilung von WF13 (Endnutzer verwenden das Produkt wie geplant). Quelle: eigene Darstellung.....	189
Abbildung 85: Häufigkeitsverteilung von WF14 (Digitaler Müll und Schrankware sind kein Ergebnis des Projekts gewesen). Quelle: eigene Darstellung	190
Abbildung 86: Erfahrung in der Softwareentwicklung. Quelle: eigene Darstellung	191
Abbildung 87: Mitarbeiterzahl in der Softwareentwicklung. Quelle: eigene Darstellung.....	191
Abbildung 88: Aufruf der Faktorenanalyse in SPSS. Quelle: eigene Darstellung.....	193
Abbildung 89: Reduktion der Kategorien auf drei Komponenten. Quelle: eigene Darstellung	193
Abbildung 90: Zugehörigkeiten der Einflussvariablen in den drei Komponenten. Quelle: eigene Darstellung.....	194
Abbildung 91: Zugehörigkeiten der Wirkungsvariablen in den drei Komponenten. Quelle: eigene Darstellung.....	195
Abbildung 92: Cronbachs Alpha der Einflussgrößen (Ökonomisch). Quelle: eigene Darstellung	197
Abbildung 93: Cronbachs Alpha der Einflussgrößen (Ökologisch). Quelle: eigene Darstellung	198
Abbildung 94: Cronbachs Alpha der Einflussgrößen (sozial). Quelle: eigene Darstellung.....	198
Abbildung 95: Cronbachs Alpha der Wirkungsgrößen (ökonomisch). Quelle: eigene Darstellung	199
Abbildung 96: Cronbachs Alpha der Wirkungsgrößen (sozial). Quelle: eigene Darstellung..	200

Abbildung 97: Cronbachs Alpha der Wirkungsgrößen (ökologisch). Quelle: eigene Darstellung	200
Abbildung 98: Gesamterfolg und dazugehöriger Cronbachs Alpha als neue Variable. Quelle: eigene Darstellung.....	201
Abbildung 99: Korrelationskoeffizienten und Signifikanzniveaus in der Korrelationsmatrix (Einflussvariablen). Quelle: eigene Darstellung	204
Abbildung 100: Nicht-Diagonalelemente der inversen Korrelationsmatrix (Einflussvariablen). Quelle: eigene Darstellung	204
Abbildung 101: Korrelationskoeffizienten und Signifikanzniveaus in der Korrelationsmatrix (Wirkungsvariablen). Quelle: eigene Darstellung	205
Abbildung 102: Nicht-Diagonalelemente der inversen Korrelationsmatrix (Wirkungsvariablen). Quelle: eigene Darstellung	206
Abbildung 103: K-S-Test, Anpassungstest von EF. Quelle: eigene Darstellung	207
Abbildung 104: K-S-Test, Anpassungstest von WF. Quelle: eigene Darstellung.....	207
Abbildung 105: KMO- und Bartlett-Test von EF. Quelle: eigene Darstellung	208
Abbildung 106: KMO- und Bartlett-Test von WF. Quelle: eigene Darstellung	208
Abbildung 107: Anti-Image-Kovarianz von EF. Quelle: eigene Darstellung.....	209
Abbildung 108: Anti-Image-Kovarianz von WF. Quelle: eigene Darstellung	210
Abbildung 109: Erklärte Gesamtvarianz von EF. Quelle: eigene Darstellung	211
Abbildung 110: Screeplot von EF. Quelle: eigene Darstellung.....	211
Abbildung 111: Erklärte Gesamtvarianz von WF. Quelle: eigene Darstellung.....	212
Abbildung 112: Screeplot von WF. Quelle: eigene Darstellung.....	212
Abbildung 113: Statistiken und Optionen der linearen Regression in SPSS. Quelle: eigene Darstellung	213
Abbildung 114: Prämissenverletzungen des linearen Regressionsmodells. Quelle: (vgl. Backhaus et al., 2018, S. 103).....	214
Abbildung 115: Berechnete neue Variablen als Ergebnis der Faktorenanalyse. Quelle: eigene Darstellung	214
Abbildung 116: Streudiagramm von ökonomischen Einflussgrößen und dem nachhaltigen Erfolg. Quelle: eigene Darstellung.....	215
Abbildung 117: Streudiagramm von ökologischen Einflussgrößen und dem nachhaltigen Erfolg. Quelle: eigene Darstellung.....	216

Abbildung 118: Streudiagramm von sozialen Einflussgrößen und dem nachhaltigen Erfolg. Quelle: eigene Darstellung	216
Abbildung 119: Die Prüfung der Homoskedastizität als Streudiagramm. Quelle: eigene Darstellung	217
Abbildung 120: Durbin-Watson-Test der Datenbasis. Quelle: eigene Darstellung	218
Abbildung 121: Korrelationen zwischen unabhängigen Variablen EF. Quelle: eigene Darstellung	219
Abbildung 122: Korrelationen zwischen abhängigen Variablen WF. Quelle: eigene Darstellung	220
Abbildung 123: Toleranzwerte der Koeffizienten. Quelle: eigene Darstellung	220
Abbildung 124: Die Normalverteilung der Residuen. Quelle: eigene Darstellung	221
Abbildung 125: K-S-Test auf Normalverteilung der Residuen. Quelle: eigene Darstellung ..	222
Abbildung 126: Modellzusammenfassung. Quelle: eigene Darstellung	223
Abbildung 127: Signifikanz des Modells. Quelle: eigene Darstellung	223
Abbildung 128: Signifikanz der Koeffizienten. Quelle: eigene Darstellung	224
Abbildung 129: Ergebnis der linearen Regression als Gleichung. Quelle: eigene Darstellung	228
Abbildung 130: Korrelation und ihre Stärke und Richtung zwischen Einflussvariablen und nachhaltigem Erfolg. Quelle: eigene Darstellung.....	228
Abbildung 131: Exemplarisches Formular zur Risikoanalyse und Bewertung. Quelle: eigene Darstellung	232
Abbildung 132: Schematische Darstellung der Risikoanalyse in der Praxis. Quelle: eigene Darstellung	234
Abbildung 133: Schematische Darstellung der Entscheidung für oder gegen ein Projekt. Quelle: eigene Darstellung	234
Abbildung 134: Integration des Instruments im Anforderungsmanagement. Quelle: eigene Darstellung	235
Abbildung 135: Die Satzschablone ohne Bedingung. Quelle: vgl. Peterjohann, 2022.....	235
Abbildung 136: Die Satzschablone mit Bedingung. Quelle: vgl. Peterjohann, 2022	236
Abbildung 137: Ergebnisse aus dem Empirieteil (Qualitativ). Quelle: eigene Darstellung....	236
Abbildung 138: Strategische und operative Ebene, wobei grüne Software als Schnittmenge dargestellt ist. Quelle: eigene Darstellung	242

Abbildung 139: Safety- und Security-Ebene neben der Nachhaltigkeit, wobei grüne Software als Schnittmenge dargestellt ist. Quelle: eigene Darstellung	243
Abbildung 140: Linearer Zusammenhang. Quelle: eigene Darstellung	245
Abbildung 141: Normalverteilung der Einflussfaktoren. Quelle: eigene Darstellung	245

7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzahl der Publikationen im Themenschwerpunkt im Jahr 2017.....	9
Tabelle 2: Definitionen der nachhaltigen Softwareentwicklung	11
Tabelle 3: Risiken und Erfolgsgrößen in den Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung. Quelle: eigene Darstellung	18
Tabelle 4: Erfolgsgrößen in den Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung. Quelle: eigene Darstellung	18
Tabelle 5: Ausgewählte relevante Literatur zu nachhaltiger Softwareentwicklung	33
Tabelle 6: Typische Ergebnisse der Aktivitäten bei Softwarevorhaben. Quelle: angelehnt an Ludewig, Lichter, 2010, S. 92.....	35
Tabelle 7: Ausgewählte relevante Literatur zu Softwareentwicklung und Risikomanagement	37
Tabelle 8: Grundkomponenten einer Softwaremessung nach Dumke et al., 2013, S. 508.....	40
Tabelle 9: Einige Nachhaltigkeitsbewertungsmodelle, angelehnt an Singh et al., 2012, S. 281 sowie Grothe, 2016, S. 79	44
Tabelle 10: Nachhaltige Entwicklung und Bewertung	46
Tabelle 11: Softwareentwicklung und Bewertung	47
Tabelle 12: Die sieben Grundprinzipien der Softwareentwicklung nach BOEHM	49
Tabelle 13: GAULKE Erfolgsfaktoren im Jahr 1994 der Studie „IT Runaway Systems“	49
Tabelle 14: Erfolgsfaktoren nach dem CHAOS-Report 1995.....	50
Tabelle 15: Die zehn wichtigsten Erfolgsfaktoren der Softwareentwicklung nach MCCONNEL	50
Tabelle 16: Kritische Erfolgsfaktoren des Daily Telegraph aus dem Jahr 1998.....	51
Tabelle 17: Erfolgsfaktoren nach dem Programm Management Survey im Jahr 2002	51
Tabelle 18: Erfolgsfaktoren nach WETZEL und SEILER	52
Tabelle 19: Hypothesen von BUSCHERMÖHLE ET AL. und verifizierte Erfolgsfaktoren	52
Tabelle 20: Erfolgsfaktoren nach der empirischen Studie von Berntsson-Svensson und Aurum von der University of New South Wales in Sydney	53

Tabelle 21: Neun signifikante Erfolgsfaktoren nach MISRA ET AL. vom Jahr 2009	53
Tabelle 22: Erfolgsfaktoren der Aus- und Weiterbildung zum ASQF Certified Professional for Project Management vom Jahr 2016 in der Phase Projektinitiierung	54
Tabelle 23: Erfolgsfaktoren der Aus- und Weiterbildung zum ASQF Certified Professional for Project Management vom Jahr 2016 in der Phase Projektplanung	54
Tabelle 24: Erfolgsfaktoren der Aus- und Weiterbildung zum ASQF Certified Professional for Project Management vom Jahr 2016 in der Phase Projektdurchführung	55
Tabelle 25: Erfolgsfaktoren der Aus- und Weiterbildung zum ASQF Certified Professional for Project Management vom Jahr 2016 in der Phase Projektabschluss	55
Tabelle 26: Erfolgsfaktoren in der grünen Softwareentwicklung	57
Tabelle 27: Erfolgsfaktoren in der grünen Softwareentwicklung nach dem Kriterienkatalog	59
Tabelle 28: Zuordnung der spezifischen Praktiken nach den Prozessgebieten	64
Tabelle 29: Hauptkategorie: Prozessebene	68
Tabelle 30: Hauptkategorie: Produktebene	69
Tabelle 31: Hauptkategorie: Unternehmenskultur, Struktur und Umfeld	69
Tabelle 32: Hauptkategorie: Mitarbeiter und Team	69
Tabelle 33: Hauptkategorie: Kunde und Anwender	70
Tabelle 34: Risiko als Fragestellung in der Hauptkategorie-Prozessebene	72
Tabelle 35: Risiko als Fragestellung in der Hauptkategorie Produktebene	74
Tabelle 36: Risiko als Fragestellung in der Hauptkategorie Unternehmenskultur, Struktur und Umfeld	77
Tabelle 37: Risiko als Fragestellung in der Hauptkategorie Mitarbeiter und Team	80
Tabelle 38: Risiko als Fragestellung in der Hauptkategorie Kunde und Anwender	81
Tabelle 39: Abgrenzung der Begrifflichkeiten zum Experteninterview	96
Tabelle 40: Standardeinstellung	152
Tabelle 41: Werkzeuge/Mgmt. Ansätze	153
Tabelle 42: Benutzerinformation & Interpretierbarkeit/Test	154
Tabelle 43: Interoperabilität/Reuse sowie Ressourcenverbrauch	156
Tabelle 44: Gegenüberstellung zwischen RMMs/Erfolgsfaktoren auf Basis der erarbeiteten Theorien und Experteninterviews (der Index dient zum Nachschlagen der vorliegenden Arbeit im Theorieteil)	162
Tabelle 45: Einflussgrößen und Wirkungsgrößen und die gerichteten Hypothesen	163

Tabelle 46: Zuordnung von Items der Onlineumfrage zu den Einflussfaktoren/unabhängige Variablen	174
Tabelle 47: Zuordnung von Items der Onlineumfrage zu den Wirkungsgrößen/abhängige Variablen	175
Tabelle 48: Zuordnung der Einflussvariablen zu den Komponenten und die dazugehörigen Kategorien	202
Tabelle 49: Zuordnung der Wirkungsvariablen zu den Komponenten und die dazugehörigen Kategorien	202
Tabelle 50: Diskussion und Interpretation der Ergebnisse in der ökologischen Kategorie ...	225
Tabelle 51: Diskussion und Interpretation der Ergebnisse in der sozialen Kategorie	226
Tabelle 52: Diskussion und Interpretation der Ergebnisse in der ökonomischen Kategorie.	227
Tabelle 53: Fragebogen zur Prognose des nachhaltigen Erfolges.....	233