

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
School of Management and Law

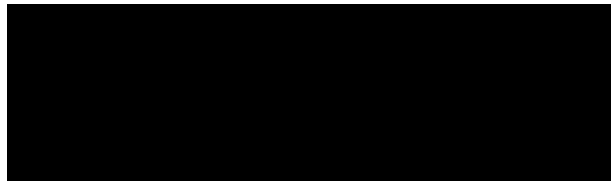
Bachelor of Science in Business Administration
Studienrichtung General Management

Bachelorarbeit

Wertgenerierung mit digitalen Zwillingen / Status Quo Schweiz

vorgelegt von

Nikola Savic



eingereicht bei

Linard Barth

Winterthur, 09. Juni 2021

Danksagung

Ich möchte diese Gelegenheit nutzen und mich bei allen Personen bedanken, die mich bei dieser Bachelorarbeit unterstützt haben. Mein hauptsächlichster Dank geht an meinem Betreuer Herrn Linard Barth, der mich während der ganzen Bearbeitungszeit tatkräftig unterstützt hat, insbesondere bei der Fragebogenkonstruktion und der Datenerhebung/Auswertung. Ein weiteres Dankeschön möchte ich an Herrn Ehrat richten, der sich auch Zeit genommen hat, um seine Verbesserungsvorschläge bezüglich des Fragebogens einzubringen. Letztlich möchte ich mich an alle teilnehmenden Unternehmen der Online-Umfrage bedanken, denn diese haben durch ihre Auskunftsbereitschaft meine Bachelorarbeit wesentlich mitgeprägt.

Gender Erklärung

Die Sprache in geschlechtsneutraler Form leistet einen bedeutsamen Beitrag zur Gleichstellung eines jeden Geschlechts. Um eine bessere Lesbarkeit zu gewährleisten, wird jedoch in der vorliegenden Bachelorarbeit das generische Maskulinum angewendet. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass diese Formulierung jegliche Geschlechter stets einschließt und neutral aufzufassen ist.

Management Summary

Von seinen frühen Anfängen in den 1960er Jahren während der Apollo-Mission bis hin zum Konzept von Grieves zählt der digitale Zwilling als ein Schlüsselkonzept des Industrial Internet of Things (IIoT) und gewinnt weltweit immer mehr an Ansehen. Nicht zuletzt dank seiner Optimierungsvorschlägen und seiner Unterstützung zur Entscheidungsfindung hat er in vielen Industrieunternehmen längst Einzug gehalten. Darüber, wie die aktuelle Lage in der Schweiz und in den Unternehmen hierzulande aussieht, ist nur wenig bekannt.

Deshalb soll in der vorliegenden Bachelorarbeit untersucht werden, wie verbreitet der Einsatz von digitalen Zwillingen in Unternehmen in der Schweiz derzeit ist und wie die Situation in denjenigen Firmen aussehen wird, die planen, in Zukunft digitale Zwillinge zu implementieren. Weiter wird der Frage nachgegangen, ob signifikante Zusammenhänge zwischen dem Einsatz von digitalen Zwillingen in Unternehmen und der Unternehmensgrösse, dem Unternehmensalter oder der Branchenzugehörigkeit existieren. Ebenfalls soll aufgezeigt werden, in welchen Phasen des Produktlebenszyklus digitale Zwillinge eingesetzt werden und was die Gründe für die Realisierung von Digital Twins sind. Bei den Unternehmen, welche derzeit keine digitalen Zwillinge einsetzen und dies auch zukünftig nicht beabsichtigen zu tun, stellt sich die Frage nach den Beweggründen für das mangelnde Interesse an der Implementierung.

Die Forschungsfragen samt den zugehörigen Unterfragen werden anhand einer Literaturrecherche sowie einer empirischen Untersuchung beantwortet. Mittels einer Online-Umfrage wurden insgesamt 103 Unternehmen in der Schweiz befragt, wovon 99 gültig waren. Die Datenauswertung erfolgte mehrheitlich mithilfe der deskriptiven Statistik, jedoch wurde ebenfalls die Inferenzstatistik herangezogen, um mögliche Zusammenhänge zwischen den untersuchten Variablen zu eruieren.

Die Ergebnisse der Umfrage zeigen, dass rund 22% der Befragten bereits digitale Zwillinge in ihrem Unternehmen einsetzen. Weitere 25% planen, diese zukünftig zu implementieren und 53% beabsichtigen, dies auch in ferner Zukunft nicht zu tun. Weder bei der Unternehmensgrösse noch beim Unternehmensalter konnte ein Zusammenhang mit dem Einsatz von digitalen Zwillingen in Unternehmen festgestellt werden. Anders sieht es bei der Branchenzugehörigkeit aus, so werden digitale Zwillinge in der Nahrungsmittelbranche seltener eingesetzt als im Maschinen- und Anlagenbau. Bei den

befragten Unternehmen werden digitale Zwillinge am häufigsten in der ersten Phase des Produktlebenszyklus eingesetzt, der Beginning-of-Life (BoL)-Phase mit dem generellen Ziel einer Effizienzsteigerung. Der häufigste Beweggrund für eine Nichtimplementierung ist das nicht passende Geschäftsmodell.

Grundsätzlich kann den Ergebnissen zufolge von einem Anstieg in Bezug auf den Einsatz von digitalen Zwillingen die Rede sein. Allerdings ist die Repräsentativität aufgrund der zu kleinen Stichprobe nicht gegeben, weshalb die Resultate mit Vorsicht betrachtet werden müssen. Als weiterer Forschungsansatz wäre demnach denkbar, eine zusätzliche repräsentative Studie durchzuführen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
1 Einleitung.....	1
1.1 Ausgangslage und Problemstellung	1
1.2 Forschungslücke	2
1.3 Forschungsfragen und Zielsetzung	2
1.4 Abgrenzung.....	3
1.5 Relevanz der Arbeit	3
1.6 Aufbau und Methodik der Arbeit.....	4
2 Theoretischer Rahmen	5
2.1 Der digitale Zwilling.....	5
2.1.1 Begriffsdefinition	5
2.1.2 Das Konzept der digitalen Zwillinge und seine Begrifflichkeiten.....	6
2.1.3 Nutzen digitaler Zwillinge im Produktlebenszyklus.....	9
2.1.4 Herausforderungen.....	10
2.2 Forschungsstand und Forschungsmodell	11
2.2.1 Stand der Forschung.....	11
2.2.2 Forschungsmodell DTCTF	12
3 Empirischer Teil.....	14
3.1 Forschungsgegenstand und Methodik	14
3.1.1 Methodenauswahl	15
3.1.2 Gestaltung und Aufbau des Fragebogens.....	16

3.1.3	Fragenauswahl und Messniveau	17
3.1.4	Pretest	18
3.1.5	Stichprobenauswahl und Datenerhebung	19
3.1.6	Datenaufbereitung und Auswertung	20
3.2	Darstellung der Ergebnisse	21
3.2.1	Statistisches Auswertungsverfahren	22
3.2.2	Beschreibung der Stichprobe	23
3.2.3	Einführungsfragen an alle Teilnehmenden	26
3.2.4	Fragen an Teilnehmende, die digitale Zwillinge bereits einsetzen..	28
3.2.5	Fragen an Teilnehmende, die digitale Zwillinge zurzeit nicht einsetzen aber dies beabsichtigen zu tun.....	38
3.2.6	Fragen an Teilnehmende, die digitale Zwillinge zurzeit nicht einsetzen und dies auch zukünftig nicht beabsichtigen zu tun	49
3.2.7	Deskriptive Vergleiche und Zusammenhänge (Inferenzstatistik)....	52
4	Diskussion der Ergebnisse.....	57
4.1	Interpretation der Ergebnisse und Diskussion	57
4.2	Beantwortung der Forschungsfragen und Unterfragen.....	60
4.3	Kritische Würdigung.....	63
4.4	Fazit und Ausblick	65
	Literaturverzeichnis.....	VIII
	Anhang	XII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Digitales Zwillingskonzept (Grieves, 2015)	8
Abbildung 2: Produktlebenszyklus für (Eigene Darstellung)	10
Abbildung 3: Digital Twin Conceptual Framework (Barth & Ehrat, 2020)	14
Abbildung 4: Branchenverteilung (n=99)	24
Abbildung 5: Unternehmensgrößen (n=99)	25
Abbildung 6: Unternehmensalter (n=99).....	26
Abbildung 7: Vorwissen (n=99).....	27
Abbildung 8: Aktueller Einsatzstatus (n=99).....	27
Abbildung 9: Treemap Gruppe A, n=22 (Eigene Darstellung)	28
Abbildung 10: Verantwortlichkeit (n=22).....	29
Abbildung 11: Produktlebenszyklusphasen (n=22).....	30
Abbildung 12: Verteilung Produktlebenszyklusphasen (n=22)	30
Abbildung 13: Prozessschritte BoL (n=18).....	31
Abbildung 14: Prozessschritte in MoL (n=15).....	32
Abbildung 15: Prozessschritte in EoL (n=1)	32
Abbildung 16: Weitere Produktlebenszyklusphasen (n=22).....	36
Abbildung 17: Verteilung Produktlebenszyklusphasen in 5 Jahren (n=22).....	36
Abbildung 18: Beweggründe Einsatz digitale Zwillinge (n=22)	37
Abbildung 19: Zufriedenheit (n=22)	38
Abbildung 20: Treemap Gruppe B, n=25 (Eigene Darstellung)	39
Abbildung 21: Verantwortlichkeit (n=25).....	40
Abbildung 22: Zeithorizont (n=25)	41
Abbildung 23: Projektstatus (n=25)	41
Abbildung 24: Voraussichtliche Produktlebenszyklusphasen (n=25).....	42
Abbildung 25: Verteilung Produktlebenszyklusphasen (n=25)	42
Abbildung 26: Prozessschritte BoL (n=20).....	43
Abbildung 27: Prozessschritte MoL (n=13)	44
Abbildung 28: Prozessschritte EoL (n=6)	44
Abbildung 29: Beweggründe für den geplanten Einsatz (n=25).....	47
Abbildung 30: Beeinträchtigung durch Covid-19 (n=25)	48
Abbildung 31: Aktuelle Beeinträchtigung (n=8).....	49
Abbildung 32: Treemap Gruppe C, n=52 (Eigene Darstellung)	50
Abbildung 33: Gründe gegen Einsatz digitale Zwillinge (n=52).....	51
Abbildung 34: Meinungsänderung (n=52)	51
Abbildung 35: Weiterverfolgung des Themas (n=52).....	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufbau Fragebogen (Eigene Darstellung).....	16
Tabelle 2: Jobtitel (n=99)	25
Tabelle 3: Aktuelle Wertgenerierung BoL	33
Tabelle 4: Aktuelle Wertgenerierung MoL	34
Tabelle 5: Aktuelle Wertgenerierung EoL	35
Tabelle 6: Erhoffte Wertgenerierung BoL.....	45
Tabelle 7: Erhoffte Wertgenerierung MoL.....	46
Tabelle 8: Erhoffte Wertgenerierung EoL.....	47
Tabelle 9: Häufigkeit der Beweggründe von Gruppe A und Gruppe B	53
Tabelle 10: Mittelwert Wertgenerierung BoL Gruppe A und B	53
Tabelle 11: Mittelwert Wertgenerierung MoL Gruppe A und B.....	54
Tabelle 12: Mittelwert Wertgenerierung EoL Gruppe A und B.....	54

Abkürzungsverzeichnis

BoL	Beginning-of-Life Phase
DTCF	Digital Twin Conceptual Framework
EoL	End-of-Life Phase
Hrsg.	Herausgeber
MoL	Middle-of-Life Phase
NASA	National Aeronautics and Space Administration
(n)	Stichprobengrösse
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences

1 Einleitung

In diesem einleitenden Kapitel werden die Ausgangslage und die zugrundeliegende Problemstellung dieser Bachelorarbeit erläutert. Ausgehend davon werden die Forschungsfragen einschliesslich den Unterfragen definiert. Ebenso wird in diesem Kapitel die Forschungslücke und die Relevanz des Themas behandelt. Weiter werden Aufbau und Methodik dieser Arbeit aufgezeigt.

1.1 Ausgangslage und Problemstellung

Seit einiger Zeit verändern sogenannte Metatrends die Gesellschaft. Mit der globalen Erderwärmung, dem demografischen Wandel, der Veränderungen in der Mobilität und neuerdings die Covid-19-Pandemie kommen zurzeit mehrere disruptive Herausforderungen zusammen. Darüber hinaus sorgt ein weiterer Megatrend, die Digitalisierung, ebenfalls für fundamentale Veränderungen und muss gleichzeitig gesteuert und gemanagt werden. Doch neben den erheblichen Herausforderungen bietet die Digitalisierung aber auch grosse Chancen, etwa durch das Konzept der Digital Twins (DB Systel, 2020, S. 4). Bei digitalen Zwillingen, wie sie auch auf Deutsch genannt werden, handelt es sich laut dem Gabler Wirtschaftslexikon um die virtuelle Repräsentation eines physischen Objekts. Diese Koppelung der virtuellen und realen Welten ermöglicht die Analyse von Daten, welche beispielsweise zur Problemlösung für die Vermeidung von Ausfallzeiten sowie für Zukunftsplanung genutzt werden können (Grösser, 2021). Gartner, das weltweit führende Forschungs- und Beratungsunternehmen, prognostiziert, dass bis 2021 die Hälfte der grossen Industrieunternehmen digitale Zwillinge einsetzen und folglich eine Steigerung ihrer Unternehmenseffektivität von rund 10% verzeichnen werden (Penfold, 2020). Aufgrund der vorteilhaften Auswirkungen ziehen digitale Zwillinge die Aufmerksamkeit von Wissenschaft und Industrie auf der ganzen Welt auf sich (Singh et al., 2018, S. 2). Über die aktuelle Situation in Unternehmen in der Schweiz ist hierzulande jedoch wenig vorzufinden. Im Jahr 2020 hat die Fachstelle für Produktmanagement des Instituts für Marketing Management der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) das Rahmenmodell Digital Twin Conceptual Framework (DTCF) für die Wertgenerierung mit digitalen Zwillingen entworfen, welches als Basis dieser Forschungsarbeit dient (Barth & Ehrat, 2020).

1.2 Forschungslücke

Wie bei der Problemstellung erwähnt, ist über die aktuelle Situation von digitalen Zwillingen in der Schweiz wenig vorzufinden. Wie hoch die Anzahl von Unternehmen hierzulande ist, die diese bereits einsetzen und in welchen Phasen des Produktlebenszyklus dies am häufigsten geschieht, ist weiterhin unklar. Wie diese Unternehmen damit Wert generieren und in welchen Prozessschritten, ist noch ungeklärt. Weiter ist nicht geklärt, in welchen Branchen digitale Zwillinge hier in der Schweiz am häufigsten eingesetzt werden und ob die Grösse oder das Alter des Unternehmens eine Rolle in Bezug auf den Einsatz von digitalen Zwillingen spielt.

1.3 Forschungsfragen und Zielsetzung

Basierend auf der Ausgangslage, der geschilderten Problemstellung und der Forschungslücke geht die vorliegende Arbeit den folgenden drei Forschungsfragen samt vier Unterfragen nach:

1. Wie viele der befragten Unternehmen in der Schweiz setzen bereits digitale Zwillinge ein (Gruppe A)? Wie viele der befragten Unternehmen planen mit welchen Zeithorizonten digitale Zwillinge zukünftig einzuführen (Gruppe B)? Wie viele der befragten Unternehmen setzten zurzeit keine digitalen Zwillinge ein und beabsichtigen dies auch zukünftig nicht zu tun (Gruppe C)?
2. Wie hoch ist der Anteil der befragten Unternehmen, die digitale Zwillinge in den Phasen BoL, MoL und EoL zurzeit einsetzen (Gruppe A) bzw. beabsichtigen zukünftig einzusetzen (Gruppe B)?
 - a. Wie viele der befragten Unternehmen setzen zurzeit digitale Zwillinge in der Phase BoL ein für Kunden- & Marktanalyse, Produktplanung, Produktentwicklung, Produktion, Marketing & Sales und Distribution & Inbetriebnahme (Gruppe A)?
 - b. Wie viele der befragten Unternehmen setzen zurzeit digitale Zwillinge in der Phase MoL ein für Schulung, Leistungsoptimierung, Service & Wartung und Upgrades & Updates (Gruppe A)?
 - c. Wie viele der befragten Unternehmen setzen zurzeit digitale Zwillinge in der Phase EoL ein für Weiterverkauf, Rückkauf und Verwertung (Gruppe A)?

- d. Was sind die Gründe für den Einsatz von digitalen Zwillingen (Gruppe A&B)?
3. Existieren Zusammenhänge zwischen dem Einsatz von digitalen Zwillingen in Unternehmen und dem Unternehmensalter, der Unternehmensgrösse oder der Branche?

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist die Durchführung einer quantitativen Umfrage bei Unternehmen in der Schweiz zum Thema digitale Zwillinge. Im Fokus steht dabei der Status Quo und die interne Wertgenerierung durch den Einsatz von digitalen Zwillingen. Mithilfe der Umfrage soll eruiert werden, wie viele der befragten Unternehmen in der Schweiz bereits digitale Zwillinge einsetzen bzw. beabsichtigen dies zu tun und mit welchem Zeithorizont. Ein weiterer Aspekt ist es zu untersuchen, in welchen der drei Phasen des Lebenszyklus (BoL, MoL und EoL) die Implementierung von digitalen Zwillingen geschieht resp. geschehen wird und was die Gründe für den internen Einsatz in den Unternehmen sind. Schliesslich wird noch eruiert, ob Zusammenhänge zwischen bestimmten Merkmalen existieren.

1.4 Abgrenzung

Als Basis dieser Abschlussarbeit dient das DTCT Framework. Dieses Referenzmodell setzt sich aus drei Dimensionen zusammen, nämlich der externen Wertgenerierung, der internen Wertgenerierung und der Datenressource. Diese Arbeit fokussiert sich ausschliesslich auf die interne Wertgenerierung und dies auf Ebene des Lebenszyklus. Somit werden die anderen zwei internen Ebenen des DTCT, nämlich die Value Creation Hierarchy und Generation Time nicht thematisiert. Schliesslich wird auch auf die Untersuchung von digitalen Zwillingen des Menschen verzichtet.

1.5 Relevanz der Arbeit

Dass diese Bachelorarbeit eine Relevanz mit sich bringt, zeigt sowohl der Hype-Zyklus nach Gartner als auch das Marktpotenzial. Der Hype Cycle for Emerging Technologies akzentuiert Technologien, die in den nächsten fünf bis zehn Jahren Wirtschaft, Gesellschaft und Menschen entscheidend beeinflussen werden (Panetta, 2020). Teil davon sind auch die digitalen Zwillinge, so prognostiziert Gartner, dass in diesem Jahr die Hälfte aller Industrieunternehmen diese einsetzen werden (Penfold, 2020). Die

Bedeutung von “Digital Twins” für die Zukunft ist weithin anerkannt und daher wird der Ansatz sowohl von der Wissenschaft als auch von der Industrie vermehrt betont, was durch die zunehmenden Veröffentlichungen und Patente zu digitalen Zwillingen in den letzten Jahren belegt wird. Weiter wird geschätzt, dass der Markt für den digitalen Zwilling voraussichtlich von 3.8 Mrd. USD im Jahr 2019 auf 35.8 Mrd. USD im Jahr 2025 steigen wird, was einer durchschnittlich jährlichen Wachstumsrate von 37.8% entspricht (Barth, Ehrat, Fuchs & Haarmann, 2020, S. 14).

1.6 Aufbau und Methodik der Arbeit

Zu Beginn dieser Arbeit schafft der theoretische Rahmen ein Verständnis für die Themengebiete digitale Zwillinge, den Forschungsstand und das Rahmenmodell DTCTF. Um die Forschungsfragen vertieft behandeln zu können und abschliessend zu beantworten, wurde eine quantitative Umfrage mittels eines Online-Fragebogens bei Unternehmen in der Schweiz durchgeführt. Nach dem einleitenden Kapitel, gefolgt von der Theorie wird der empirische Teil im dritten Kapitel näher erläutert. Im vierten Kapitel werden die Ergebnisse aus der empirischen Erhebung zusammengefasst und die drei Forschungsfragen einschliesslich der Unterfragen beantwortet. Auf dieser Grundlage wird ein Fazit gezogen und weiterführende Forschungsempfehlungen werden abgeleitet.

2 Theoretischer Rahmen

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Wertgenerierung durch digitale Zwillinge in Unternehmen in der Schweiz und der Status Quo untersucht. Unterstützung liefern dafür das Forschungsmodell DTCF und der Produktlebenszyklus. Zu diesem Zweck liegen die theoretischen Schwerpunkte auf den Themen des digitalen Zwillings, dem Forschungsstand sowie dem Forschungsmodell. Am Ende dieser Arbeit werden die theoretischen Grundlagen genutzt, um mit den Ergebnissen der empirischen Untersuchung die drei Forschungsfragen samt den zugehörigen Unterfragen zu beantworten.

2.1 Der digitale Zwilling

In den kommenden Abschnitten wird zuerst die Begriffsdefinition des digitalen Zwillings vorgenommen, gefolgt von den wesentlichen Einschnitten des Konzepts und den wichtigsten Begrifflichkeiten. Anschliessend wird der Nutzen des digitalen Zwillings im Produktlebenszyklus aufgezeigt, bevor auf die Herausforderungen eingegangen wird.

2.1.1 Begriffsdefinition

Obwohl das Konzept des digitalen Zwillings als relativ jung angesehen werden kann, wurden bereits eine Vielzahl von Definitionen für diesen Begriff in den vergangenen Jahren veröffentlicht (Barth et al., 2020, S. 14). Jedoch sind diese Definitionen oft auf Branchen beschränkt, so sind sie unvollständig, missverständlich oder mehrdeutig, und es ist bis mithin keine allgemein anerkannte Bezeichnung hervorgegangen (Massonet, Kiesel & Schmitt, 2020, S. 97).

Eine erste Definition des digitalen Zwillings wurde der breiten Öffentlichkeit durch die Nationale Aeronautik- und Raumfahrtbehörde (NASA) vorgestellt. Dies geschah im Rahmen der Technology Area 11 im Jahre 2010. NASA beschrieb den digitalen Zwilling damals wie folgt (Rosen, von Wichert, Lo & Bettenhausen, 2015, S. 568): “Ein Digitaler Zwilling ist eine integrierte Multiphysik- und Multiskalensimulation eines Fahrzeugs oder Systems, das die besten verfügbaren physikalischen Modelle, Sensor-Updates, Flottenhistorie usw. verwendet, um das Leben seines entsprechenden fliegenden Zwillings widerzuspiegeln.” Dabei bezieht sich diese Begriffsdefinition der NASA auf eine spezifische Einsatzvorstellung, was es notwendig macht, im Hinblick auf eine gesamtheitliche Betrachtung eine verallgemeinerte Beschreibung zu finden. Das

Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB), eine bekannte deutsche Forschungseinrichtung, versteht unter dem Begriff „Digitaler Zwilling“ ein Abbild des physischen Objekts in der realen Fabrik und erlaubt dessen Simulation, Steuerung und Verbesserung. Die Definition des Fraunhofer IOSB basiert rein auf die Modellierung physischer Objekte mithilfe von digitalen Werkzeugen, ohne Betrachtung des Lebenszyklus des physischen Objekts (Fraunhofer IOSB, 2021). Hingegen sieht International Business Machines Corporation (IBM), ein weltweit führendes Unternehmen für branchenspezifische Lösungen und Dienstleistungen im IT-Bereich, den digitalen Zwilling als eine reine Virtualisierung eines physischen Produkts oder Objektes – also ein Bindeglied zwischen digitaler und realer Welt, das den gesamten Lebenszyklus des physischen Produkts oder Objekts abdeckt (Hartmaier, 2018). Somit liegt je nach Fokus eine unterschiedliche Definition vor, was schlussendlich die Erarbeitung einer einheitlichen Beschreibung des Begriffs erschwert.

Dennoch können die wesentlichen Komponenten zusammengefasst werden, welche den meisten gängigen Bezeichnungen genügen. Demnach definiert der digitale Zwilling nach Klostermeier, Haag und Benlian mindestens *“das individuelle, virtuelle Abbild eines physischen Objektes, Produktes oder Prozesses, welches die vom physischen Objekt/Produkt bereitgestellten Daten intelligent für verschiedene Anwendungsfälle nutzbar macht”* (Klostermeier, Haag & Benlian, 2018, S. 257).

Um bei der durchgeführten Umfrage und später im empirischen Teil ein vergleichbares Ergebnis zu erhalten, hat sich der Autor in der hier vorliegenden Arbeit für die folgende Definition des digitalen Zwillings entschieden:

Der digitale Zwilling ist die virtuelle Darstellung eines physischen Objekts, Prozesses oder Systems während seines Lebenszyklus (BoL, MoL, EoL) unter Verwendung von Betriebsdaten und anderen Quellen, um Verständnis, Lernen, Schlussfolgern und dynamische Neu-Kalibrierung für verbesserte Entscheidungen zu ermöglichen.*

** Beginning-of-Life (BoL) / Middle-of-Life (MoL) / End-of-Life (EoL)*

2.1.2 Das Konzept der digitalen Zwillinge und seine Begrifflichkeiten

Das Konzept, Abbildungen eines zu untersuchenden Objekts zu nutzen, um Tests durchzuführen und folglich Erkenntnisse zu gewinnen, geht auf das Apollo-Programm der NASA zurück. So entwickelte die NASA in den 1960er Jahren als Vorreiter simultan

zum eigentlichen Raumfahrzeug ein zweites, identisches Raumfahrzeug, welches während der Mission auf der Erde blieb. Dieser zu jener Zeit noch nicht digital, sondern real existierende "Zwilling" wurde während der Flugvorbereitungsphase ausgiebig von Astronauten für Flugtrainings genutzt. Während sich das eine Raumfahrzeug im Weltraum befand, wurde die zweite Raumfähre, der Zwilling, zur Simulation von Alternativen verwendet, wobei die verfügbaren Flugdaten genutzt wurden, um die Flugbedingungen so realistisch und genau wie möglich wiederzugeben. Somit war es dem NASA-Team möglich, auf Basis der Daten die Astronauten während ihrer Mission von der Erde aus in kritischen Situationen stets zu unterstützen (Massonet et al., 2020, S. 97). In diesem Sinne kann jede Art von Prototyp als Zwilling bzw. Twin angesehen werden, wenn dieser zur Simulation des Echtzeitverhaltens durch Nachbildung realer Betriebsbedingungen verwendet wird (Rosen et al., 2015, S. 568).

Ein weiteres Beispiel, welches das Konzept rund um den digitalen Zwilling veranschaulicht, ist der "Iron Bird". Dabei handelt es sich um eine Art bodengestützten Flugzeugprüfstand, der in der Luft- und Raumfahrtindustrie zur Integration, Optimierung und Validierung kritischer Flugzeugsysteme eingesetzt wird. Aufgrund der zunehmenden Leistungsfähigkeit der Simulationstechnologien werden immer mehr physische Komponenten im Iron Bird durch virtuelle Modelle ersetzt. Dies ermöglicht den Einsatz des Iron-Bird-Konzepts in früheren Entwicklungszyklen, auch wenn einige physische Komponenten noch nicht verfügbar sind. Wird diese Idee über alle Phasen des Lebenszyklus erweitert, entsteht ein vollständiges, digitales Abbild des physischen Systems, auch bekannt als "Digitaler Zwilling" (Rosen et al., 2015, S. 568).

Der Vordenker des Konzepts einer virtuellen, digitalen Repräsentation eines physischen Produkts ist Michael Grieves. Im Jahr 2003 stellte Grieves an der University of Michigan während seiner Präsentation über das Thema Product Lifecycle Management (PLM) sein Konzept vor. Zu dieser Zeit, als das Konzept präsentiert wurde, waren digitale Repräsentationen von physischen Produkten relativ neu und unausgereift (Grieves, 2015, S. 1). So wurde dieses Konzept anfänglich als "Mirrored Spaces Model" bezeichnet und nicht als "Digital Twin". Es verfügte jedoch schon damals über alle Grundelemente eines digitalen Zwillings, nämlich den physischen Raum, den virtuellen Raum und die Verbindung für den Datenfluss bzw. Informationsfluss zwischen diesen beiden Räumen. Der Begriff "Digitaler Zwilling" wurde erstmals einige Jahre nach der Konzeptveröffentlichung von Grieves für diesen Zweck verwendet, wodurch sein

Digitales Zwillings-Konzept als ein erster Ansatz für den "Digital Twin" gesehen werden kann (Grieves & Vickers, 2017, S. 93).

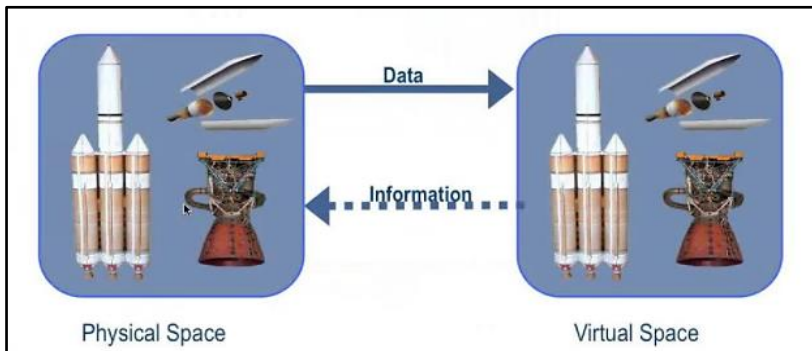


Abbildung 1: Digitales Zwillingskonzept (Grieves, 2015)

Aufgrund der Vielzahl von Definitionen des digitalen Zwillings, treten innerhalb des Konzepts verschiedene Fachbegriffe auf. Die Bezeichnungen "Digitaler Schatten" und "Digitaler Master" werden aber im Zusammenhang mit diesem Konzept öfters verwendet, weshalb eine kurze Definition der beiden Begriffe erfolgt.

Digitaler Schatten

Ein digitaler Schatten ist ein hinreichend genaues Abbild der relevanten Daten. So werden beispielsweise während der Produktion Daten aufgezeichnet, wie im Falle eines Flugdatenschreibers, um Auskunft über vergangene Ereignisse zu erlangen, den aktuellen Status abzufragen oder zukünftige Ereignisse zu prognostizieren. Der digitale Schatten ist somit für die Übertragung des realen Prozesses in die virtuelle Welt über den Lebenszyklus zuständig und kann entsprechend auch als Datenbasis des digitalen Zwillings betrachtet werden. Somit kann er als ein "Körperteil" des digitalen Zwillings angesehen werden (Schuh, Blum, Reschke & Birkmeier, 2017, S. 48).

Digitaler Master

Der digitale Master enthält alle relevanten Modelle aus der Planungsphase des betrachteten physikalischen Systems. Damit umfasst der digitale Master den eigentlichen Produktentwicklungsprozess und repräsentiert das virtuelle Ebenbild als Soll. Daher wird auch der digitale Master als Bestandteil des digitalen Zwillings angesehen (Hofmann, 2019, S. 409).

Obwohl die obigen beiden Beispiele zur Luft- und Raumfahrtindustrie gehören und es dementsprechend den Anschein haben könnte, dass digitale Zwillinge ausschliesslich in diese Industrie eingesetzt werden, nicht zuletzt wegen der Entstehungsgeschichte, ist dies

nicht der Fall. Aufgrund der zunehmenden Digitalisierung und der fortschreitenden Technologie setzten sich immer mehr Unternehmen, insbesondere im Bereich der industriellen Fertigung, in den letzten Jahren mit diesem Konzept auseinander. Dieses wachsende Interesse an dem Zwillingskonzept zeigt auch die Anzahl der Veröffentlichungen von wissenschaftlichen Abhandlungen zu diesem Thema in den letzten Jahren (Klostermeier et al., 2018, S. 256). Ausserdem wurde vor rund vier Jahren das Konzept des digitalen Zwillings im Gartner Hype Cycle of Emerging Technologies 2017 als aufstrebende Technologie aufgelistet (Panetta, 2017).

2.1.3 Nutzen digitaler Zwillinge im Produktlebenszyklus

Wie in den vorherigen Abschnitten erläutert wurde, findet der digitale Zwilling im gesamten Lebenszyklus eines Objekts, Prozesses oder seines physischen Gegenstücks Anwendung. Jede Phase des Produktlebenszyklus hat ihre eigene Reihe von Aktivitäten, welche die entsprechenden Mitarbeiter und Abteilungen miteinbeziehen und eine grosse Menge an Daten erzeugen. Entsprechend kann in den verschiedenen Lebenszyklusphasen Nutzen generiert werden, sie weisen jedoch typischerweise unterschiedliche Ziele auf (Tao et al., 2017, S. 3564). Dank der Nutzung von digitalen Zwillingen kann bereits bei der Produktplanung ein wesentlicher Beitrag zur effizienten Problemlösung geleistet werden. So ist es im Vorfeld möglich, Probleme zu erkennen und zu lösen. Hinzu kommt, dass die Kommunikation zwischen Kunden und Designern dank dem virtuellen Abbild transparenter und schneller ist, da die Daten in Echtzeit übertragen werden. Folglich kann die Verbesserung des neuen Produkts besser gesteuert werden. In der Produktentwicklungsphase erlaubt der Einsatz von digitalen Zwillingen die frühzeitige Erkennung und Behebung von Konstruktionsfehler, bevor das Produkt produziert wird. Zusätzlich wird die Prototypzeit vermindert, was wiederum eine Verkürzung der Produkteinführungszeit zur Folge hat (Tao et al., 2017, S. 3567). Ein weiterer Nutzen ist im Bereich Service und Wartung anzutreffen, denn mithilfe der Daten des virtuellen Abbildes können im Voraus Probleme sowie notwendige Reparaturen oder Wartungen von Anlagen erkannt und unternommen werden. Die prädiktive Instandhaltung (Predictive Maintenance) führt dank den digitalen Zwillingen zur Verringerung von Stillstandzeiten und zur Produktivitätssteigerung (Grieves & Vickers, 2017, S. 97). Schliesslich kann der digitale Zwilling auch in die Phase der Wiederverwertung (Recycling) für die Ersatzplanung oder zur Ermittlung von Upcycling-Möglichkeiten verwendet werden (Mittelstand Heute, 2019).

Für diese Abschlussarbeit und der empirischen Untersuchung im dritten Teil wurde der unten abgebildete Produktlebenszyklus vom Autor selbst entworfen und für die Umfrage genutzt. Dieser setzt sich aus drei Phasen zusammen, nämlich der Beginning-of-Life (BoL) Phase: Innerbetriebliche Entwicklung und Leistungserstellung, der Middle-of-Life (MoL) Phase: Nutzungsphase und schliesslich der End-of-Life (EoL) Phase: Abschluss der Nutzungsphase und Verwertung.

Im Grossen und Ganzen wird deutlich, dass der Einsatz von digitalen Zwillingen grossen Nutzen mit sich bringt. Zuvor müssen jedoch einige Herausforderungen bewältigt werden, wie der nächste Abschnitt zeigt.

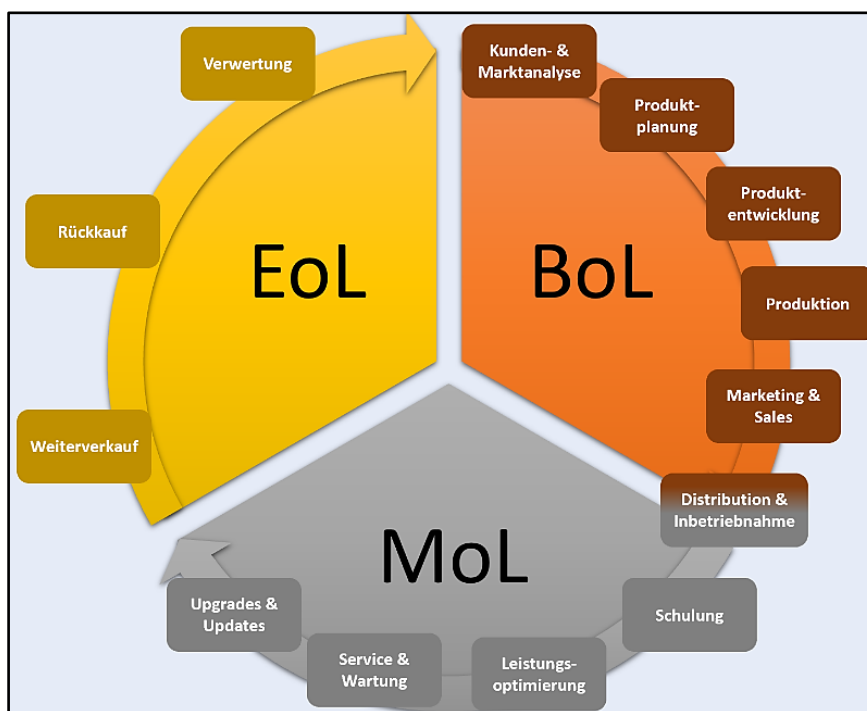


Abbildung 2: Produktlebenszyklus der Online-Umfrage (Eigene Darstellung)

2.1.4 Herausforderungen

Um einen digitalen Zwilling zu erstellen und die im vorangegangenen Abschnitt beschriebene Mehrwerte auszunutzen, müssen zahlreiche Herausforderungen bewältigt werden. In den kommenden Abschnitten werden einige dieser Herausforderungen aufgezeigt.

Eine erste Herausforderung bei der Realisierung eines digitalen Zwillings ist die Unklarheit des Konzepts. Aufgrund der Vielzahl an unterschiedlichen und missverständlichen Definitionen fehlt ein einheitliches Verständnis dafür. Auch das fehlende Know-how stellt eine weitere Hürde im Realisierungsprozess dar. Infolgedessen

sind die erforderlichen Schritte zur Implementierung des digitalen Zwillings oft unklar (Massonet et al., 2020, S. 97).

Eine weitere Schwierigkeit besteht hinsichtlich der unzureichenden IT-Infrastruktur in Unternehmen, denn um eine erfolgreiche Handhabung und Integration von digitalen Zwillingen zu ermöglichen, braucht es eine ausgefeilte IT-Struktur. So wird eine erhebliche Menge an Daten entlang des Lebenszyklus generiert, die einerseits gespeichert und andererseits verarbeitet werden muss. Für die Auswertung der Daten sind eine hohe Rechenleistung sowie komplizierte Auswerteverfahren erforderlich. Ausserdem muss sichergestellt werden, dass bei Ausfällen die technische Infrastruktur intakt bleibt und keine Beeinträchtigung der Verfügbarkeit des digitalen Zwillings vorliegt (Schnicke & Kuhn, 2020).

Schliesslich stellt die Verbindung zwischen dem physischen Produkt und dem digitalen Zwilling eine weitere Herausforderung dar. So gab es in den letzten zehn Jahren erhebliche Fortschritte bei den Fähigkeiten und Technologien sowohl bei der Datenerfassung des physischen Produkts wie auch bei der Erstellung und Darstellung des virtuellen Abbildes. Obwohl die Dateninformationen in jedem dieser Bereiche dramatisch gewachsen sind, ist die Verbindung zwischen den beiden Datenquellen nicht im gleichen Masse umfangreich. Durch den fehlenden Brückenschlag zwischen diesen beiden Bereichen ist es nicht möglich, den digitalen Zwilling als Lieferanten für sämtliche Informationen zu nutzen. Des weiteren können keine gewinnbringenden Erkenntnisse gewonnen oder Optimierungen getätigt werden (Grieves, 2015, S. 6).

2.2 Forschungsstand und Forschungsmodell

Dieser Teil des theoretischen Rahmens beschäftigt sich mit dem Forschungsstand des digitalen Zwillings. Dabei steht sowohl der Stand der Forschung in der Schweiz im Fokus als auch durchgeführte Studien von Unternehmen im Ausland. Anschliessend wird das Forschungsmodell DTCF aufgezeigt und erläutert, welches als Basis dieser Abschlussarbeit gilt.

2.2.1 Stand der Forschung

Dass das Konzept des digitalen Zwillings relativ jung ist, bestätigt auch zumal der Forschungsstand. Insbesondere in der Schweiz ist der Einsatz von digitalen Zwillingen nach wie vor eine Ausnahme, so lag der Implementierungsanteil von Digital Twins in der Baubranche vor zwei Jahren sogar unter einem Prozent (Neue Zürcher Zeitung, 2019).

Weiter ist hierzulande über die Zahl der Unternehmen, welche digitale Zwillinge entlang dem Lebenszyklus einsetzen und folglich Wert generieren, wenig vorzufinden. Bekannt ist aber, dass die Schweizer Maschinenindustrie sehr innovativ ist und sich demnach bereits mit dem Konzept auseinandergesetzt hat (Di Pane, 2021). Zudem kann ein steigendes Interesse seitens Firmen in der Schweiz festgestellt werden, denn zahlreiche Unternehmen wie die Siemens Schweiz oder Nomoko AG bieten ihre Unterstützung zur Realisierung von digitalen Zwillingen an und dies mit Erfolg. Letzteres hat sich sogar das Ziel gesetzt, einen digitalen Zwilling der Welt zu erschaffen (Nomoko, 2021). Dass unser Nachbarland Deutschland sich bisher mit dieser Thematik stärker auseinandergesetzt hat, zeigen die veröffentlichten Studien der Detecon International GmbH, der DB Systel GmbH sowie die Kooperationsstudie der .msg Group und des Fraunhofer Instituts. So wird in diesen Studien belegt, dass sich die befragten Unternehmen insbesondere Mehrwert in Bezug zur Zeitreduktion erhoffen, gefolgt von Effizienzsteigerung und Kosteneinsparung (Fraunhofer IPK, 2020, S. 59). Des Weiteren werden Digital Twins von Unternehmen als Chance angesehen (DB Systel, 2020, S. 11), allerdings ist aber auch für die Mehrheit der Teilnehmenden klar, dass das fehlende Know-how die grösste Herausforderung zur Realisierung eines digitalen Zwillings darstellt (Detecon, 2019, S. 21).

2.2.2 Forschungsmodell DTCTF

Wie im Verlauf der Arbeit ersichtlich ist, beschäftigen sich immer mehr Unternehmen mit dem Thema rund um den digitalen Zwilling. Jedoch ist die Abschätzung des resultierenden Mehrwerts und der damit verbundenen Renditeaussichten durch den Einsatz von digitalen Zwillingen häufig schwierig. Dies ist der Fall, da sowohl interne als auch externe Prozesse involviert und die Interaktion von verschiedenen Unternehmensschnittstellen notwendig sind. Um diese Herausforderung bewältigen zu können, hat die Fachstelle für Produktmanagement des Instituts für Marketing Management der ZHAW das Referenzmodell namens Digital Twin Conceptual Framework (DTCTF) entworfen. Erarbeitet wurde dieses Referenzmodell von dem Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Projekt- und Studiengangleiter am Product Management Center und zugleich Betreuer dieser Bachelorarbeit Herrn Linard Barth und dem Dozent, Projektleiter und Start-up Coach am Product Management Center Dr. Matthias Ehrat. Das Ziel dieses Referenzmodelles ist das Aufzeigen der Wertgenerierung mit digitalen Zwillingen sowie Unternehmen bei ihren Innovationsprojekten zu unterstützen. Da sich

die vorliegende Bachelorarbeit mit der Wertgenerierung durch digitale Zwillinge befasst, stellt dieses Referenzmodell die Basis dieser Arbeit dar (Barth & Ehrat, 2020).

Das DTCF setzt sich aus drei verschiedenen Dimensionen zusammen, nämlich den Datenressourcen, der externen Wertgenerierung und der internen Wertschöpfung. Wie im Abschnitt 1.4 „Abgrenzung“ erwähnt, fokussiert sich diese Arbeit ausschliesslich auf die Dimension der internen Wertgenerierung und auf die Ebene des Lebenszyklus (Barth & Ehrat, 2020).

Die interne wie auch die externe Wertschöpfung sind nur mit entsprechenden Datenressourcen möglich. Dabei kommt bei der Dimension der Datenressourcen die Frage auf, welche Daten (Data Category) aus welchen Quellen (Data Sources) bezogen werden sollen und wie gründlich diese aufbereitet und untersucht werden sollen (Data Format) (Barth & Ehrat, 2020).

Angesetzt bei Dimension der externen Wertgenerierung geht es hier um die Generierung von Mehrwerten im Markt bzw. bei den Kunden. So wollen die Unternehmen mithilfe der Leistung von digitalen Zwillingen beispielsweise ihre Umsätze erhöhen oder die Kundenzufriedenheit steigern. Dabei gliedert sich diese Dimension in drei weiteren Ebenen, nämlich dem "System Hierarchy Level" (auf welcher Hierarchieebene soll Wert entstehen?), den "Service Scope" (wo liegt der Hauptfokus der Wertgenerierung unseres Leistung) und der "Smartness Maturity" (welche Fähigkeiten müssen die digitalen Zwillinge mitbringen) (Barth & Ehrat, 2020).

Bei der internen Dimension liegt der Schwerpunkt auf die Generierung von Wert innerhalb des Unternehmens. Dabei ist es den Firmen möglich, ihre Prozesse sowohl effizienter als auch effektiver zu gestalten oder frühzeitige Entscheidungsfindungen zu treffen. Die drei Ebenen der internen Dimension sind die "Value Creation Hierarchy" (auf welcher Wertebene soll Wert entstehen), der "Lifecycle" (welche Prozesse können im Lebenszyklus verbessert werden) und die "Generation/Time" (wie können digitale Zwillinge bei einem optimalen Produkt- und Prozessgenerierungsmanagement helfen). Diese Bachelorarbeit setzt sich ausschliesslich mit der Wertgenerierung auf der Ebene des Lebenszyklus auseinander, weshalb diese Ebene kurz erläutert wird. So wird der Lebenszyklus des DTCF-Modells in drei Phasen eingeteilt, nämlich die Beginning-of-Life (BoL)-Phase, die Middle-of-Life (MoL)-Phase und die End-of-Life (EoL)-Phase. Dabei umfassen diese Phasen sämtliche Prozesse von Produktplanung bis hin zum Service und Wartung sowie der Verwertung. So sammelt der digitale Zwilling während

diesen Phasen Daten, um danach die genannten Mehrwerte erzielen zu können (Barth & Ehrat, 2020).

Die drei Achsen mit jeweils drei Ausprägungen erlauben es, in jeder der drei Dimensionen des Würfels insgesamt 27 Ansatzpunkte für Digital-Twin-Innovationen zu identifizieren, die für die Wertschöpfung mit digitalen Zwillingen in Frage kommen. Für Unternehmen besteht das Ziel jedoch nicht darin, alle 81 im konzeptionellen Rahmenmodell dargestellten Verbindungspunkte zu implementieren, sondern sinnvolle Kombinationen zu identifizieren, die mit verhältnismässig geringem Datenaufwand effizient und effektiv internen und externen Mehrwert schöpfen (Barth & Ehrat, 2020).

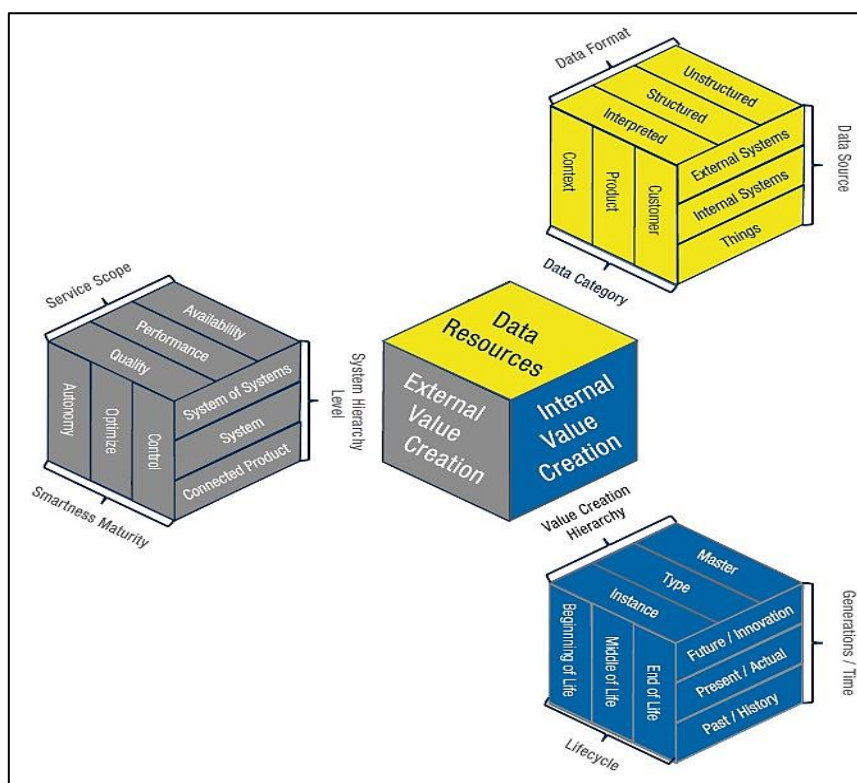


Abbildung 3: Digital Twin Conceptual Framework (Barth & Ehrat, 2020)

3 Empirischer Teil

3.1 Forschungsgegenstand und Methodik

Dieser Teil stellt das methodische Vorgehen der empirischen Untersuchung dar. Zu Beginn folgt die Begründung der Methodenwahl sowie Informationen zur Gestaltung und Aufbau des Fragebogens. Anschliessend wird die Fragensauswahl sowie das Messniveau und der Pretest erläutert. Schliesslich wird die Auswahl der Stichprobe aufgezeigt und es

werden die Datenerhebung, die Datenauswertung sowie die verwendeten statistischen Verfahren dargestellt.

Aufgrund der Tatsache, dass es sich um eine Bestandesaufnahme handelt, wurden zu diesen Fragen keine Hypothesen formuliert. Im nächsten Abschnitt wird die Methode für die quantitative Datenerhebung nämlich der Online-Befragung erläutert.

3.1.1 Methodenauswahl

In der quantitativen Forschung existieren drei Arten von Erhebungsmethoden: Beobachtung, Experiment und Befragung. Bei einer Beobachtung werden durch den Forscher oder durch eine von ihm angewiesene Person indirekt Daten erhoben. Während der Beobachtung werden Verhaltensweisen, Vorgänge oder Ereignisse in Bezug auf bestimmte Situationen dokumentiert, wobei unterschiedliche Beobachtungsformen angewendet werden können. Bei einem Experiment handelt es sich um einen kontrollierbaren, wiederholbaren Versuch, dass die Messung von Ursache-Wirkungs-Beziehung zum Zweck hat. Dabei kann das Experiment entweder unter künstlichen (Laborexperiment) oder natürlichen (Feldexperiment) Rahmenbedingungen stattfinden. Befragungen hingegen werden anhand eines fix vorgegebenen Frageschemas durchgeführt, mit dem Ziel, Erkenntnisse zu gewinnen, welche nicht oder nur schwer beobachtet werden können, wie beispielsweise Wissen oder Persönlichkeitsmerkmale. Die Befragung kann dabei in mündlicher oder schriftlicher Form erfolgen (Voss, 2017, S. 43).

Für die Beantwortung der oben genannten Forschungsfragen wurde das Erhebungsinstrument der Befragung gewählt. Die beiden anderen Forschungsmethoden Beobachtung und Experiment sind für die vorliegende Arbeit nicht geeignet. Die Befragung erfolgte in schriftlicher Form, und zwar als standardisierter Online-Fragebogen. Dieser wurde durch den Autor selbst erstellt, wobei sich das Buch "Der Fragebogen – Von der Forschungsidee zur SPSS-Auswertung" von Steiner und Benesch (2018) mit seinen unterstützenden Ratschlägen durch den gesamten Erstellungsprozess als sehr hilfreich erwiesen hat. Weiter orientierte sich der Fragebogen nebst der Theorie zu einem weiteren grossen Teil am Fachwissen der Befragten.

3.1.2 Gestaltung und Aufbau des Fragebogens

Bei der Gestaltung des Online-Fragebogens “Wertgenerierung mit digitalen Zwillingen / Status Quo Schweiz“ auf der Befragungsplattform Qualtrics wurden die Richtlinien zur Formulierung der Items berücksichtigt (Steiner & Benesch, 2018, S. 55). Demzufolge wurde auf einen verständlichen Inhalt, einen logischen Ablauf sowie auf die Abstimmung der definierten Fragen auf die Zielgruppe geachtet. Ausserdem wurden Suggestivfragen vermieden und eine angemessene Gesamtlänge des Fragebogens getroffen, um die Abbruchquote möglichst tief zu halten. Folglich gliedert sich der Fragebogen, nebst der Einleitung und Instruktion, in vier weiteren Bereichen mit insgesamt 33 Fragen sowie einem zusätzlichen Eingabefeld für die Erfassung von E-Mail-Adressen der befragten Unternehmen (vgl. Tabelle 1 und Anhang A). Letztlich ist anzumerken, dass sich der Hauptteil des Fragebogens (Bereich: 3-5) in den folgenden drei aufgeführten Gruppen aufteilen lässt:

- Gruppe A: Setzen bereits digitale Zwillinge ein
- Gruppe B: Beabsichtigen zukünftig digitale Zwillinge einzusetzen
- Gruppe C: Planen keine Implementierung von digitalen Zwillingen

Bereich	Thema	Frage
1	Einleitung und Instruktion	-
2	Einführungsfragen zum Thema digitale Zwillinge	1 - 2
3	Setzen bereits digitale Zwillinge ein	3 - 13
4	Beabsichtigen digitale Zwillinge zukünftig einzusetzen	14 - 26
5	Setzen digitale Zwillinge nicht ein und künftig nicht vorgesehen	27 - 29
6	Angaben zum Unternehmen	30 - 33
7	Eingabefeld E-Mail-Adresse	34

Tabelle 1: Aufbau Fragebogen (Eigene Darstellung)

Im ersten Teil wurden die befragten Mitarbeiter der Unternehmen, nach einer kurzen Einleitung (und zwar der Beschreibung zum Anliegen der Untersuchung und deren Ziel) gebeten, die Fragen auf Basis der vorgegebenen Definition (siehe S. 6) zu beantworten. Der Grund dafür sind die zahlreichen Ansätze zur Definition von digitalen Zwillingen, wie im theoretischen Teil thematisiert (Abschnitt 2.1.1). Mit der vorgegebenen Definition

wird sichergestellt, dass alle Teilnehmende vom gleichen Verständnis ausgehen, um schliesslich ein vergleichbares Resultat zu erhalten.

Der zweite Abschnitt der Befragung (Frage 1 und 2) startet mit zwei kurzen Einführungsfragen bezüglich digitaler Zwillinge. Die erste Frage beschäftigt sich mit dem Wissensstand der Befragten über dieses Thema, wobei die zweite Frage als eine Art Selektionsfrage angesehen werden kann. Denn durch Beantwortung dieser Frage werden die Teilnehmenden in den drei Gruppen eingeteilt (Bereich 3-5), da unterschiedliche Fragestellungen existieren (vgl. Tabelle 1).

Im dritten Teil befassen sich die Fragen 3 bis 13 nach der erfolgten Einteilung der Befragten in den drei Gruppen mit denjenigen Unternehmen, welche bereits digitale Zwillinge einsetzen (Gruppe A). Der Fokus dieser Fragen liegt insbesondere auf die Eruierung des gegenwärtigen Zustands, demnach in welchen Phasen des Produktlebenszyklus der Einsatz von digitalen Zwillingen derzeit stattfindet und welche Mehrwerte derzeit generiert werden. Hingegen beschäftigen sich die Fragen 14 bis 26 mit derjenige Gruppe von Unternehmen (Gruppe B), die zukünftig digitale Zwillinge einsetzen möchten und demnach mit den Erwartungen hinsichtlich der Frage, in welchen Produktlebenszyklusphasen die Implementierung von digitalen Zwillingen geschehen wird und was man sich von deren Einsatz erhofft. Schliesslich gehen die Fragen 27 bis 29 der Frage nach, weshalb diese Gruppe von Befragten derzeit keine digitalen Zwillinge einsetzt und dies auch zukünftig nicht beabsichtigt zu tun (Gruppe C).

Der vierte Teil des Fragebogens (Fragen 30 bis 33) ist wiederum für alle Teilnehmende identisch. Hier werden die Unternehmen gebeten, Angaben zur Branchenzugehörigkeit, Karrierelevel, Anzahl der Mitarbeitenden und Alter des Unternehmens zu machen. Die Erhebung dieser Daten geben vor allem Aufschluss bezüglich der Zusammensetzung der Stichprobe.

Abschliessend bietet sich im fünften Teil des Fragebogens (Feld 34) Interessierten die Möglichkeit, ihre E-Mail-Adresse zu hinterlegen, um über die Resultate dieser Umfrage informiert zu werden.

3.1.3 Fragenauswahl und Messniveau

Der Fragebogen bestand hauptsächlich aus geschlossenen Fragen und beinhaltete Einzel- und Mehrfachantworten, Matrixtabellen (Likert-Skala) sowie Ja-/Nein-Fragen (Dichotomie). Es wurde bewusst dieser Fragentyp gewählt, da sich die generierten Daten

leicht quantifizieren lassen und sich folglich für die quantitative Forschung am ehesten eignen (Qualtrics, 2021). Allerdings waren vereinzelt auch Mischformen zu finden, auch bekannt als halboffene Fragen. Dies sind Frageformen, welche vorgegebene Antwortkategorien haben, aber zusätzlich eine offene Kategorie enthalten (Steiner & Benesch, 2018, S. 53). So wurde beispielsweise bei der Frage 12 „Was war der Beweggrund für den Einsatz von digitalen Zwillingen in Ihrem Unternehmen?“ eine halboffene Frageform verwendet, um möglichst viele weitere, nicht aufgeführte Beweggründe erfassen zu können und dennoch den Teilnehmenden die Beantwortbarkeit mit einer Struktur zu erleichtern. Hingegen hat man sich bei den Fragen bezüglich des Einsatzes von digitalen Zwillingen im Produktlebenszyklus für den geschlossenen Fragentyp entschieden, da hier nur Antworten im Rahmen der bereits vorgegebenen Kategorien für die Untersuchung von Bedeutung waren. Bei den erhobenen Daten handelt es sich um nominal, ordinal und metrisch skalierte Variablen.

3.1.4 Pretest

Nach der Erstellung des Fragebogens wurde vor Beginn der tatsächlichen Befragung ein Pretest durchgeführt, um Qualität und Brauchbarkeit der Umfrage zu überprüfen. Insgesamt haben die folgenden fünf Personen daran teilgenommen: der Betreuer dieser Bachelorarbeit sowie sein Arbeitskollege, die das Rahmenmodell DTCF konzipiert haben, ein Masterstudent der Universität Zürich, ein ehemaliger Arbeitskollege im kaufmännischen Bereich sowie eine Kommilitonin. Letztere wurde mit dem Ansatz des „lauten Denkens“ zur Bearbeitung der Umfrage motiviert. Demnach bat man die Testperson, allfällige Verbesserungsvorschläge zu verbalisieren, welche dann in persona vom Autor niedergeschrieben und entsprechend umgesetzt wurden. Angesichts dieser unterschiedlichen Zusammensetzung von Probanden war die Berücksichtigung von verschiedenen Sichtweisen möglich. Dementsprechend konnten sowohl die Verständlichkeit der Fragen als auch fachspezifische Aspekte der Befragung überprüft werden. Ferner hat auch der Autor selbst die erste Version des Fragebogens anhand der Checkliste von Steiner und Benesch überprüft und die Aufmerksamkeit auf Faktoren wie übersichtliches Layout, Verständlichkeit der Fragen, Dauer der Bearbeitung oder die sprachlich korrekte Abstimmung auf die Zielgruppe gerichtet (Steiner & Benesch, 2018, S. 63ff.).

Dank der Rückmeldungen der Testenden konnte der Fragebogen entsprechend optimiert werden. So wurden einige Fragen um weitere Antwortkategorien ergänzt mit dem Ziel,

noch aussagekräftigere Umfrageantworten für die kommende Datenauswertung zu erhalten. Ausserdem wurde für eine bessere Verständlichkeit der Umfrage bei mehreren Fragestellungen die Satzstruktur angepasst. Letztlich erweiterte man bei den Punkten Zeithorizont, Unternehmensgrösse und Alter des Unternehmens deren Zahlenskala. Im Grossen und Ganzen hat sich jedoch der Umfang des Fragebogens nicht allzu stark verändert

3.1.5 Stichprobenauswahl und Datenerhebung

Da eines der Ziele dieser Bachelorarbeit die Eruiierung des Status Quos der Schweiz ist, wurden Unternehmen schweizweit angeschrieben. Dies geschah im aktiven Verfahren, sprich der Autor selbst hat nach Unternehmen im Internet gesucht und kontaktiert. Folglich konnte so sichergestellt werden, dass sich die Stichprobe bezüglich Branche, Unternehmensgrösse und Alter unterscheidet und vielfältig ist. Weiter haben sich die Webseiten von verschiedenen Schweizer Unternehmensverbänden als hilfreich erwiesen. Dank der dort enthaltenen Mitgliederverzeichnisse konnte eine grosse Anzahl von Unternehmen angeschrieben werden.

Die Daten wurden mittels der Befragungssoftware Qualtrics erhoben, welche den Nutzern eine umfassende Funktionspalette bietet. Der Erhebungszeitraum erstreckte sich über rund zwei Wochen, vom 07. April bis zum 22. April 2021.

Die Einladungsmail zur Teilnahme (siehe Anhang B) enthielt neben den wichtigsten Eckdaten zur Umfrage auch den Link, der die Teilnehmenden direkt zum Online-Fragebogen weiterleitete. Um eine hohe Teilnehmerquote zu gewährleisten, wurde für das Ausfüllen der Befragung ein Anreiz gesetzt. So konnten die Befragten am Ende der Umfrage ihre Kontaktadresse hinterlegen, um das Forschungsergebnis nach Abschluss der Auswertung zu erhalten.

Die Ansprache der Teilnehmenden erfolgte über drei Kanäle, nämlich durch das E-Mail, das Kontaktformular und das soziale Netzwerk LinkedIn. Letzteres erfolgte durch die Betreuungsperson dieser Abschlussarbeit daher, dass der Autor zu dieser Zeit kein LinkedIn Profil besass. Per E-Mail konnten rund 515 Firmen angeschrieben werden, wobei versucht wurde, wann immer möglich die zuständige Ansprechperson im Unternehmen direkt anzuschreiben. Nur als letzte Option wurde das Einladungsmail an die allgemeine E-Mail-Adresse des Unternehmens gesandt, dasselbe galt für das Kontaktformular.

3.1.6 Datenaufbereitung und Auswertung

Nachdem die Datenerhebung abgeschlossen war, wurde zunächst mit der Aufbereitung und dann mit der Auswertung der Datensätze begonnen. Hierfür kam die Statistiksoftware IBM SPSS Statistics 27 zum Einsatz. Die gewonnenen Daten konnten direkt vom Erhebungstool Qualtrics in das Statistikprogramm exportiert werden, was sowohl den Zeitaufwand reduzierte wie auch die Fehlerquote bei der Datenübertragung ins SPSS Programm.

Insgesamt haben 103 Personen an der Befragung teilgenommen, wobei von allen Teilnehmenden die Umfrage vollständig ausgefüllt wurde. Die Rücklaufquote des vollständig ausgefüllten Fragebogens, bezogen auf die 515 kontaktierten Unternehmen per E-Mail, betrug 20%. Die exakte Rücklaufquote lässt sich jedoch nicht bestimmen, da sich die Zahlen der anderen zwei Kanäle nicht ermitteln lassen.

Für die Datenaufbereitung war das Buch „Fake Data“ des Autors Olaf Jandura hilfreich. Der Fokus während der Datenbereinigung lag dabei auf den folgenden vier Punkten: Teilantworten, Zielgruppe, Antworttendenzen und Speeder. Aufgrund der Tatsache, dass der Fragebogen von allen Teilnehmenden bis zum Schluss ausgefüllt und die richtige Zielgruppe bereits beim Anschreiben der Unternehmen beachtet wurde, mussten diese beiden Punkte nicht weiter berücksichtigt werden. Bei der Analyse der Antworttendenzen konnte keine Unstimmigkeit festgestellt werden. Zum Schluss wurden noch die Speeder kontrolliert. Dabei handelt es sich um Befragungsteilnehmende, die den Fragebogen aus verschiedenen Gründen schnell ausfüllen, ohne auf den Inhalt der Frage zu achten. Um mögliche Speeder zu identifizieren, wurde die in der Marktforschung gängige Regel angewendet. Demzufolge wurden alle Datensätze entfernt, welche weniger als die Hälfte des Medians der Antwortzeit für die Beantwortung der Fragen benötigt haben (Jandura, 2018, S. 210ff.). Da sich der vorliegende Fragebogen jedoch in drei Gruppen unterteilt und demnach die Bearbeitungszeit aufgrund der Fragenanzahl variiert, wurde der Median je Gruppe berechnet. Damit sollten Verzerrungen vermieden werden. Folglich wurden vier Teilnehmer als Speeder identifiziert, weshalb schlussendlich die definitive Anzahl Teilnehmenden $n=99$ betrug.

Mit dieser Anzahl wurde der Prozess für die Datenauswertung weiterverfolgt. Dabei kamen die deskriptive sowie die Inferenzstatistik zur Anwendung. Im nächsten Kapitel wird das statistische Auswertungsverfahren aufgezeigt.

3.1.6.1 Anmerkungen zur Datenauswertung

Während dem Auswertungsprozess wurde entschieden, dass man die Variablen "Branche" und "Fachbereich" intelligenter gruppiert, aufgrund der hohen Anzahl an "Anderes". Ausserdem wurde während der Auswertung erkannt, dass bei der Frage 11 (In welchen weiteren Phasen des Produktlebenszyklus plant Ihr Unternehmen digitale Zwillinge in den nächsten 5 Jahren einzusetzen?) nicht spezifisch genug formuliert wurde und dementsprechend Entscheidungen getroffen wurden, die im Vorfeld so nicht gedacht waren. Nämlich haben einige Teilnehmende die gleichen Phasen wie bereits bei der Frage 4 ausgewählt. Man geht schlussendlich davon aus, dass sie diese bewusst nochmals ausgewählt haben, da man in den gleichen Phasen für weitere Prozessschritte digitale Zwillinge einsetzen möchte, um zusätzlich Wert zu generieren. Für die Codierung der Likert-Skala (4=Trifft zu, 3=Trifft eher zu, 2=Trifft eher nicht zu, 1=Trifft nicht zu, 0=Nicht beurteilbar) wurde der Codeplan des Fachbuches "Statistik – Eine verständliche Einführung" verwendet (Kuckartz, Rädiker, Ebert & Schehl, 2013, S. 15). Die detaillierten SPSS-Auswertungen befinden sich im Anhang ab Seite XII.

3.2 Darstellung der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Umfrage dargestellt. In einem ersten Schritt werden das statistische Auswertungsverfahren und die Merkmale der gesamten Stichprobe detaillierter beschrieben. Anschliessend wird die deskriptive Darstellung der Resultate für die folgenden vier Teile aufgezeigt: Als erstes erfolgen zwei Einführungsfragen, welche alle befragten Unternehmen beantwortet haben (n=99). Danach kommen die Fragen, die nur von Teilnehmenden beantwortet wurden (Gruppe A), die bereits digitale Zwillinge in ihrem Unternehmen einsetzen (n=22). Als drittes werden die Fragen aufgeführt, welche nur Unternehmen (Gruppe B) beantwortet haben, welche digitale Zwillinge derzeit nicht einsetzen, aber dies in bestimmten Zeithorizonten beabsichtigen zukünftig zu tun (n=25). Schliesslich folgen noch Fragen für die Befragten (Gruppe C), welche zurzeit keine digitalen Zwillinge einsetzen und diese auch zukünftig nicht beabsichtigen zu implementieren (n=52). In einem letzten Schritt soll einerseits mithilfe der Inferenzstatistik ein potenzieller Zusammenhang zwischen dem Einsatz von digitalen Zwillingen und den Variablen Branche, Unternehmensgrösse und Unternehmensalter aufgezeigt werden. Zudem werden noch deskriptive Vergleiche hinsichtlich der drei Gruppen dargestellt.

3.2.1 Statistisches Auswertungsverfahren

Die Auswertung der quantitativen Daten erfolgte mittels der Methode der deskriptiven (beschreibenden) Statistik. Das Ziel der deskriptiven (beschreibenden) Statistik ist es, empirische Daten durch Grafiken (Säulendiagramm, Kreisdiagramm etc.) und Tabellen übersichtlich darzustellen und zu ordnen, sowie durch sinnvolle grundlegende Kenngrößen wie bspw. Mittelwert numerisch zu beschreiben. Insbesondere bei umfangreichem Datenmaterial ist es vorteilhaft, sich anhand dieser Methode einen Überblick zu verschaffen (Steland, 2007, S. 1). In der vorliegenden Arbeit wurde vorwiegend mit grafischen und tabellarischen Darstellungen gearbeitet. Für die Auswertung der Likert-Skala wurde das numerische statistische Instrument angewendet.

Weiter wurde neben der deskriptiven Methode auch die Inferenzstatistik (beurteilende bzw. schliessende Statistik) angewendet. Die Inferenzstatistik hat zum Ziel, Zusammenhänge zwischen Variablen zu untersuchen und von den erhobenen Daten der Stichprobe Schlüsse auf eine Population zu ziehen sowie Aussagen über die Güte dieser Schlüsse treffen zu können (Schäfer, 2011, S. 12). Um etwas mit der Inferenzstatistik untersuchen zu können, müssen Hypothesen aufgestellt werden. Dabei wird zwischen der Nullhypothese (H_0) und der Alternativhypothese (H_1) unterschieden. Erstere geht davon aus, dass zwischen zwei geprüften Variablen/Daten kein Unterschied bzw. Zusammenhang besteht. Im Gegensatz dazu nimmt die zweite jedoch an, dass ein in der Stichprobe beobachteter Unterschied bzw. Zusammenhang existiert. Ergibt der statistische Test, dass die Nullhypothese (H_0) verworfen werden kann, wird von einem signifikanten Unterschied bzw. Zusammenhang gesprochen. Jedoch spielt die Stichprobengröße diesbezüglich eine entscheidende Rolle, denn mit wachsendem Stichprobenumfang steigt zugleich die Chance, ein signifikantes Resultat zu erzielen. Die Wahl des angemessenen Signifikanzniveaus, also desjenigen bei dem die Nullhypothese (H_0) verworfen werden kann, ist den Forschenden selbst überlassen (Bortz & Lienert, 1998, S. 30ff.). Als Signifikanzniveau für alle eingesetzten statistischen Tests wird in dieser Bachelorarbeit der Wert $p \leq 0.05$ verwendet. Wird demnach ein p-Wert berechnet, der grösser als dieser festgelegte Wert ist, wird somit das Signifikanzniveau verfehlt. Grundsätzlich spricht man von hochsignifikanten Ergebnissen bei $p < 0.01$. Von signifikanten Ergebnissen wird gesprochen, wenn $0.01 < p < 0.05$. Befindet sich der Wert zwischen 0.05 und 0.1, hat man es mit einem schwach signifikanten Resultat zu tun (Eckey, Kosfeld & Türck, 2005, S. 416).

Für die ersten zwei Nullhypothesen (H_0), d. h. ob ein Zusammenhang zwischen den ordinal skalierten Merkmalen, nämlich dem Unternehmensalter bzw. der Unternehmensgrösse und dem Einsatz von digitalen Zwillingen existiert, wurde mit der Rangkorrelationsanalyse von Spearman (Spearman'sches Rho) gearbeitet. Dieses Mass ist für diese Skalierung am geeignetsten (Munzert, 2015, S. 75). Für die zweite Nullhypothese (H_0), ob ein Zusammenhang zwischen der Branche der Unternehmen und dem Einsatz von digitalen Zwillingen besteht, wurde der Kruskal-Wallis Test gewählt. Dieser statistische Test kann dann als Auswertungsverfahren genutzt werden, da die Variabel ein ordinales Messniveau aufweist und mehr als zwei Gruppen vorliegen (Elliott & Hyan, 2010, S. 80).

3.2.1.1 Anmerkungen zum statistischen Auswertungsverfahren

Beim Abschnitt 3.2.7 „Zusammenhang mit Branche“ wurde die Brancheneinteilung eingeeengt, aufgrund der niedrigen Fallzahlen in diesen Gruppen (siehe Anhang F-H). Deshalb wurden einige Ausprägungen, falls $n < 10$, zu “Andere” hinzugefügt.

3.2.2 Beschreibung der Stichprobe

In diesem Abschnitt werden Grösse, Alter und Branche der Unternehmen beschrieben, in denen die befragten Mitarbeiter tätig sind. So wird zudem dargelegt, welche Funktionen die Mitarbeiter dort innehaben. Der Fragebogen wurde von insgesamt 103 Firmen vollständig ausgefüllt, jedoch mussten vier Teilnehmende von der Datenauswertung ausgeschlossen werden. Dementsprechend basieren die folgenden Darstellungen auf $n=99$.

Branchen

Angabe 1 (Frage 30): In welcher Branche ist Ihr Unternehmen tätig?

Wie in Abbildung 4 ersichtlich, sind die Mitarbeiter der befragten Unternehmen in ganz unterschiedlichen Branchen tätig. So arbeiten die meisten von ihnen (27 Personen, 28%) im Maschinen- und Anlagenbau, gefolgt von je 10 Personen (je 10%) im Nahrungsmittel- und Dienstleistungssektor. Am wenigsten wurden die Branchen "Automobil/-Zulieferer" und "Bahnen/Öffentlicher Verkehr" (je 2 Personen, je 2%) genannt. Sofern die Teilnehmenden ihre Branche nicht einer der zwölf angebotenen Kategorien zuordnen konnten, bot sich die Alternative, die passende Angabe unter "Anderes" einzutragen. Von dieser Möglichkeit haben insgesamt 8 Personen (8%) Gebrauch gemacht und 3 davon haben folgendes ergänzt:

- Luft- und Raumfahrt
- Logistik
- Pharma und Chemie

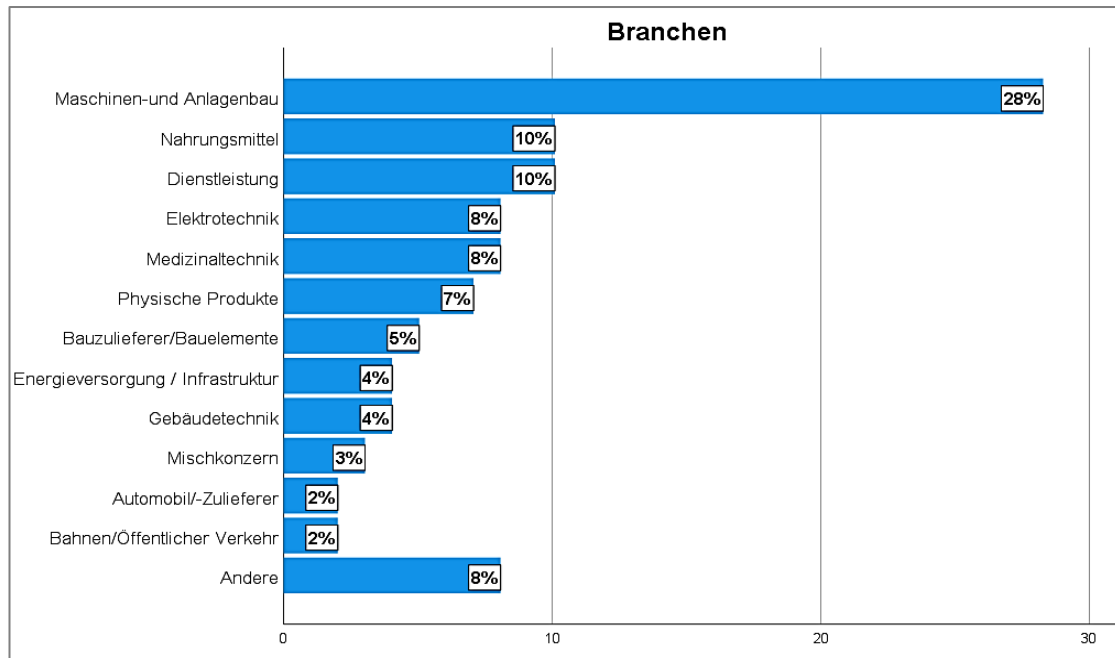


Abbildung 4: Branchenverteilung (n=99)

Funktion der befragten Personen

Angabe 2 (Frage 31): In welchem Fachbereich sind Sie tätig?

Zum Zeitpunkt der Befragung hatten 42 Personen (42%) Leitungspositionen (Management und Projektleitung) inne. 27 Personen (27%) waren im Produktentstehungsprozess (Entwicklung und Produktion) tätig, gefolgt von 16 Personen (16%) im Bereich des Marketings und des Vertriebs. 7 Personen (7%) waren im Unterstützungsbereich angestellt (IT und Services) und weitere 7 Personen (7%) hatten ohne genauere Angaben angegeben, in anderen Arbeitsgebieten zu arbeiten.

Jobtitel	Anzahl	Jobtitel	Anzahl
Management	38 (38.4%)	Marketing	4 (4.0%)
Entwicklung	19 (19.2%)	Projektleitung	4 (4.0%)
Vertrieb	12 (12.1%)	Services	2 (2.0%)
Produktion	8 (8.1%)	Andere	7 (7.1%)
Informationstechnik (IT)	5 (5.1%)		
Total			99 (100%)

Tabelle 2: Jobtitel (n=99)

Unternehmensgrößen

Angabe 3 (Frage 32): Wie viele Mitarbeitende beschäftigt Ihr Unternehmen zurzeit?

Mehr als die Hälfte der befragten Unternehmen (53 Firmen, 53%) sind Kleine und mittlere Unternehmen (KMU), welche bis 249 Mitarbeitende beschäftigen, gefolgt von 37 Unternehmen (37%), die eine Mitarbeiteranzahl zwischen 250 und 10'000 aufweisen. In 9 Unternehmen (9%) arbeiten mehr als 10'000 Angestellte.

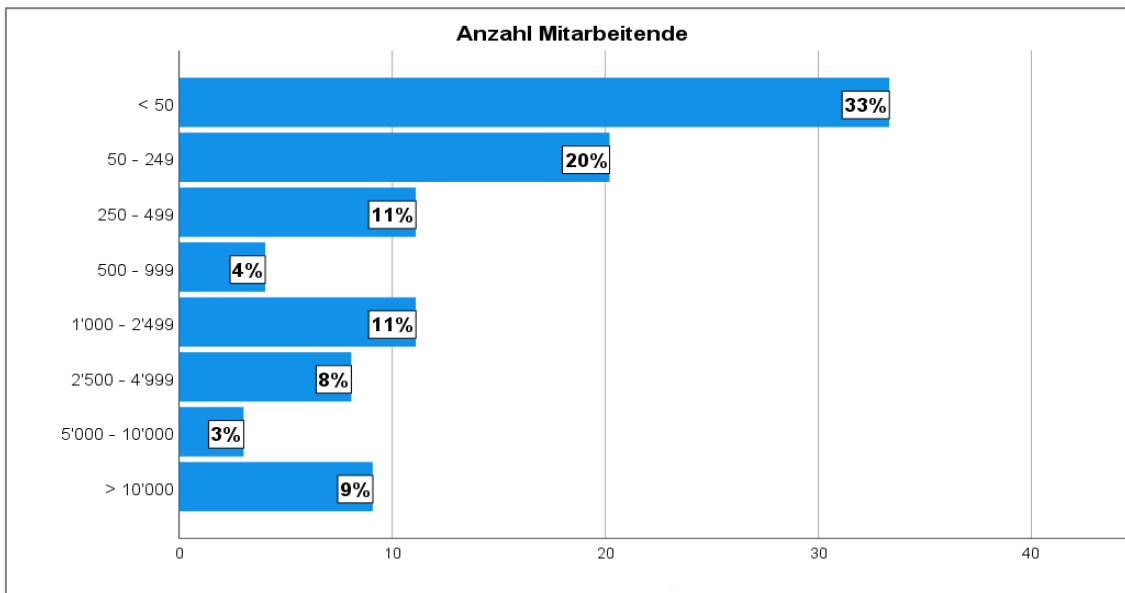


Abbildung 5: Unternehmensgrösse (n=99)

Unternehmensalter

Angabe 4 (Frage 33): Seit wie vielen Jahren existiert Ihr Unternehmen?

Wie in Abbildung 6 dargestellt, existieren weit über die Hälfte der Unternehmen (83 Unternehmen von 99, 84%) länger als 15 Jahren. 11 Unternehmen (11%) weisen eine Altersstruktur zwischen 5 und 15 Jahren auf. Unter den Befragten befinden sich aber auch junge Unternehmen, sogenannte Start-ups (5 Firmen, 5%), welche seit weniger als 5 Jahren existieren (Economiesuisse, 2020).

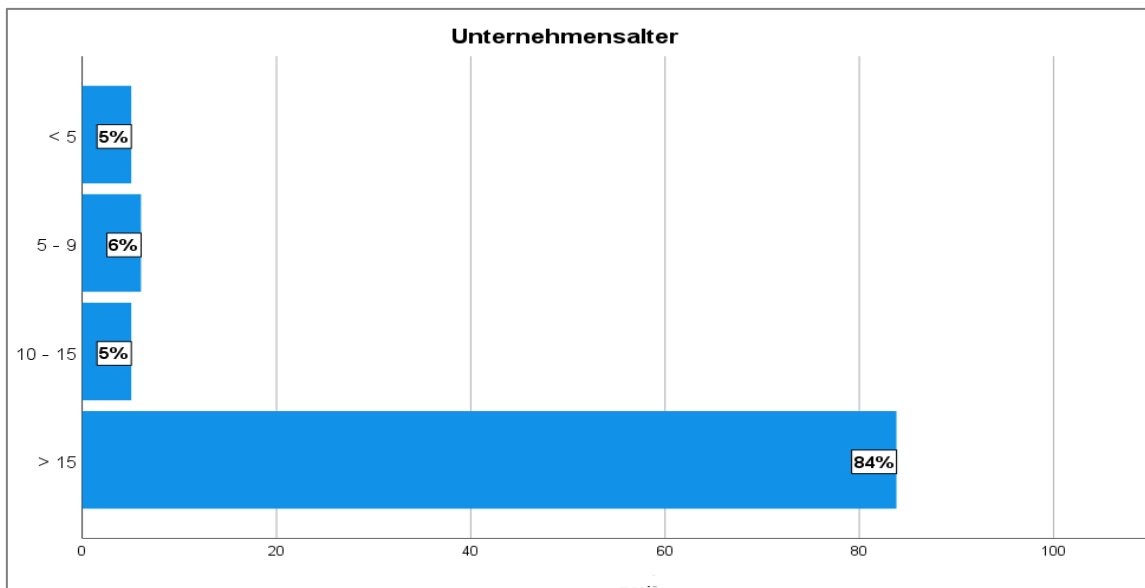


Abbildung 6: Unternehmensalter (n=99)

Zusammenfassung der Stichprobe

Es kann festgehalten werden, dass die Branchenverteilung ziemlich verschieden ist. Die Mehrheit der befragten Unternehmen ist in den Branchen Maschinen- und Anlagenbau, Nahrungsmittel und Dienstleistung tätig. Weiter arbeitet der Grossteil der Teilnehmenden in den Funktionen Management und Entwicklung. Bezogen auf die Unternehmensgrösse gehört rund die Hälfte der Unternehmen zu den KMUs und ein Neuntel der Befragten beschäftigt mehr als 10'000 Mitarbeitende. Ausserdem existieren 83 der 99 befragten Unternehmen länger als 15 Jahren.

3.2.3 Einführungsfragen an alle Teilnehmenden

Vorwissen

Frage 1: Welches Vorwissen ist in Bezug zu digitalen Zwillingen vorhanden?

Von den 99 befragten Mitarbeitern haben mehr als die Hälfte (53 Teilnehmende, 54 %) angegeben, ein niedriges Vorwissen im Hinblick auf digitale Zwillinge zu haben. 33 Personen (33%) verfügen über ein mittleres und 13 Personen (13%) über ein hohes Vorwissen.

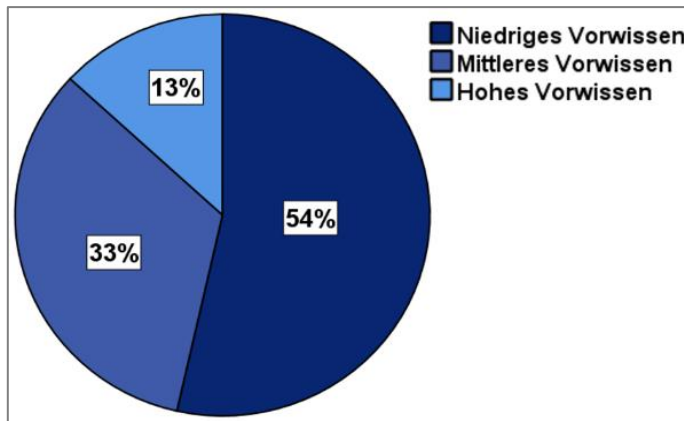


Abbildung 7: Vorwissen (n=99)

Aktueller Einsatzstatus digitale Zwillinge

Frage 2: Setzen Sie bereits digitale Zwillinge entlang dem Produktlebenszyklus in Ihrem Unternehmen ein?

Diese Einführungsfrage ist zugleich eine Selektionsfrage, denn diese unterteilt danach die Teilnehmenden in die Gruppe A, B und C. Wie in Abbildung 8 ersichtlich, haben dabei 22 Teilnehmende (22%) angegeben, dass sie bereits digitale Zwillinge in ihrem Unternehmen einsetzen (Gruppe A). 25 Personen (25%) setzten derzeit keine digitalen Zwillinge ein aber planen dies zukünftig zu tun (Gruppe B). Etwas mehr als die Hälfte der befragten Unternehmen (52 Firmen, 53%) setzten derzeit keine digitalen Zwillinge ein und beabsichtigen dies auch zukünftig nicht zu tun (Gruppe C).

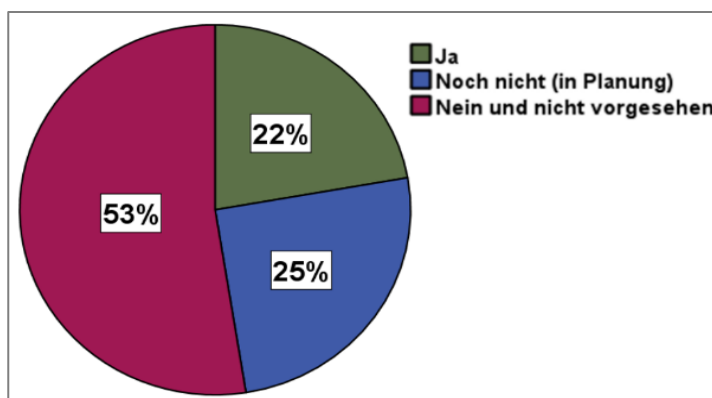


Abbildung 8: Aktueller Einsatzstatus (n=99)

3.2.4 Fragen an Teilnehmende, die digitale Zwillinge bereits einsetzen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse für die Gruppe A aufgeführt. Die Anzahl befragter Mitarbeiter für diese Gruppe beträgt n=22.

Um eine bessere Übersicht bezüglich der Stichprobe für Gruppe A zu erhalten, wurde in der untenstehenden Treemap die Anzahl der Teilnehmenden in ihren Branchen, Fachbereichen, Unternehmensgrössen und Unternehmensalter dargestellt. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass die Hälfte der Unternehmen dieser Gruppe der Branche Maschinen- und Anlagenbau angehören. Weiter sind die Teilnehmenden insbesondere im Fachbereich Entwicklung und Management tätig und knapp die Hälfte sind KMUs. Schliesslich sind weit über die Hälfte der Firmen älter als 15 Jahre.

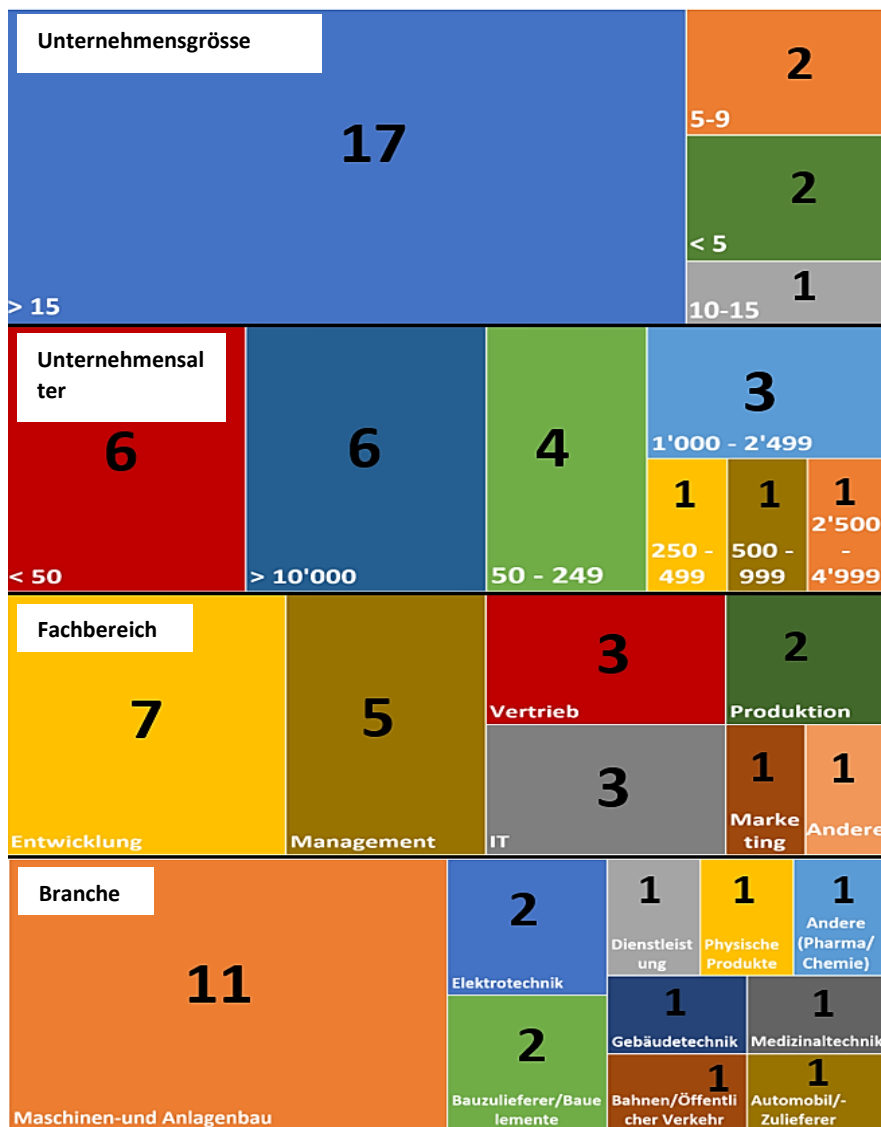


Abbildung 9: Treemap Gruppe A, n=22 (Eigene Darstellung)

Verantwortlichkeit

Frage 3: Sind Sie für die digitalen Zwillinge in Ihrem Unternehmen direkt verantwortlich oder Teil des verantwortlichen Teams?

Von den befragten Mitarbeitern, deren Unternehmen bereits digitale Zwillinge einsetzen, sind 16 Personen (73%) für die digitale Zwillinge in ihrem Unternehmen direkt verantwortlich oder Teil des verantwortlichen Teams. Für 6 Personen (27%) gehören die digitalen Zwillinge nicht zu ihrem Verantwortungsbereich.

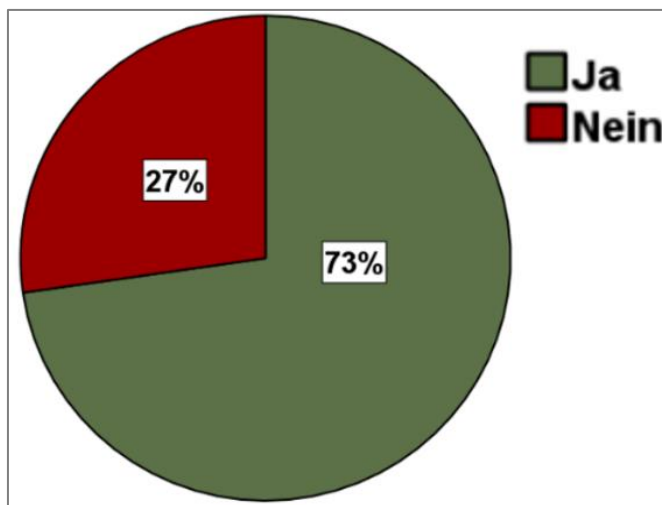


Abbildung 10: Verantwortlichkeit (n=22)

Produktlebenszyklusphasen

Frage 4: In welchen Phasen des Produktlebenszyklus werden digitale Zwillinge in Ihrem Unternehmen zurzeit eingesetzt? (Mehrfachauswahl)

Wie die untenstehende Abbildung zeigt, werden digitale Zwillinge am häufigsten in die Beginning-of-Life (BoL)-Phase eingesetzt (82%), gefolgt von der Middle-of-Life (MoL)-Phase (68%). Lediglich ein Unternehmen hat digitale Zwillinge in die End-of-Life (EoL)-Phase implementiert (5%).

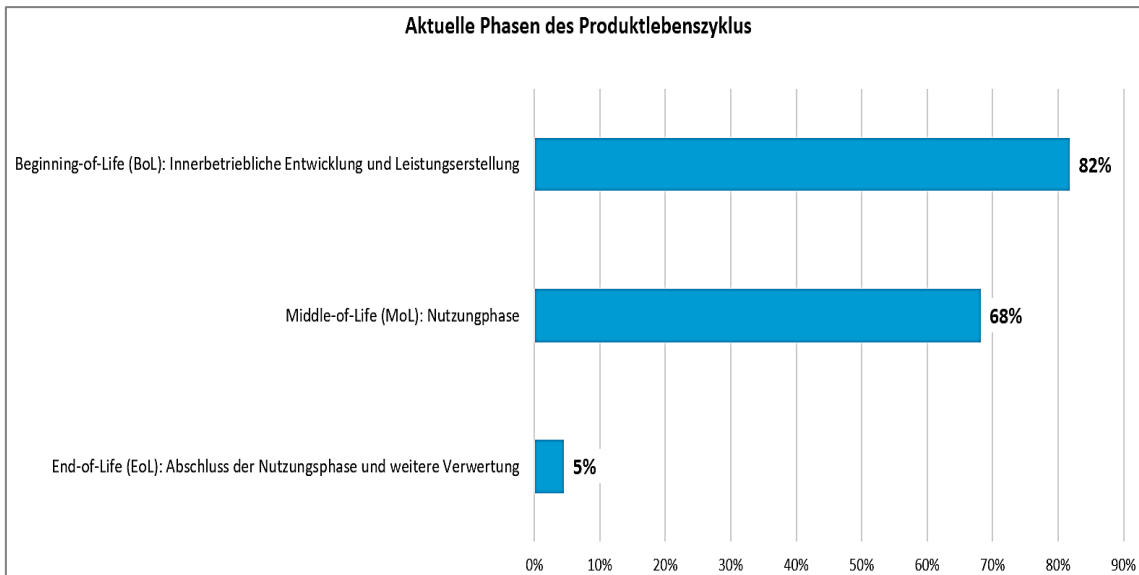


Abbildung 11: Produktlebenszyklusphasen (n=22)

In Abbildung 12 ist zudem die Verteilung der Produktlebenszyklusphasen von der vorherigen Frage ersichtlich. So setzen derzeit 7 Unternehmen (32%) digitale Zwillinge ausschliesslich in die BoL-Phase ein, weitere 4 Unternehmen (18%) nur in die MoL-Phase und 10 Unternehmen (45%) in den beiden Phasen BoL & MoL. Ein Unternehmen (5%) setzt digitale Zwillinge entlang dem gesamten Produktlebenszyklus ein.

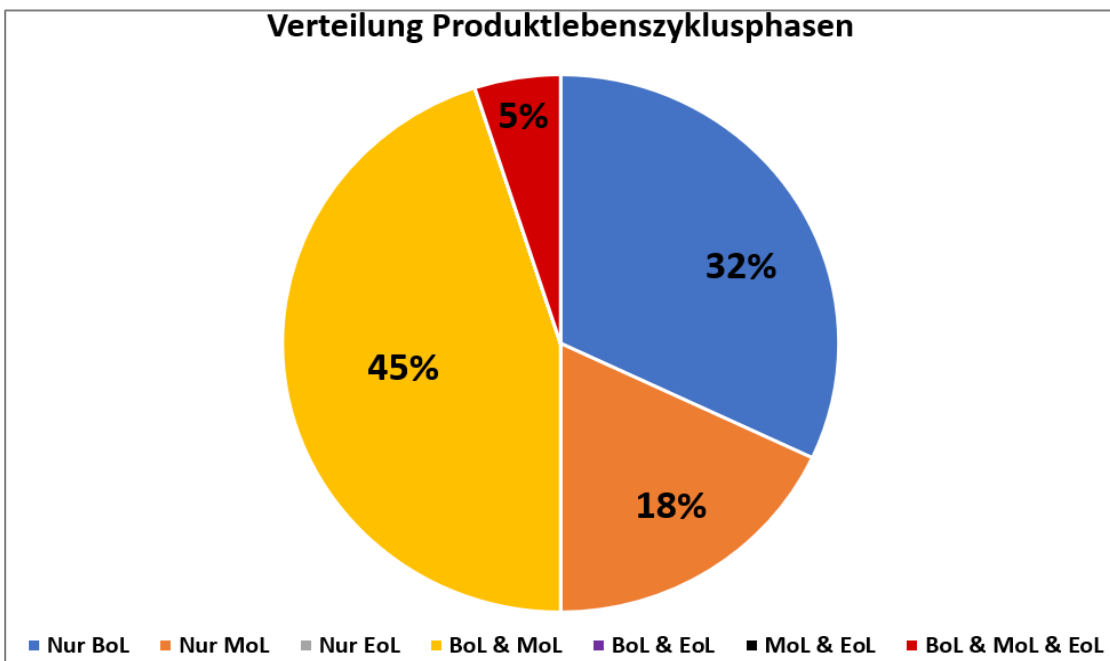


Abbildung 12: Verteilung Produktlebenszyklusphasen (n=22)

Prozessschritte in der BoL-Phase

Frage 5: Für welche Prozessschritte in Beginning-of-Life (BoL)? (Mehrfachauswahl)

Der grösste Teil der Befragten (15 von 18 Personen, 83%) gab an, dass sie digitale Zwillinge in der BoL-Phase am häufigsten für den Prozessschritt der Produktentwicklung einsetzen. Als weiteren Prozessschritt gaben 13 Personen (72%) die Produktion als Einsatzgebiet an, gefolgt von 11 Personen (61%) für die Produktplanung. Am wenigsten oft werden digitale Zwillinge für den Kunden- & Marktanalyseprozess eingesetzt (5 Personen, 28%).

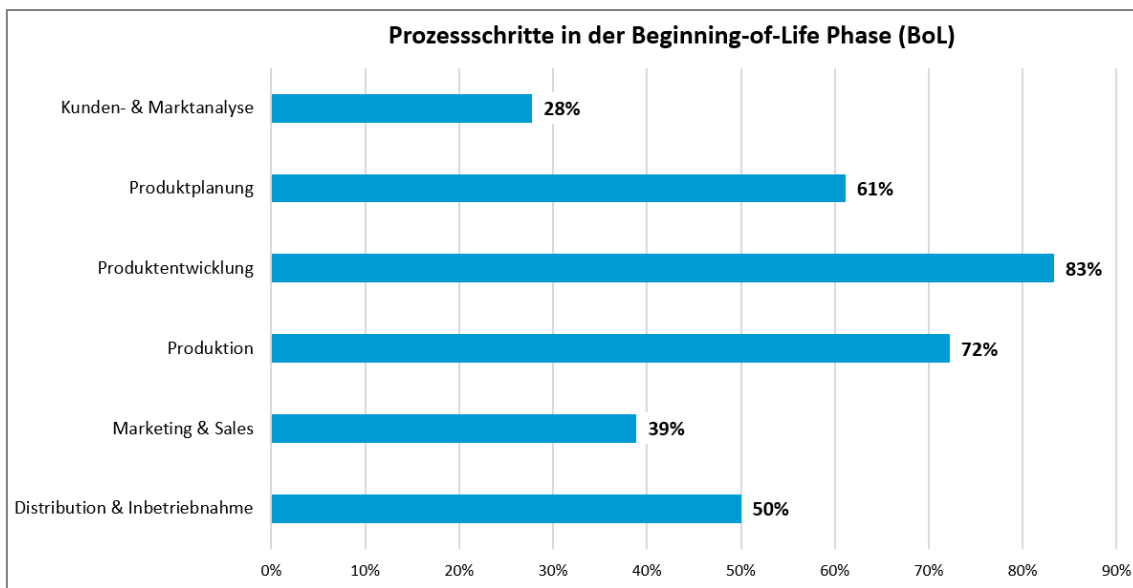


Abbildung 13: Prozessschritte BoL (n=18)

Prozessschritte in der MoL-Phase

Frage 6: Für welche Prozessschritte in Middle-of-Life (MoL)? (Mehrfachauswahl)

Wie in der unteren Abbildung ersichtlich ist, werden digitale Zwillinge in der MoL-Phase am häufigsten für den Service & Wartung eingesetzt (11 Personen, 73%) gefolgt von der Leistungsoptimierung (9 Personen, 60%). Für die Schulung werden diese am wenigsten oft implementiert (6 Personen, 40%).

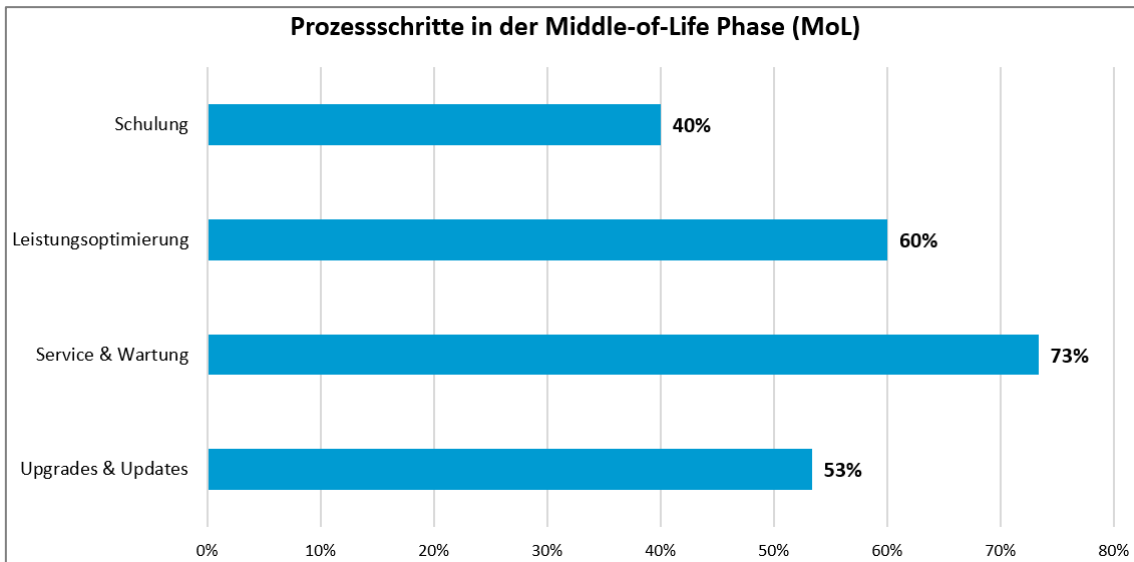


Abbildung 14: Prozessschritte in MoL (n=15)

Prozessschritte in der EoL-Phase

Frage 7: Für welche Prozessschritte in End-of-Life (EoL)? (Mehrfachauswahl)

In der EoL-Phase setzt lediglich ein Unternehmen digitale Zwillinge ein und diese für die beiden Prozessschritte "Weiterverkauf" und "Verwertung". Der Rückkauf wurde hingegen nicht genannt.

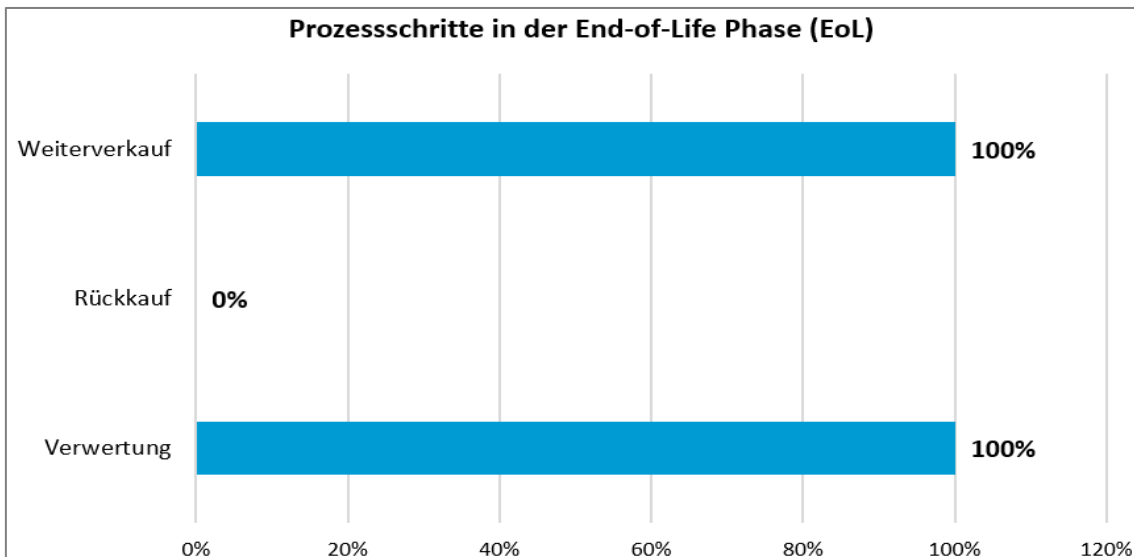


Abbildung 15: Prozessschritte in EoL (n=1)

Generierte Mehrwerte in der BoL-Phase

Frage 8: Welche Mehrwerte generieren Sie durch den Einsatz von digitalen Zwillingen in der Beginning-of-Life (BoL)-Phase?

Zum Zeitpunkt der Umfrage generierten 18 von 22 Unternehmen Mehrwerte in der Beginning-of-Life (BoL) Phase. Dabei wurden alle erhobenen Merkmale mehrheitlich mit zutreffend bzw. eher zutreffend bewertet. Sowohl die Qualitätssteigerung als auch die verbesserte Produktentwicklung und kürzere Time-to-Market werden mit einer durchschnittlichen Beurteilung von 3.06 in den Unternehmen beobachtet. Gefolgt von "Optimierte Durchlaufzeiten und Termintreue" mit einer mittleren Beurteilung von 2.94 und "Besseres Kunden- und Marktverständnis" mit 2.72. Am wenigsten oft beobachtet wurde das Merkmal "Verkleinerung der Losgrößen (Mass-Customization)", welches eine durchschnittliche Beurteilung von 2.28 aufweist.

Aktuelle Wertgenerierung <u>BoL</u>	Durchschn. Beurteilung	Trifft zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu	Nicht beurteilbar
Qualitätssteigerung	3.06	9	5	2	0	2
Verbesserte Produktentwicklung und kürzere Time-to-Market	3.06	9	3	5	0	1
Optimierte Durchlaufzeiten und Termintreue	2.94	7	7	2	0	2
Besseres Kunden- und Marktverständnis	2.72	9	2	3	1	3
Verbesserte Angebots-Prozesse (z.B Konfiguration, Pricing)	2.61	7	3	4	2	2
Kostenreduktion	2.56	4	7	4	1	2
Bessere Kapazitätsauslastung	2.44	4	5	5	3	1
Echtzeiteingriff in Fabriksteuerung (Remote Control)	2.44	7	2	3	4	2
Verkleinerung der Losgrößen (Mass-Customization)	2.28	4	4	5	3	2

Tabelle 3: Aktuelle Wertgenerierung BoL

Anmerkung: n=18; Häufigkeit der Antworten (Likert-Skala)

Generierte Mehrwerte in der MoL-Phase

Frage 9: Welche Mehrwerte generieren Sie durch den Einsatz von digitalen Zwillingen in der Middle-of-Life (MoL)-Phase?

Insgesamt generieren derzeit 15 von 22 befragten Unternehmen Wert in der Middle-of-Life (MoL)-Phase. Dabei wurden 10 von 12 Merkmale mehrheitlich mit zutreffend bzw. eher zutreffend bewertet. Mit einer durchschnittlichen Beurteilung von 3.47 wurde das Merkmal "Prozessoptimierung/Bessere Performance" bewertet. Die beiden anderen Merkmale "Qualitätssteigerung" und "Erhöhte Verfügbarkeit für Kunden" weisen ebenfalls eine durchschnittliche Beurteilung von über 3 auf. Ausschliesslich die beiden Punkte "Neue Geschäftsmodelle" und "Besseres Up- und Cross-Selling" liegen unter der Skalenmitte von 2 mit einer durchschnittlichen Bewertung von 1.87 bzw. 1.13.

Aktuelle Wertgenerierung <u>MoL</u>	Durchschn. Beurteilung	Trifft zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu	Nicht beurteilbar
Prozessoptimierung / Bessere Performance	3.47	11	2	1	0	1
Qualitätssteigerung	3.20	7	6	1	0	1
Erhöhte Verfügbarkeit für Kunden	3.13	8	4	1	1	1
Kostenreduktion	2.87	4	7	2	2	0
Verbesserte Installation / Inbetriebnahme	2.80	8	1	3	1	2
Höhere Kundenzufriedenheit	2.73	6	5	1	0	3
Verbesserte Schulungen / Trainings für Kunden	2.47	7	2	0	3	3
Prädiktiver Service & Wartung (Vorausschauend)	2.40	5	4	1	2	3
Echtzeiteingriff in Produktsteuerung (Remote Control)	2.20	4	4	2	1	4
Präventiver Service & Wartung (Vorbeugend)	2.13	5	2	2	2	4
Neue Geschäftsmodelle	1.87	4	2	2	2	5
Besseres Up- und Cross-Selling	1.13	2	1	2	2	8

Tabelle 4: Aktuelle Wertgenerierung MoL

Anmerkung: n=15; Häufigkeit der Antworten (Likert-Skala)

Generierte Mehrwerte in der EoL-Phase

Frage 10: Welche Mehrwerte generieren Sie durch den Einsatz von digitalen Zwillingen in der End-of-Life (EoL)-Phase?

Nur eines von 22 Unternehmen generiert derzeit in der End-of-Life (EoL)-Phase Mehrwert. Weiter konnten nur die beiden Merkmale "Besser Up-Selling (z.B.. Retrofit)" und "Mehr Wiederkäufe, Ersatzkäufe der Kunden" vom Befragten beobachtet werden und dies mit einer durchschnittlichen Beurteilung von je 3.00. Die restlichen Punkte weisen die Skala 0, also "Nicht beurteilbar", auf.

Aktuelle Wertgenerierung EoL	Durchschn. Beurteilung	Trifft zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu	Nicht beurteilbar
Besseres Up-Selling (z.B Retrofit)	3.00	0	1	0	0	0
Mehr Wiederkäufe, Ersatzkäufe der Kunden	3.00	0	1	0	0	0
Verbesserte Rückkauf-Prozesse	0.00	0	0	0	0	0
Support beim Weiterverkauf	0.00	0	0	0	0	0
Bessere Wiederverwendung von Komponenten und Wertstoffen	0.00	0	0	0	0	0
Sicherstellung korrekte Entsorgung	0.00	0	0	0	0	0

Tabelle 5: Aktuelle Wertgenerierung EoL

Anmerkung: n=1; Häufigkeit der Antworten (Likert-Skala)

Weitere Produktlebenszyklusphasen

Frage 11: In welchen weiteren Phasen des Produktlebenszyklus plant Ihr Unternehmen digitale Zwillinge in den nächsten 5 Jahren einzusetzen? (Mehrfachauswahl)

Wie bereits beim Abschnitt 3.1.6.1 (Anmerkung zur Datenauswertung) erläutert, wurde diese Frage nicht klar genug formuliert. So hat eine gewisse Anzahl an Teilnehmenden die gleichen Phasen des Produktlebenszyklus wie zuvor bei Frage 4 ausgewählt. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass dies bewusst so gemacht wurde, da die Unternehmen in denselben Phasen weitere Mehrwerte in neuen Prozessschritten generieren möchten. Wie die untenstehende Abbildung zeigt, werden in den nächsten 5 Jahren die beiden Phasen BoL (10 Personen, 45%) und MoL (10 Personen, 45%) weitere Einsätze mit digitalen Zwillingen verzeichnen können. Am wenigsten oft wird die EoL-Phase zum Einsatz kommen (6 Personen, 27%). Weiter haben 8 Personen (36%) angegeben, zukünftig keine weiteren Phasen mit digitalen Zwillingen abdecken zu wollen.

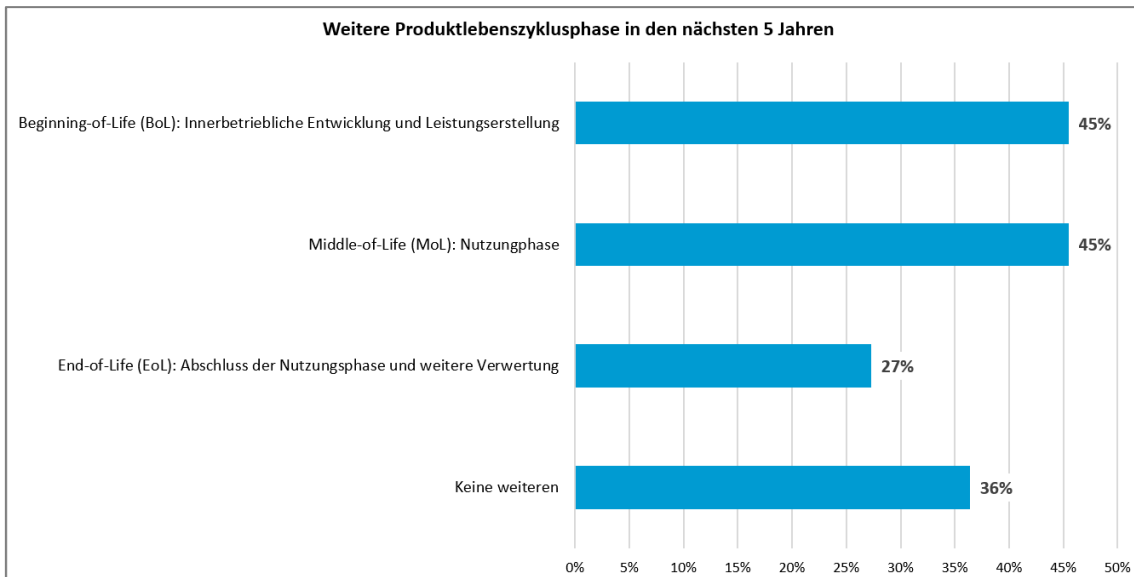


Abbildung 16: Weitere Produktlebenszyklusphasen (n=22)

In der Abbildung 17 ist die Verteilung der Produktlebenszyklusphasen von der vorherigen Frage ersichtlich. Ein Unternehmen (5%) hat angegeben, als nächstes digitale Zwillinge ausschliesslich in die BoL-Phase einsetzen zu wollen, 3 Teilnehmende (14%) werden diese nur für die MoL-Phase und ein Unternehmen (5%) nur für die EoL-Phase einsetzen. 4 Unternehmen (18%) gaben an, diese für die beiden Phasen BoL & MoL einsetzen zu wollen und weitere 2 Firmen (9%) für die BoL & EoL. 3 Unternehmen (14%) werden voraussichtlich digitale Zwillinge in allen 3 Phasen einsetzen und 8 Unternehmen (35%) werden keine weiteren Phasen abdecken.

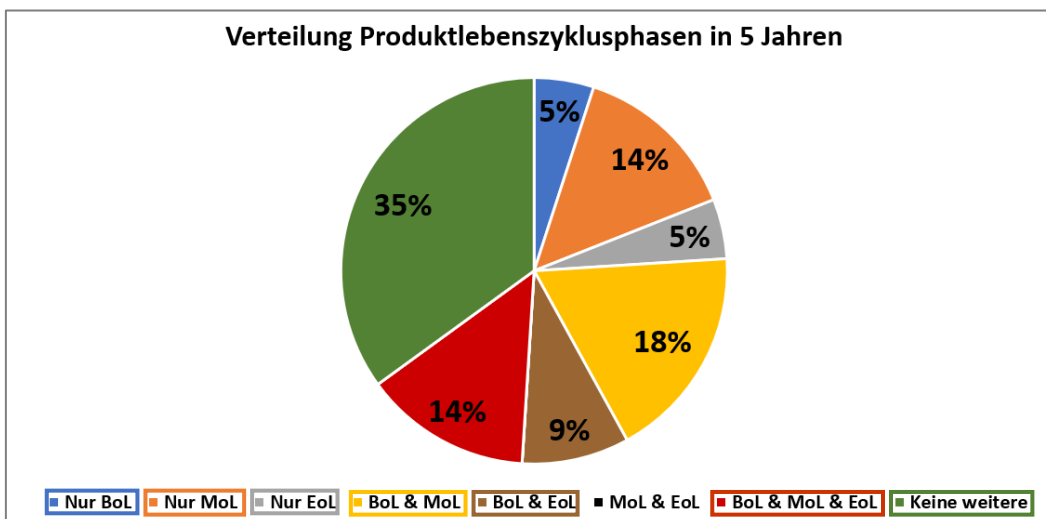


Abbildung 17: Verteilung Produktlebenszyklusphasen in 5 Jahren (n=22)

Beweggründe für den Einsatz von digitalen Zwillingen

Frage 12: Was war der Beweggrund für den Einsatz von digitalen Zwillingen in Ihrem Unternehmen? (Mehrfachauswahl)

Der Hauptgrund weshalb die Unternehmen digitale Zwillinge implementiert haben, ist die "Effizienzsteigerung" (19 Teilnehmende, 86%). Als zweithäufigster Grund wurde der "Aufbau eines Wettbewerbsvorteiles" genannt (13 Personen, 59%), gefolgt vom "Kundenbedürfnis" (11 Personen, 50%). 5 Personen haben "Anderes" gewählt und die folgenden Gründe angegeben:

- Soft- / Hardwarequalität
- Kostenübersicht
- Kürzere und effizientere Berechnungszeiten in Projektphase
- Es ist bereits ein Bestandteil des Geschäftsmodells

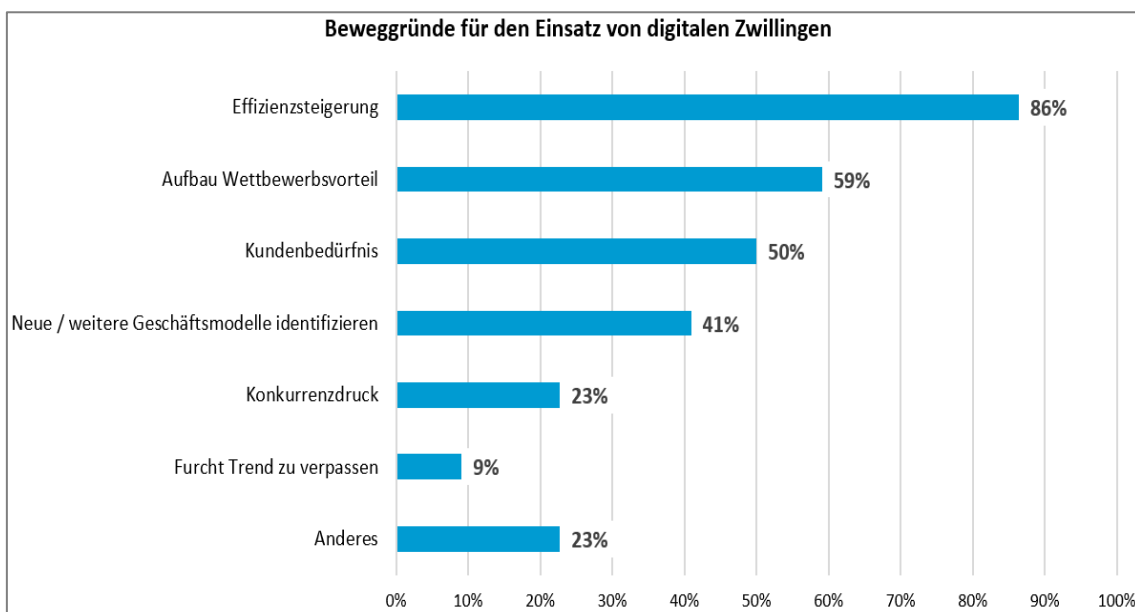


Abbildung 18: Beweggründe Einsatz digitale Zwillinge (n=22)

Zufriedenheit mit digitalen Zwillingen

Frage 13: Wie zufrieden sind Sie mit der Leistung der digitalen Zwillinge in Ihrem Unternehmen insgesamt?

Auf die Frage wie zufrieden die Teilnehmenden mit der Leistung der digitalen Zwillinge in ihrem Unternehmen sind, kann zusammengefasst gesagt werden, dass die befragten Unternehmen im Grossen und Ganzen (90%) zufrieden sind. Lediglich 2 Personen (10%) gaben eine eher unbefriedigende Leistung an.

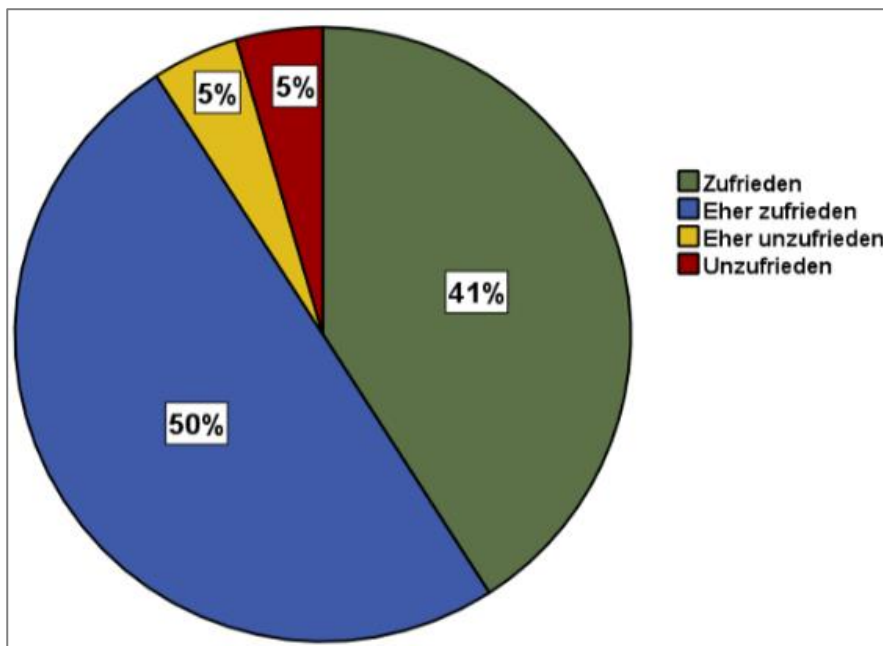


Abbildung 19: Zufriedenheit (n=22)

3.2.5 Fragen an Teilnehmende, die digitale Zwillinge zurzeit nicht einsetzen aber dies beabsichtigen zu tun

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse für die Gruppe B aufgeführt. Die Anzahl befragte Unternehmen für diese Gruppe beträgt n=25.

Um eine klare Übersicht bezüglich der Stichprobe für Gruppe B zu erhalten, ist in der untenstehenden Treemap die Anzahl der Teilnehmenden in ihren Branchen, Fachbereiche, Unternehmensgrössen und Unternehmensalter dargestellt. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass die Branchenverteilung ziemlich durchmischt ist, jedoch die meisten befragten Unternehmen im Maschinen- und

Anlagenbau tätig sind. Weiter arbeiten die Teilnehmenden am häufigsten in der Managementabteilung und die Mehrheit der Unternehmen sind KMUs. Deutlich mehr als die Hälfte der Unternehmen sind zudem älter als 15 Jahren.

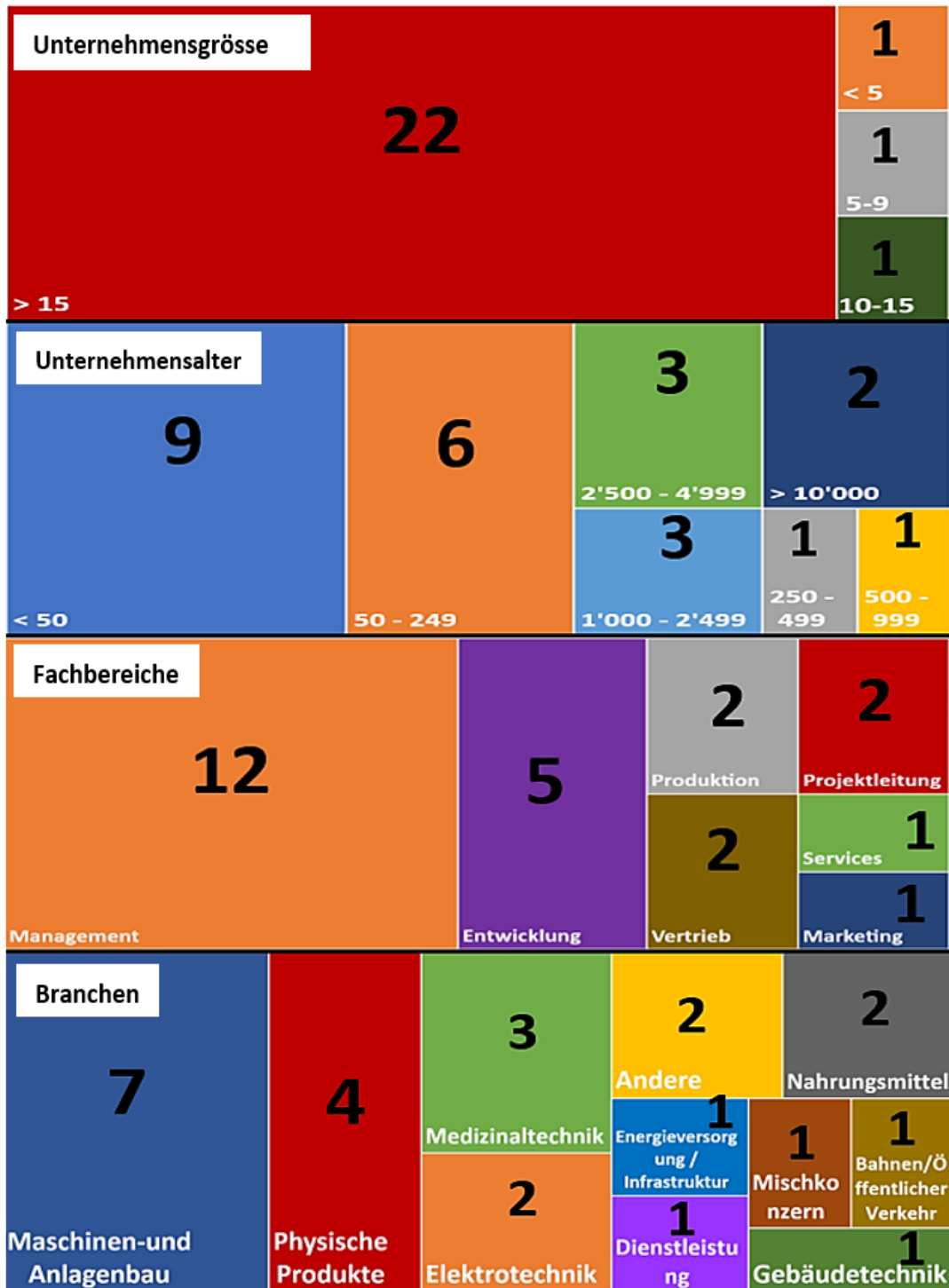


Abbildung 20: Treemap Gruppe B, n=25 (Eigene Darstellung)

Verantwortlichkeit

Frage 14: Sind Sie für die digitalen Zwillinge in Ihrem Unternehmen direkt verantwortlich oder Teil des verantwortlichen Teams?

17 Personen (68%) sind für die digitalen Zwillinge in ihrem Unternehmen direkt verantwortlich bzw. gehören zum Teil des verantwortlichen Teams. 8 Teilnehmende (32%) gehören weder zum Team noch sind sie direkt verantwortlich.

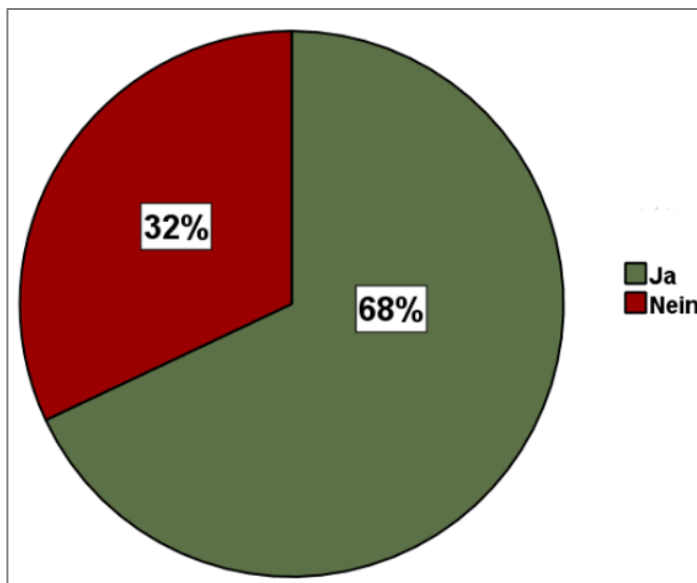


Abbildung 21: Verantwortlichkeit (n=25)

Zeithorizont

Frage 15: In welchem Zeithorizont planen Sie digitale Zwillinge einzusetzen?

Die Mehrheit der Unternehmen plant digitale Zwillinge in den nächsten 1-2 Jahren in ihrem Unternehmen einzusetzen (13 Personen, 52%). 3 Teilnehmende (12%) möchten bereits in weniger als einem Jahr digitale Zwillinge in ihrem Unternehmen einsetzen und ein Befragter (4%) erst nach 6 Jahren.

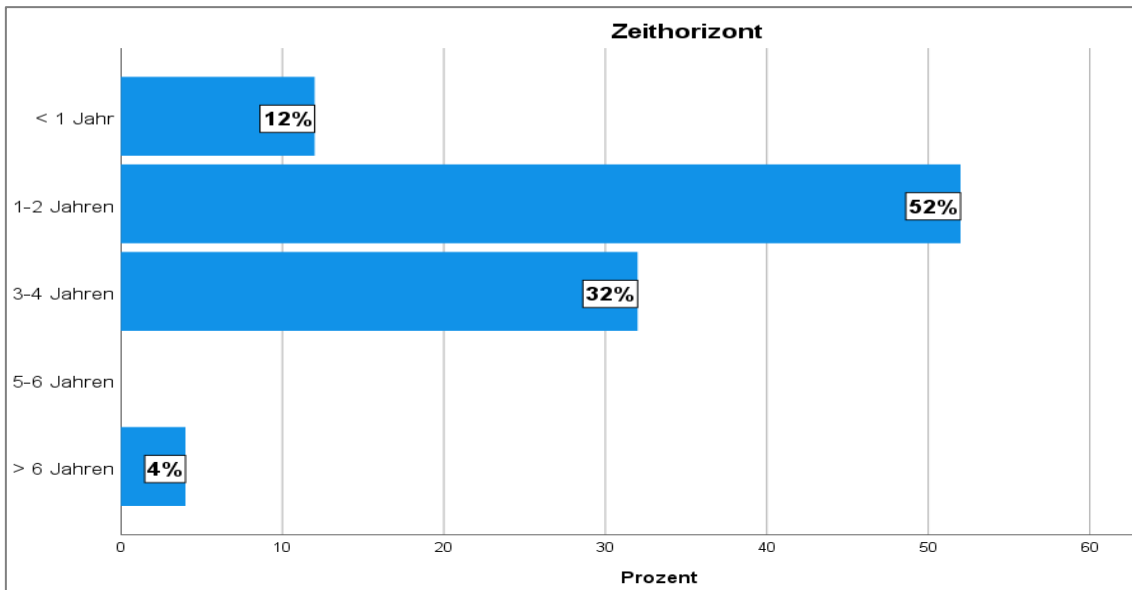


Abbildung 22: Zeithorizont (n=25)

Projektstatus “Digitale Zwillinge”

Frage 16: Wie weit sind Sie mit dem Projekt “Digitale Zwillinge” in Ihrem Unternehmen?

21 Unternehmen (84%) befinden sich noch in der Anfangsphase bezüglich der Realisierung von digitalen Zwillingen (Kundenbedürfnisse verstehen und Ideen zur Lösung entwickeln). Weitere 4 Unternehmen (16%) setzen sich bereits mit der Prototyp-Thematik auseinander und keiner der Befragten befindet sich nahe der Markteinführung.

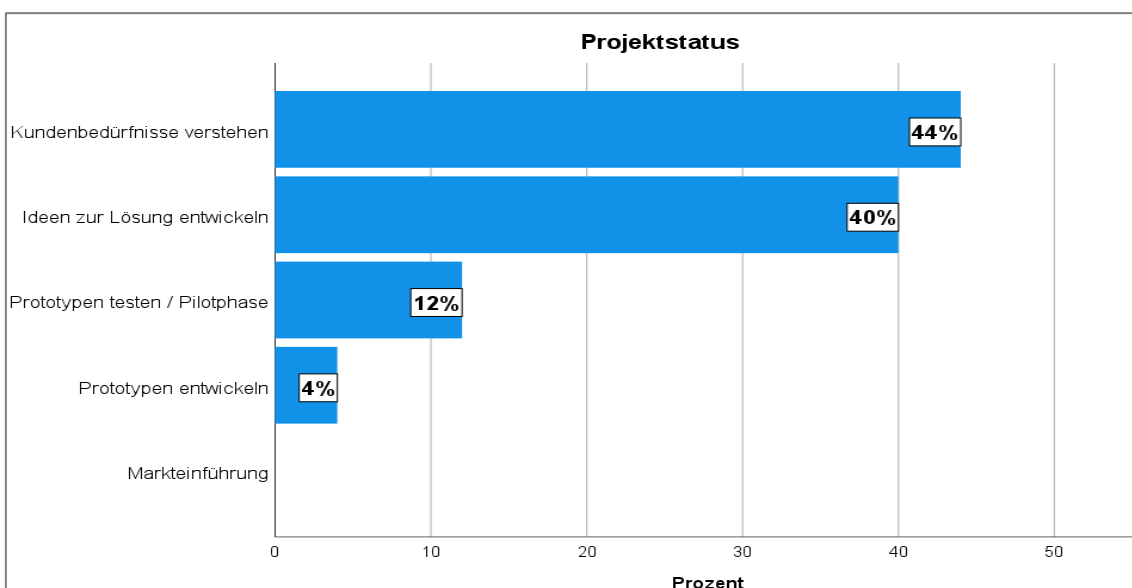


Abbildung 23: Projektstatus (n=25)

Voraussichtliche Produktlebenszyklusphasen

Frage 17: In welchen der folgenden Produktlebenszyklusphasen werden Sie die digitalen Zwillinge in Ihrem Unternehmen voraussichtlich einsetzen? (Mehrfachauswahl)

Bei der Frage in welchen Phasen des Produktlebenszyklus die Unternehmen digitale Zwillinge voraussichtlich einsetzen werden, wurde die Beginning-of-Life (BoL)-Phase am häufigsten genannt (20 Personen, 80%). Zudem haben 13 Personen (52%) mit der Middle-of-Life (MoL)-Phase und 6 Personen (24%) mit der End-of-Life (EoL)-Phase geantwortet. 3 Teilnehmende (12%) sind sich noch unsicher, in welchen Phasen die Implementierung stattfinden wird.

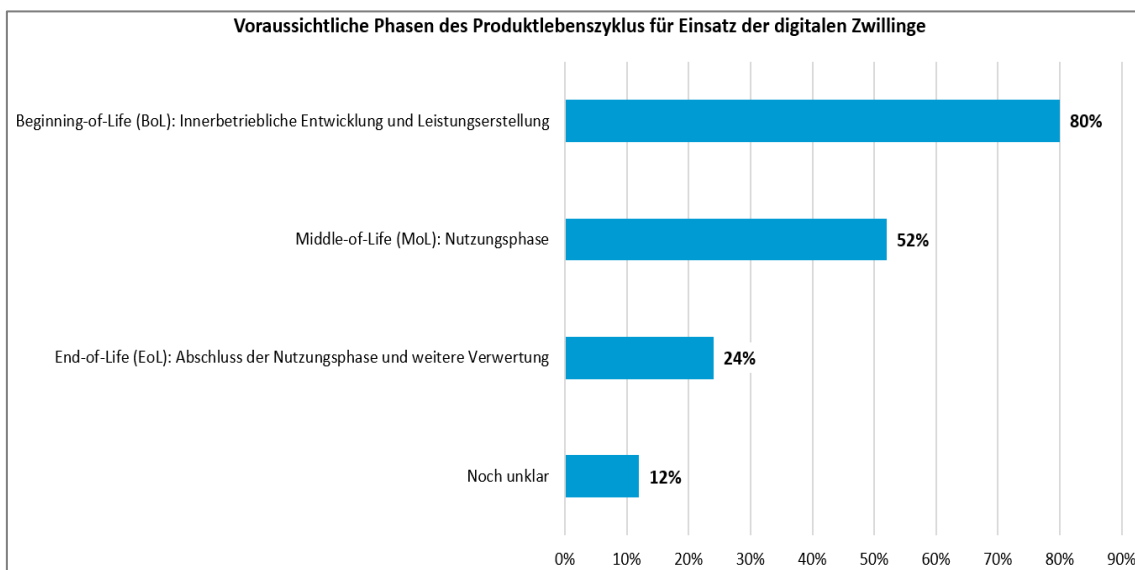


Abbildung 24: Voraussichtliche Produktlebenszyklusphasen (n=25)

In der Abbildung 25 ist die Verteilung der Produktlebenszyklusphasen von der vorherigen Frage ersichtlich. 8 Unternehmen (32%) werden voraussichtlich digitale Zwillinge nur in

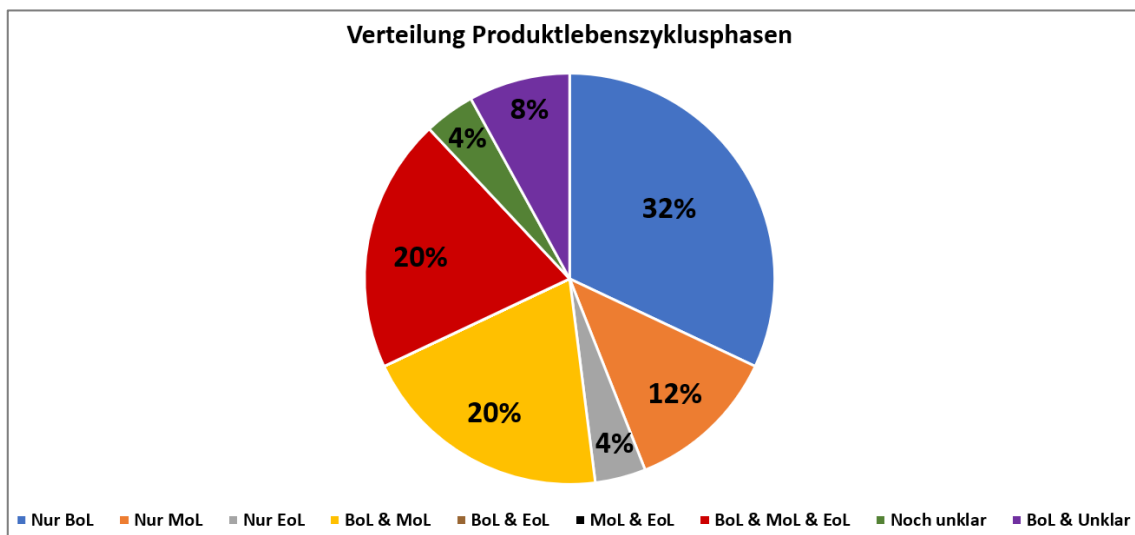


Abbildung 25: Verteilung Produktlebenszyklusphasen (n=25)

die BoL-Phase einsetzen, 3 Unternehmen (12%) ausschliesslich in die MoL-Phase und eine Firma nur in EoL-Phase (4%). 5 Unternehmen (20%) werden digitale Zwillinge in den beiden Phasen BoL & MoL implementieren und weitere 5 Firmen (20%) haben sich vorgenommen diese in allen drei Phasen zu integrieren. Bei einem Unternehmen (4%) ist es noch unklar in welchen Phasen die digitalen Zwillinge im Einsatz kommen und 2 Unternehmensmitarbeiter (8%) haben mit BoL & unklar geantwortet.

Prozessschritte in der BoL-Phase

Frage 18: Für welche Prozessschritte in Beginning-of-Life (BoL)? (Mehrfachauswahl)

Bei den Unternehmen, die digitale Zwillinge noch nicht einsetzen aber beabsichtigen dies zu tun, wurde für den Einsatz in der BoL-Phase die Produktion am häufigsten genannt (12 Personen, 60%), gefolgt von der Produktentwicklung mit 11 Personen (55%) und der Produktplanung (9 Personen, 45%). Weiter wird man die digitalen Zwillinge voraussichtlich am wenigsten oft für die Kunden- & Marktanalyse einsetzen (5 Personen, 25%).

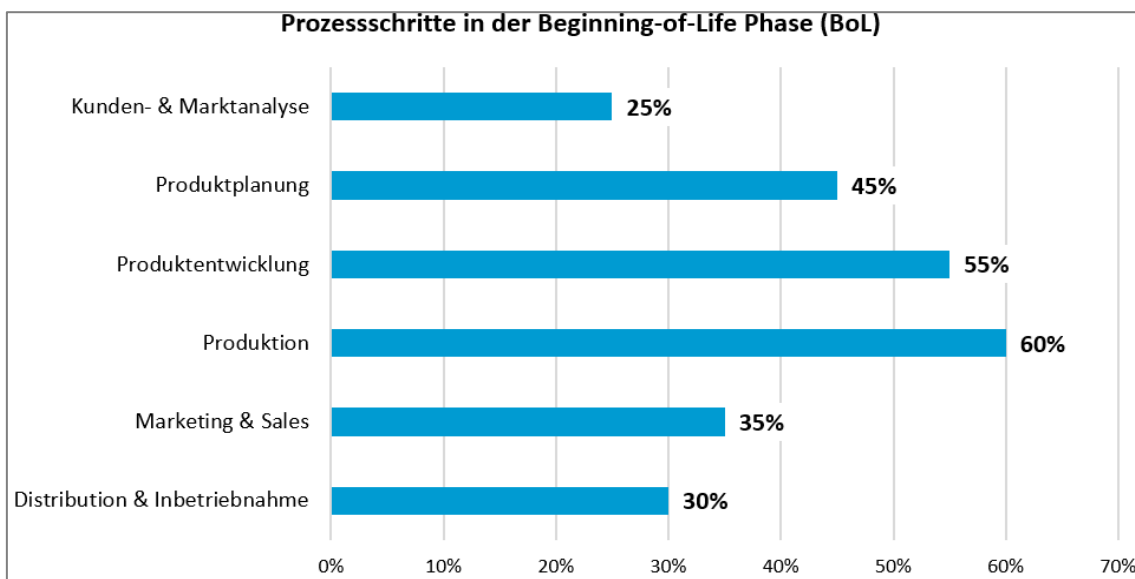


Abbildung 26: Prozessschritte BoL (n=20)

Prozessschritte in der MoL-Phase

Frage 19: Für welche Prozessschritte in Middle-of-Life (MoL)? (Mehrfachauswahl)

Wie die untenstehende Darstellung zeigt, werden digitale Zwillinge in der MoL-Phase voraussichtlich am häufigsten für "Service & Wartung" eingesetzt (11 Personen, 85%),

gefolgt “Leistungsoptimierung“ (7 Personen, 54%). Am wenigsten oft wurde “Schulung“ genannt (4 Personen, 31%).

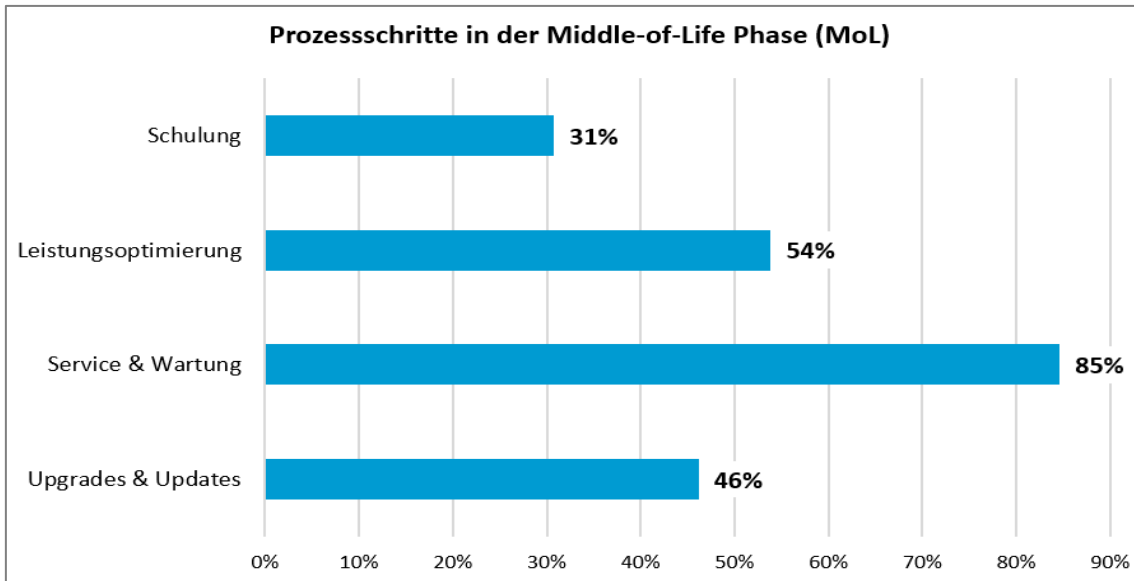


Abbildung 27: Prozessschritte MoL (n=13)

Prozessschritte in der EoL-Phase

Frage 20: Für welche Prozessschritte in End-of-Life (EoL)? (Mehrfachauswahl)

Je 4 Firmen (je 67%) von den 6 Unternehmen, welche digitale Zwillinge voraussichtlich in dieser Phase implementieren werden, haben sich vorgenommen diese für “Weiterverkauf“ und “Verwertung“ einzusetzen. Für ein Unternehmen (17%) werden diese für den “Rückkauf“ zum Einsatz kommen.

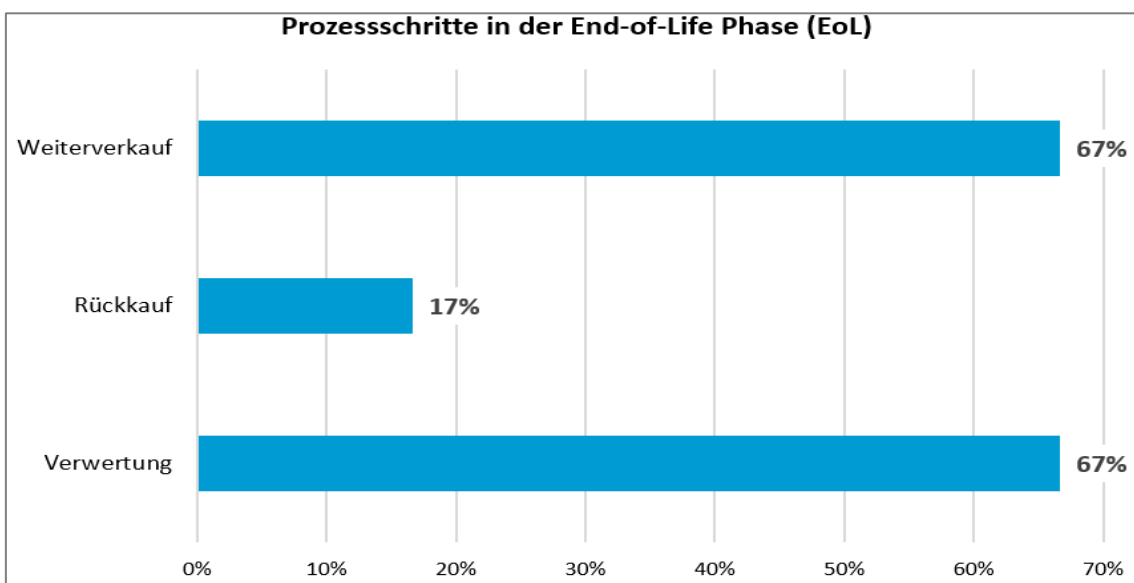


Abbildung 28: Prozessschritte EoL (n=6)

Erhoffte Wertgenerierung in der BoL-Phase

Frage 21: Was erhoffen Sie sich durch den Einsatz von digitalen Zwillingen in der Beginning-of-Life Phase (BoL)?

Auf die Frage was sich die Unternehmen durch einen Einsatz von digitalen Zwillingen in der Beginning-of-Life (BoL)-Phase erhoffen, haben 20 der 25 befragten Mitarbeiter der Unternehmen folgendermassen geantwortet. 4 der 9 Merkmale weisen eine durchschnittliche Beurteilung von über 3 auf. Die grösste Anzahl Teilnehmende erhofft sich mit der Realisierung insbesondere Kosten zu reduzieren (3.40). Nahe liegen auch die beiden Merkmale "Verbesserte Produktentwicklung und kürzere Time-to-Market" (3.35) und die "Qualitätssteigerung" (3.30). Am wenigsten erhoffen sich die befragten Unternehmen Mehrwert im Bereich "Echtzeiteingriff in Fabriksteuerung (Remote Control)" (2.15) zu generieren.

Erhoffte Wertgenerierung <u>BoL</u>	Durchschn. Beurteilung	Trifft zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu	Nicht beurteilbar
Kostenreduktion	3.40	10	8	2	0	0
Verbesserte Produktentwicklung und kürzere Time-to-Market	3.35	11	6	2	0	1
Qualitätssteigerung	3.30	15	1	1	1	2
Optimierte Durchlaufzeiten und Termintreue	3.20	11	5	2	1	1
Verbesserte Angebots-Prozesse (z.B. Konfiguration, Pricing)	2.95	8	7	3	0	2
Besseres Kunden- und Marktverständnis	2.90	6	9	3	1	1
Bessere Kapazitätsauslastung	2.80	6	9	1	3	1
Verkleinerung der Losgrössen (Mass-Customization)	2.35	2	9	3	6	0
Echtzeiteingriff in Fabriksteuerung (Remote Control)	2.15	2	5	8	4	1

Tabelle 6: Erhoffte Wertgenerierung BoL

Anmerkung: n=20; Häufigkeit der Antworten (Likert-Skala)

Erhoffte Wertgenerierung in der MoL Phase

Frage 22: Was erhoffen Sie sich durch den Einsatz von digitalen Zwillingen in der Middle-of-Life Phase (MoL)?

Zukünftig erhoffen sich 13 von 25 befragten Mitarbeiter Mehrwert in der Middle-of-Life (MoL)-Phase zu generieren. Mit einer durchschnittlichen Beurteilung von 3.62 des Merkmals "Prozessoptimierung/Bessere Performance" wurde dieses von den Befragten

als grösste erhoffte Wertgenerierung beurteilt. Ein weiteres Merkmal, welches eine hohe Beurteilung aufweist, ist die "Qualitätssteigerung" (3.46). Am wenigsten erhoffen sich die Teilnehmenden vom "Echtzeiteingriff in die Produktsteuerung (Remote Control)", dass eine durchschnittliche Beurteilung von 2.46 verzeichnet.

Erhoffte Wertgenerierung <u>MoL</u>	Durchschn. Beurteilung	Trifft zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu	Nicht beurteilbar
Prozessoptimierung / Bessere Performance	3.62	8	5	0	0	0
Qualitätssteigerung	3.46	9	1	3	0	0
Höhere Kundenzufriedenheit	3.31	8	3	0	2	0
Verbesserte Installation / Inbetriebnahme	3.31	9	0	3	1	0
Erhöhte Verfügbarkeit für Kunden	3.15	8	2	1	1	1
Prädiktiver Service & Wartung (Vorausschauend)	3.15	8	1	2	2	0
Kostenreduktion	3.08	6	4	1	2	0
Präventiver Service & Wartung (Vorbeugend)	3.08	7	2	2	2	0
Verbesserte Schulungen / Trainings für Kunden	2.85	6	1	5	0	1
Neue Geschäftsmodelle	2.85	6	3	1	2	1
Besseres Up- und Cross-Selling	2.62	4	4	2	2	1
Echtzeiteingriff in Produktsteuerung (Remote Control)	2.46	1	7	2	3	0

Tabelle 7: Erhoffte Wertgenerierung MoL

Anmerkung: n=13; Häufigkeit der Antworten (Likert-Skala)

Erhoffte Wertgenerierung in der EoL Phase

Frage 23: Was erhoffen Sie sich durch den Einsatz von digitalen Zwillingen in der End-of-Life Phase (EoL)?

6 Teilnehmende erhoffen sich in ferner Zukunft Wert in der End-of-Life (EoL)-Phase zu generieren. Die Teilnehmenden haben angegeben, dass sie insbesondere im Bereich der "Sicherstellung korrekter Entsorgung" Mehrwert generieren möchten (3.33), gefolgt von "Bessere Wiederverwendung von Komponenten und Wertstoffen" und "Bessere Up-Selling (z.B. Retrofit)" mit einer durchschnittlichen Beurteilung von je 3.00.

Erhoffte Wertgenerierung EoL	Durchschn. Beurteilung	Trifft zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu	Nicht beurteilbar
Sicherstellung korrekte Entsorgung	3.33	3	2	1	0	0
Bessere Wiederverwendung von Komponenten und Wertstoffen	3.00	3	1	1	1	0
Besseres Up-Selling (z.B Retrofit)	3.00	3	1	1	1	0
Mehr Wiederkäufe, Ersatzkäufe der Kunden	2.83	2	2	1	1	0
Support beim Weiterverkauf	2.67	3	0	1	2	0
Verbesserte Rückkauf-Prozesse	2.50	2	0	3	1	0

Tabelle 8: Erhoffte Wertgenerierung EoL

Anmerkung: n=6; Häufigkeit der Antworten (Likert-Skala)

Beweggründe für den geplanten Einsatz von digitalen Zwillingen

Frage 24: Was ist der Beweggrund für den geplanten Einsatz von digitalen Zwillingen in Ihrem Unternehmen? (Mehrfachauswahl)

Wie die Abbildung 29 offenbart, wurde die "Effizienzsteigerung" als häufigster Grund für einen geplanten Einsatz genannt (18 Personen, 72%). Danach folgt der "Aufbau von Wettbewerbsvorteilen" (16 Teilnehmende, 64%) sowie "Kundenbedürfnis" und "Neue/Weitere Geschäftsmodelle identifizieren" (je 11 Befragte, je 44%). Die "Furcht den Trend/Anschluss zu verpassen" wurde am wenigsten oft ausgewählt von lediglich einer Person (4%). 2 Personen (8%) haben "Anderes" gewählt und dabei wurde der folgende individuelle Punkt angegeben: Moderner Arbeitgeber sein

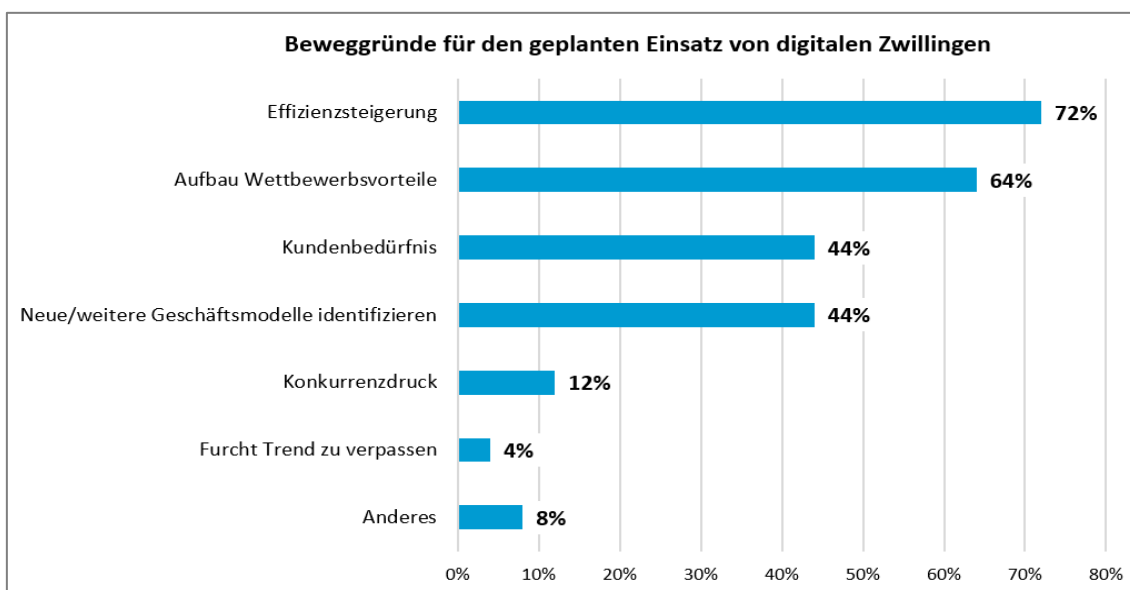


Abbildung 29: Beweggründe für den geplanten Einsatz (n=25)

Beeinträchtigung des Projektes durch die Pandemie

Frage 25: Wurde das Projekt durch die Covid-19 Pandemie beeinträchtigt?

Die Frage, ob das Projekt "Digitale Zwillinge" durch die Covid-19 Pandemie beeinträchtigt wurde, haben 8 von 25 Teilnehmenden (32%) mit "Ja" geantwortet. Hingegen haben 17 Personen (68%) diese Frage mit "Nein" beantwortet.

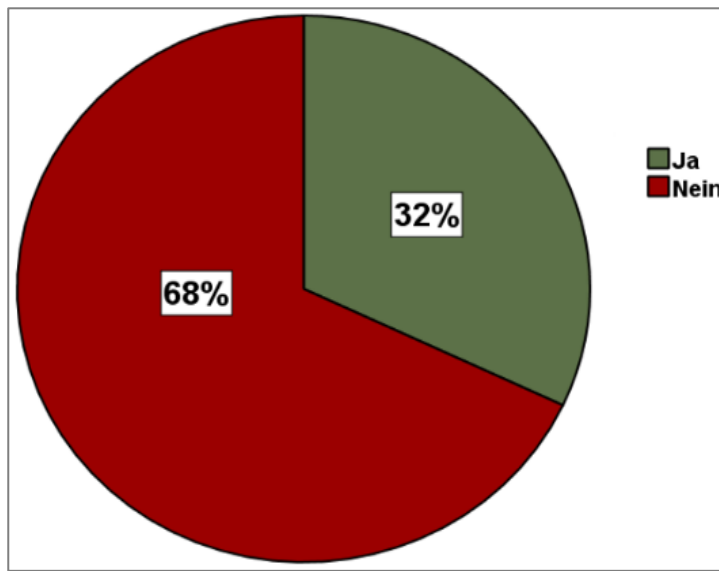


Abbildung 30: Beeinträchtigung durch Covid-19 (n=25)

Beeinträchtigung aufgrund der Pandemie

Folgefrage 26 zur Frage 25: Inwiefern wurde es beeinträchtigt? (Mehrfachauswahl)

Bei der Folgefrage wie das Projekt durch die Covid-19 Pandemie beeinträchtigt wurde, haben die 8 Teilnehmenden folgendermassen geantwortet: 7 Personen (88%) mussten den Projektstart verschieben, 2 Personen (25%) antworteten mit der Anpassung des Budgets und 2 Teilnehmende (25%) gaben die folgenden zwei Gründe an:

- Verspätete Markteinführung
- Interner Aufwand

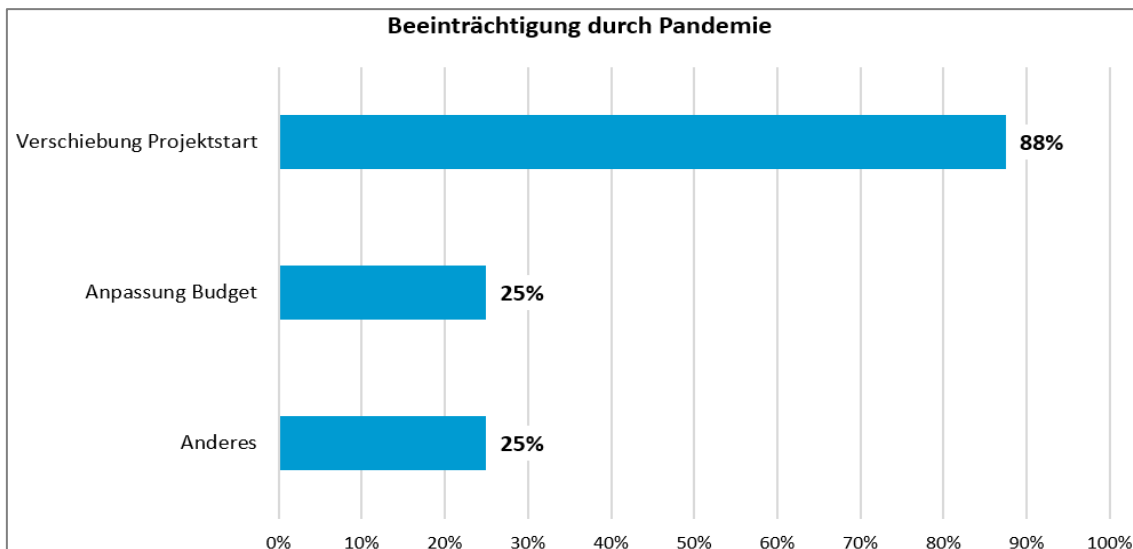


Abbildung 31: Aktuelle Beeinträchtigung (n=8)

3.2.6 Fragen an Teilnehmende, die digitale Zwillinge zurzeit nicht einsetzen und dies auch zukünftig nicht beabsichtigen zu tun

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse für die Gruppe C aufgeführt. Die Anzahl befragte Unternehmen für diese Gruppe beträgt n=52.

Um eine klare Übersicht bezüglich der Stichprobe für Gruppe C zu erhalten, ist in der untenstehenden Treemap die Anzahl der Teilnehmenden in ihren Branchen, Fachbereiche, Unternehmensgrößen und Unternehmensalter dargestellt. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass die Branchenverteilung auch hier durchmischert ist, die grösste Anzahl Teilnehmenden im Bereich Management tätig sind und die Mehrheit die Unternehmensgrösse der KMUs aufweisen. Mehr als die Hälfte der befragten sind älter als 15 Jahre.

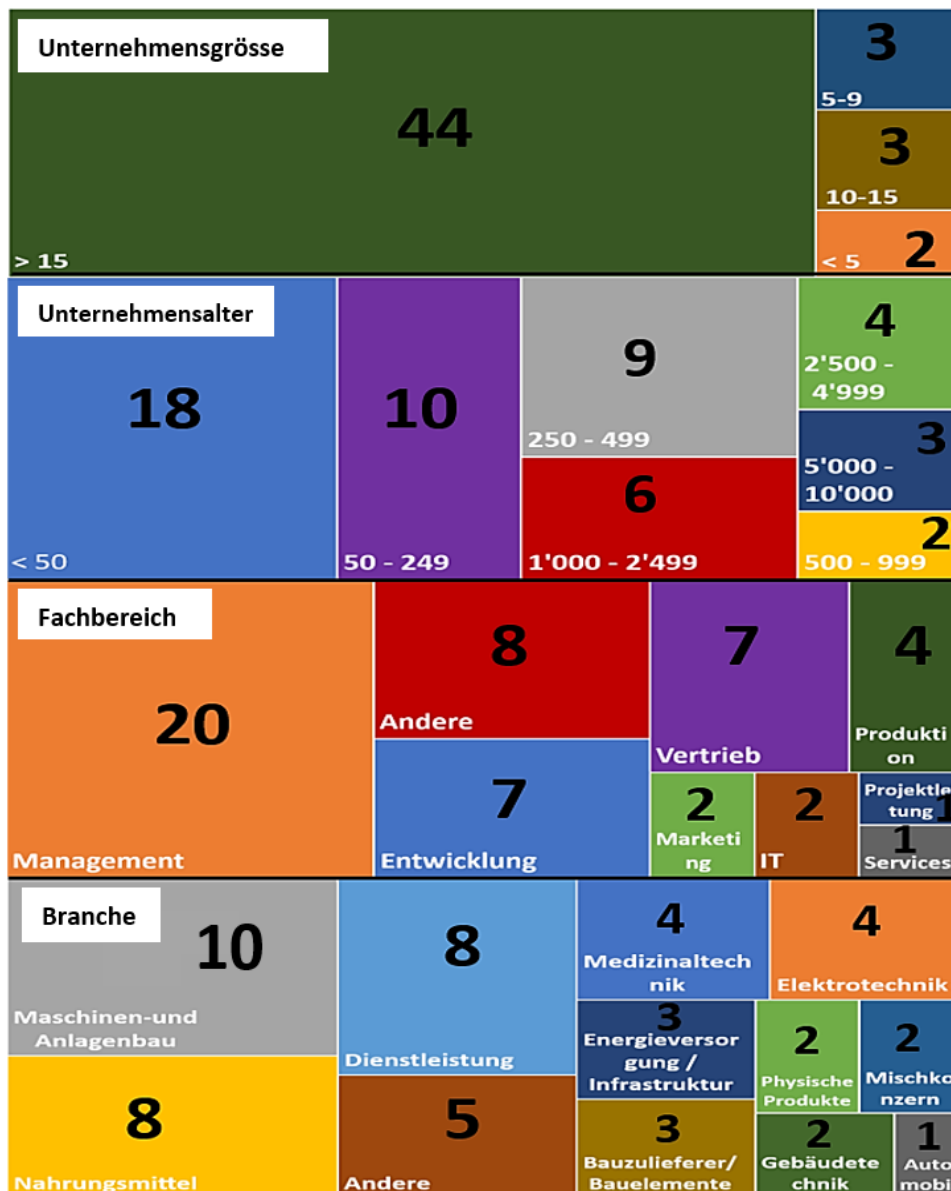


Abbildung 32: Treemap Gruppe C, n=52 (Eigene Darstellung)

Gründe gegen den Einsatz von digitalen Zwillingen in Unternehmen

Frage 27: Welche Gründe sprechen gegen den Einsatz von digitalen Zwillingen in Ihrem Unternehmen? (Mehrfachauswahl)

Die 52 Teilnehmenden wurden danach befragt welche Gründe gegen den Einsatz von digitalen Zwillingen in ihrem Unternehmen sprechen. Dabei wurde "Kein passendes Geschäftsmodell" am häufigsten genannt (27 Personen, 52%), gefolgt vom "Fehlendes Know-how" (25 Personen, 48%) und "Produkte können nicht vernetzt oder mit Sensoren ausgestattet werden (15 Personen, 29%). Die "Fehlende Datenteilbereitschaft der Kunden wurde am wenigsten oft erwähnt (5 Personen, 10%). Weiter wählten 3 Personen (6%) die Option "Anderes" von denen 2 die folgenden individuelle Gründe angegeben haben:

- Was bisher kein Thema
- Produktionsbetrieb ohne eigene Produkte



Abbildung 33: Gründe gegen Einsatz digitale Zwillinge (n=52)

Meinungsänderung zur Implementierung von digitalen Zwillingen

Frage 28: Wie wahrscheinlich ist es, dass sich Ihre Meinung zur Implementierung von digitalen Zwillingen in Ihrem Unternehmen in 5 Jahren ändert?

Fasst man die Ergebnisse in der Abbildung 34 zusammen, kann gesagt werden, dass sich mehr als die Hälfte der Teilnehmenden eine potenzielle Meinungsänderung zur Implementierung von digitalen Zwillingen nicht vorstellen kann. Einzig eine Person (2%) von den 52 Befragten kann sich vorstellen, dass sich ihre Meinung zur Implementierung von digitalen Zwillingen in ihrem Unternehmen in den nächsten 5 Jahren wahrscheinlich ändern wird.

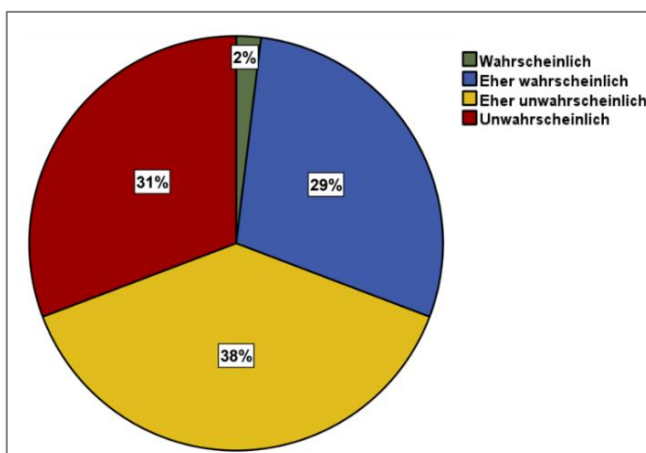


Abbildung 34: Meinungsänderung (n=52)

Weiterverfolgung dieses Themas

Frage 29: Werden Sie dieses Thema trotzdem weiterverfolgen?

Bezüglich der Frage, ob die Teilnehmenden dieses Thema trotzdem weiterverfolgen werden, antwortete mehr als die Hälfte der Befragten - also 35 Teilnehmende (67%) von 52 - mit "Ja". Die Anzahl Teilnehmenden, die als Antwort "Nein" gewählt haben, betrug 17 (33%).

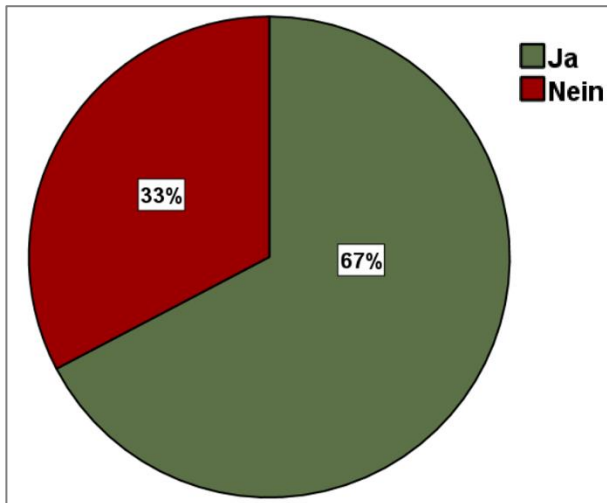


Abbildung 50: Weiterverfolgung des Themas (n=52)

3.2.7 Deskriptive Vergleiche und Zusammenhänge (Inferenzstatistik)

In den untenstehenden Tabellen werden die Unternehmen, welche bereits digitale Zwillinge einsetzen (Gruppe A) und die Unternehmen, welche digitale Zwillinge noch nicht einsetzen dies aber zukünftig beabsichtigen zu tun (Gruppe B) deskriptiv verglichen. Dazu werden die Antwortmöglichkeiten je Gruppe der Häufigkeit nach geordnet und Ränge vergeben. Die höchste Anzahl erhält dabei Rang 1, niedrigere Anzahlen entsprechend höhere Ränge.

Im ersten Vergleich stehen die Beweggründe für den (geplanten) Einsatz von digitalen Zwillingen in deren Unternehmen im Fokus. Wie zu erkennen ist, stimmt die Rangfolge sowohl bei der Gruppe A wie auch bei der Gruppe B überein, mit-der Ausnahme von "Neue/Weitere Geschäftsmodelle identifizieren", welche bei Gruppe B gleich oft ausgewählt wurde wie die Kategorie "Kundenbedürfnis". Somit war bzw. ist der grösste Beweggrund für die Implementierung von digitalen Zwillingen in Unternehmen insbesondere die Effizienzsteigerung. Zudem spielt auch der Aufbau eines Wettbewerbsvorteils eine zentrale Rolle.

Beweggrund für den (geplanten) Einsatz von digitalen Zwillingen	Gruppe A (n/Rang)	Gruppe B (n/Rang)
Effizienzsteigerung	19 (1)	18 (1)
Aufbau Wettbewerbsvorteil	13 (2)	16 (2)
Kundenbedürfnis	11 (3)	11 (3)
Neue / Weitere Geschäftsmodelle identifizieren	9 (4)	11 (3)
Konkurrenzdruck	5 (5)	3 (4)
Furcht Trend zu verpassen	2 (6)	1 (5)

Tabelle 9: Häufigkeit der Beweggründe von Gruppe A und Gruppe B

Anmerkung: n=119 (Gruppe A n=59; Gruppe B n=60)

In den folgenden Tabellen ist die aktuelle (Gruppe A) wie auch die erhoffte (Gruppe B) Wertgenerierung mit digitalen Zwillingen als durchschnittliche Beurteilung (\bar{X}) in den drei Produktlebenszyklusphasen BoL (Tabelle 10), MoL (Tabelle 11) und EoL (Tabelle 12) aufgezeigt. Wie in der Tabelle 10 ersichtlich ist, stimmt die Rangfolge der aktuellen Wertgenerierung mit der erhofften nicht überein. So wird von den Unternehmen, welche bereits digitale Zwillinge einsetzen, die grösste Wertgenerierung in der Beginning-of-Life-Phase (BoL) im Bereich der "Qualitätssteigerung" und "Verbesserte Produktentwicklung und kürzere Time-to-Market" beobachtet. Hingegen erhoffen sich Unternehmen, welche digitale Zwillinge zukünftig einsetzen werden, insbesondere Mehrwert im Bereich der "Kostenreduktion". Verglichen mit der Gruppe A ist dies weniger der Fall.

(Erhoffte) Wertgenerierung mit digitalen Zwillingen (BoL)	Gruppe A (\bar{X} /Rang)	Gruppe B (\bar{X} /Rang)
Qualitätssteigerung	3.06 (1)	3.30 (3)
Verbesserte Produktentwicklung und kürzere Time-to-Market	3.06 (1)	3.35 (2)
Optimierte Durchlaufzeiten und Termintreue	2.94 (2)	3.20 (4)
Besseres Kunden- und Marktverständnis	2.72 (3)	2.90 (6)
Verbesserte Angebots-Prozesse (z.B.. Konfiguration, Pricing)	2.61 (4)	2.95 (5)
Kostenreduktion	2.56 (5)	3.40 (1)
Bessere Kapazitätsauslastung	2.44 (6)	2.80 (7)
Echtzeiteingriff in Fabriksteuerung (Remote Control)	2.44 (6)	2.15 (9)
Verkleinerung der Losgrößen (Mass-Customization)	2.28 (7)	2.35 (8)

Tabelle 10: Mittelwert Wertgenerierung BoL Gruppe A und B

Anmerkung: n=38 (Gruppe A n=18; Gruppe B n=20)

Der Vergleich der Wertgenerierung stimmt in der Middle-of-Life (MoL)-Phase für die niedrigen Rängen mehrheitlich überein. So haben beide Gruppen die Prozessoptimierung / Bessere Performance und Qualitätssteigerung als höchstes rangiert. Laut Gruppe A wird am wenigsten Wert im Bereich des besseren Up und Cross-Selling generiert.

(Erhoffte) Wertgenerierung mit digitalen Zwillingen (MoL)	Gruppe A (\bar{X}/Rang)	Gruppe B (\bar{X}/Rang)
Prozessoptimierung / Bessere Performance	3.47 (1)	3.62 (1)
Qualitätssteigerung	3.20 (2)	3.46 (2)
Erhöhte Verfügbarkeit für Kunden	3.13 (3)	3.15 (4)
Kostenreduktion	2.87 (4)	3.08 (5)
Verbesserte Installation / Inbetriebnahme	2.80 (5)	3.31 (3)
Höhere Kundenzufriedenheit	2.73 (6)	3.31 (3)
Verbesserte Schulungen / Trainings für Kunden	2.47 (7)	2.85 (6)
Prädiktiver Service & Wartung (Vorausschauend)	2.40 (8)	3.15 (4)
Echtzeiteingriff in Produktsteuerung (Remote Control)	2.20 (9)	2.46 (8)
Präventiver Service & Wartung (Vorbeugend)	2.13 (10)	3.08 (5)
Neue Geschäftsmodelle	1.87 (11)	2.85 (6)
Besseres Up- und Cross-Selling	1.13 (12)	2.62 (7)

Tabelle 11: Mittelwert Wertgenerierung MoL Gruppe A und B

Anmerkung: n=28 (Gruppe A n=13; Gruppe B n=15)

In der End-of-Life (EoL) Phase generiert zurzeit lediglich 1 Unternehmen Wert und dies in den Bereichen "Besseres Up-Selling (z.B. Retrofit)" und "Mehr Wiederverkäufe, Ersatzkäufe der Kunden". Erhoffen tut sich die Gruppe B insbesondere Mehrwert in der "Sicherstellung korrekte Entsorgung" zu generieren gefolgt von der "Besseren Wiederverwendung von Komponenten und Wertstoffen" und "Besseres Up-Selling".

(Erhoffte) Wertgenerierung mit digitalen Zwillingen (EoL)	Gruppe A (\bar{X}/Rang)	Gruppe B (\bar{X}/Rang)
Besseres Up-Selling (z.B.. Retrofit)	3.00 (1)	3.00 (2)
Mehr Wiederkäufe, Ersatzkäufe der Kunden	3.00 (1)	2.83 (3)
Verbesserte Rückkauf-Prozesse	0.00	2.50 (5)
Support beim Weiterverkauf	0.00	2.67(4)
Bessere Wiederverwendung von Komponenten und Wertstoffen	0.00	3.00 (2)
Sicherstellung korrekte Entsorgung	0.00	3.33 (1)

Tabelle 12: Mittelwert Wertgenerierung EoL Gruppe A und B

Anmerkung: n=7 (Gruppe A n=1; Gruppe B n=6)

Wie zu Beginn erläutert, setzen derzeit rund 22% der Unternehmen digitale Zwillinge bereits ein. Des Weiteren beabsichtigen 25% zukünftig digitale Zwillinge in ihrem Unternehmen einzusetzen und 53% beabsichtigen die Implementierung von digitalen Zwillingen nicht. Im folgenden Abschnitt wird deshalb aufgezeigt, ob ein Zusammenhang zwischen dem Einsatz von digitalen Zwillingen in Unternehmen und dem Unternehmensalter, der Unternehmensgrösse oder der Branche besteht. Dazu wird einerseits das Verfahren des Spearman'sches Rho sowie der Kruskal-Wallis Test eingesetzt.

Zusammenhang mit dem Unternehmensalter

Für diese Untersuchung wurde die folgende Nullhypothese (H_0) formuliert:

*“Die beobachteten Häufigkeiten unterscheiden sich **nicht** signifikant von den erwarteten Häufigkeiten daher besteht zwischen dem Unternehmensalter und dem Einsatz von digitalen Zwillingen **kein signifikanter Zusammenhang**”*

Aufgrund der Tatsache, dass es sich hier um eine ordinal skalierte Variable handelt, wird für die Auswertung der Ergebnisse der Rangkorrelationskoeffizient von Spearman gewählt. Dabei wurde festgestellt, dass der Korrelationskoeffizient positiv ist (0.059) und der Signifikanzwert $p=0.56$ beträgt. Wie im Abschnitt 3.2.1 kommuniziert, wird die Nullhypothese (H_0) angenommen, falls das Signifikanzniveau $p \geq 0.05$ beträgt. Somit wird in diesem Fall die Nullhypothese angenommen und die beobachteten Häufigkeiten unterscheiden sich **nicht** signifikant von den erwarteten Häufigkeiten daher besteht zwischen dem Unternehmensalter und dem Einsatz von digitalen Zwillingen **kein signifikanter Zusammenhang**.

Die SPSS-Auswertungen zu dieser Untersuchung befinden sich im Anhang D.

Zusammenhang mit der Unternehmensgrösse

Für diese Untersuchung wurde die folgende Nullhypothese (H_0) formuliert:

*“Die beobachteten Häufigkeiten unterscheiden sich **nicht** signifikant von den erwarteten Häufigkeiten daher besteht zwischen der Unternehmensgrösse und dem Einsatz von digitalen Zwillingen **kein signifikanter Zusammenhang**”*

Auch bei dieser Untersuchung handelt es sich um eine ordinal skalierte Variable, weshalb die Auswertung der Ergebnisse anhand der Rangkorrelationskoeffizient von Spearman erfolgt ist. Dabei wurde festgestellt, dass der Korrelationskoeffizient negativ ist (-0.138)

und der Signifikanzwert $p=0.172$ beträgt. Die die Nullhypothese (H_0) wird angenommen, falls das Signifikanzniveau $p \geq 0.05$ beträgt. Somit wird in diesem Fall die Nullhypothese angenommen und die beobachteten Häufigkeiten unterscheiden sich **nicht** signifikant von den erwarteten Häufigkeiten. Es besteht zwischen der Unternehmensgrösse und dem Einsatz von digitalen Zwillingen **kein signifikanter Zusammenhang**.

Die SPSS-Auswertungen zu dieser Untersuchung befinden sich im Anhang E.

Zusammenhang mit der Branche

Für diese Untersuchung wurde die folgende Nullhypothese (H_0) formuliert:

*“Die beobachteten Häufigkeiten unterscheiden sich **nicht** signifikant von den erwarteten Häufigkeiten daher besteht zwischen der Branche des Unternehmens und dem Einsatz von digitalen Zwillingen **kein signifikanter Zusammenhang**”*

Da es sich bei dieser Untersuchung um eine ordinal skalierte Variable handelt und dabei mehr als zwei Gruppen vorliegen, wird für die Auswertung der Kruskal-Wallis Test herangezogen. Dadurch konnte festgestellt werden, dass ein Unterschied zwischen den vier Branchen (Maschinen- und Anlagenbau, Nahrungsmittel, Dienstleistung und Andere) vorliegt, denn $p=0.013$ bzw. $p \leq 0.05$. Um herauszufinden, zwischen welchen Branchen ein signifikanter Unterschied existiert, werden paarweise Vergleiche vorgenommen. Dabei musste der p-Wert neu auf $p=0.038$ korrigiert werden aufgrund der Mehrfachvergleiche (Multiples Testen). Folglich zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen dem Maschinen- und Anlagenbau und der Nahrungsmittelbranche, wobei letztere digitale Zwillinge seltener einsetzt. Somit unterscheiden sich **gewisse** Häufigkeiten **signifikant** von den erwarteten Häufigkeiten. Es besteht zwischen **gewissen** Branchen der Unternehmen und dem Einsatz von digitalen Zwillingen **ein signifikanter Zusammenhang**.

Die SPSS-Auswertungen zu dieser Untersuchung befinden sich im Anhang F-H.

4 Diskussion der Ergebnisse

Dieser Teil der Abschlussarbeit befasst sich mit der Interpretation der Ergebnisse und mit der Diskussion sowie mit der Beantwortung der Fragestellung samt Unterfragen. Ausserdem erfolgt nach der Methodenkritik zum Schluss ein Ausblick mit weiterführenden Überlegungen und Fragen.

4.1 Interpretation der Ergebnisse und Diskussion

Wie aus der Datenanalyse hervorgeht, setzen derzeit nur 22% der befragten Unternehmen digitale Zwillinge ein. Dass dies kein grosser Anteil ist, bestätigt auch unser Forschungsstand, welcher besagt, dass in der Schweiz die Implementierung von digitalen Zwillingen eher eine Ausnahmerecheinung ist. Wiederum bestätigt ist das erwähnte steigende Interesse seitens der Unternehmen, denn 25% der befragten Firmen möchten digitale Zwillinge zukünftig auch einsetzen. So kann zusammenfassend gesagt werden, dass in ferner Zukunft knapp die Hälfte der Teilnehmenden (47%) in ihren Unternehmen digitale Zwillinge im Einsatz haben werden. Ob sich dieses Wachstum auch zukünftig fortsetzen wird, ist schwer vorherzusagen, so handelt es sich bei der Umfrage um eine Bestandesaufnahme. Weiter haben rund 69% der befragten Unternehmen, welche zurzeit keine digitalen Zwillinge einsetzen und dies auch nicht beabsichtigen zu tun, angegeben, dass sich ihre Meinung zur Implementierung in den nächsten 5 Jahren mit grösster Wahrscheinlichkeit nicht ändern wird. Jedoch haben 67% auch angegeben, dass sie dieses Thema weiterhin verfolgen werden, weswegen doch noch die Chance besteht, dass sich ihre Meinung, trotz ihrer jetzigen Abneigung zur Implementierung, in ferner Zukunft ändern könnte. Zudem ist zu erwähnen, dass die Mehrheit der Gruppe C als Beweggrund ein nicht passendes Geschäftsmodell angegeben hat. In anderen Worten üben demnach die Unternehmen keine Kritik an das Zwillingskonzept aus, sondern man findet schlicht keine Einsatzmöglichkeit wegen dem fehlenden Geschäftsmodell. Ebenfalls kann dank der positiven Rezension der Gruppe A bezüglich der Leistung von digitalen Zwillingen in deren Unternehmen (91%) ein Umdenken bei den Unternehmen der Gruppe C stattfinden.

Eine wichtige Erkenntnis dieser Arbeit zum Status Quo bezüglich den Einsatzphasen im Lebenszyklus ist, dass die Unternehmen, welche digitale Zwillinge bereits implementiert haben, diese am häufigsten (82%) in der Beginning-of-Life (BoL)-Phase einsetzen und am wenigsten oft in der End-of-Life (EoL)-Phase. Diese Entscheidung ist

nachvollziehbar, denn immerhin handelt es sich bei der BoL-Phase um die erste Phase des Lebenszyklus und diese entscheidet schlussendlich in den meisten Fällen über den Erfolg des Produkts. Wie im theoretischen Rahmen erwähnt worden ist, findet in dieser Phase die Produktentwicklung statt – also von dem Design des Produktes bis hin zum Material und der Produktfunktion. Aufgrund der Tatsache, dass als nächstes der Prozessschritt der Produktion folgt, muss von Beginn an sichergestellt werden, dass es keine Fehler gibt, um weitere Aufwände und Kosten zu vermeiden. Somit können dank dem Einsatz von digitalen Zwillingen in die BoL-Phase entscheidende Optimierungen gewährleistet werden. Ein weiterer Grund, weshalb Digital Twins sehr oft in der BoL-Phase eingesetzt werden, ist die verkürzte Prototypzeit und demnach die Time-to-Market. Dies bestätigt auch unser Umfrage-Resultat, so wurde nebst einer Verzeichnung der Qualitätssteigerung die Time-to-Market (Vorlaufzeit) als häufigster generierter Wert beobachtet. Laut Siemens Schweiz kann die Vorlaufzeit sogar um bis zu 50% verkürzt werden und folglich können dank dem schnelleren Markteintritt Kosten gesenkt und demnach ein grösserer Umsatz generiert werden, denn bekanntlich kostet Zeit Geld (Siemens Schweiz, 2020). Auch die Erkenntnis, dass digitale Zwillinge in der EoL-Phase seltener eingesetzt werden (5%) als in den restlichen zwei Phasen (BoL und MoL) ist verständlich, schliesslich handelt es sich dabei um die letzte Phase des Produktlebenszyklus. So wird in dieser Phase die Herstellung des Produkts aufgrund des Umsatzrückgangs eingestellt. Weil dieses Produkt keine Einnahmen für das Unternehmen mehr generiert, kann davon ausgegangen werden, dass kein grosser Anreiz existiert, digitale Zwillinge in dieser Phase einzusetzen, denn der Endprozess kostet ausschliesslich Geld. Weiter ist die mögliche Anzahl der Wertgenerierungen in dieser Phase verglichen mit den anderen zwei Phasen kleiner.

Auch die Unternehmen, welche digitale Zwillinge noch nicht einsetzen, aber dies beabsichtigen zukünftig zu tun, haben angegeben, dass sie diese voraussichtlich am häufigsten in die BoL-Phase und am seltensten in die EoL-Phase einsetzen werden. Somit kann von einer Gemeinsamkeit mit den Unternehmen, welche digitale Zwillinge bereits einsetzen, gesprochen werden. Der Autor geht deshalb von den gleichen oben genannten Gründen für dieses Ergebnis aus. Überrascht hat den Verfasser dieser Arbeit der Punkt, dass die Mehrheit der Teilnehmenden (68%) angegeben hat, dass die Covid-19-Pandemie keinen Einfluss auf ihr Projekt "Digitale Zwillinge" hat. Das könnte die Vermutung nahelegen, dass nur 3 der 25 befragten Unternehmen (12%) innerhalb von einem Jahr

digitale Zwillinge in ihr Unternehmen einsetzen möchten und deshalb von der Pandemie betroffen sind.

Bezüglich der Unternehmen, welche digitale Zwillinge nicht einsetzen und dies auch zukünftig nicht beabsichtigen zu tun, ist es nicht überraschend, dass das fehlende Know-how als einer der Gründe dafür genannt wurde. Dass dies tatsächlich eine Herausforderung für die Unternehmen ist, hat der Abschnitt 2.1.4 im theoretischen Rahmen bereits gezeigt. Aufgrund der fehlenden einheitlichen Definition und folglich der Unklarheit des Konzeptes sind für viele Unternehmen die Anforderungen für die Realisierung von digitalen Zwillingen oft unklar.

Erstaunt haben den Autor dieser Bachelorarbeit die Resultate der Inferenzstatistik. Er hat angenommen, dass ein Zusammenhang zwischen dem Alter des Unternehmens und dem Einsatz von digitalen Zwillingen existiert. So bringen ältere Unternehmen einerseits eine bestimmte finanzielle Stabilität mit sich und haben bereits viel Erfahrung im Bereich der Strategieberatung gesammelt. Ein statistischer Zusammenhang konnte jedoch nicht festgestellt werden. Der Grund dafür könnte sein, dass junge Unternehmen die erforderliche IT-Infrastruktur schon von Beginn an installieren und somit keine Umstrukturierungen notwendig sind. Dadurch können sie im Prozess (Digital Stages) direkt einsteigen und digitale Zwillinge umgehend bzw. schneller nutzen.

Tatsächlich konnte ein Zusammenhang zwischen der Branche und dem Einsatz von digitalen Zwillingen gefunden werden. So wurde festgestellt, dass Unternehmen in der Nahrungsmittelbranche seltener digitale Zwillinge einsetzen als diejenigen im Maschinen- und Anlagenbau. Eine Begründung für diese Schlussfolgerung könnte die hohe Innovationsfähigkeit der Schweizer Maschinenindustrie sein. Zudem war es diese Industrie, welche das Potenzial der Zwillinge sehr früh erkannt und dementsprechend implementiert hat.

Beim deskriptiven Vergleich ist aufgefallen, dass die Rangfolge der generierten Werte der Gruppe A mit den erhofften Werten der Gruppe B grösstenteils übereinstimmen. So generieren beispielsweise die Unternehmen der Gruppe A den grössten Mehrwert in der MoL-Phase für die Prozessoptimierung/Bessere Performance, wobei sich Gruppe B dasselbe erhofft. Der Grund für diese Übereinstimmung könnte sein, dass die Gruppe B sich höchstwahrscheinlich bereits mit diesem Thema auseinandergesetzt hat und sich deshalb bewusst ist, in welchen Bereichen mit digitalen Zwillingen Wert generiert werden kann und in welchen weniger.

Obwohl interessante Ergebnisse aus der Umfrage entstanden sind, müssen diese mit Vorsicht betrachtet werden, denn aufgrund der kleinen Stichprobe ist die Repräsentativität nicht gegeben.

4.2 Beantwortung der Forschungsfragen und Unterfragen

Forschungsfrage 1:

Wie viele der befragten Unternehmen in der Schweiz setzen bereits digitale Zwillinge ein (Gruppe A)?

Von den 99 befragten Firmen in der Schweiz haben 22 Unternehmen (22%) angegeben, dass sie bereits digitale Zwillinge in ihrem Unternehmen einsetzen. Dies entspricht etwa einem Fünftel aller Teilnehmenden.

Wie viele der befragten Unternehmen planen mit welchen Zeithorizonten digitale Zwillinge zukünftig einzuführen (Gruppe B)?

Die Anzahl der befragten Unternehmen, welche digitale Zwillinge noch nicht einsetzen, aber dies zu tun planen, beträgt 25 (25%) von 99 Befragten und entspricht einem Viertel aller Teilnehmenden. Bezogen auf den Zeithorizont möchten 3 Unternehmen (12%) ihre digitalen Zwillinge bereits innerhalb eines Jahres einführen und weitere 13 Unternehmen (52%) in den nächsten 1-2 Jahren. 8 Unternehmen haben sich zum Ziel gesetzt, digitale Zwillinge in den nächsten 3-4 Jahren zu implementieren und 1 Unternehmen (4%) wird nach 6 Jahren dasselbe tun.

Wie viele der befragten Unternehmen setzen zurzeit keine digitalen Zwillinge ein und beabsichtigen dies auch zukünftig nicht zu tun (Gruppe C)?

52 Unternehmen (53%) der 99 befragten Firmen setzen derzeit keine digitalen Zwillinge ein und beabsichtigen dies aus bestimmten Gründen auch zukünftig nicht zu tun. Dies entspricht rund der Hälfte aller Teilnehmenden.

Forschungsfrage 2:

Wie hoch ist der Anteil der befragten Unternehmen, die digitale Zwillinge in den Phasen BoL, MoL und EoL zurzeit einsetzen (Gruppe A)?

Der Anteil befragte Unternehmen, welche digitale Zwillinge in die Beginning-of-Life Phase (BoL) einsetzen, beträgt 82% (18 von 22 Unternehmen). In der Middle-of-Life (MoL) Phase werden digitale Zwillinge zu rund 68% (15 Unternehmen) eingesetzt und lediglich 5% (1 Unternehmen) setzen diese in die End-of-Life (EoL) Phase ein. Von den 22 befragten Unternehmen haben 7 Teilnehmende (32%) ihre digitalen Zwillinge ausschliesslich für die BoL Phase implementiert. Ausserdem setzen 4 Unternehmen diese nur in die MoL Phase ein und kein Teilnehmender setzt diese ausschliesslich in die EoL-Phase ein. Jedoch setzen 10 Unternehmen (45%) diese in den beiden Phasen BoL & MoL ein und 1 Befragter hat digitale Zwillinge über alle drei Phasen implementiert.

Wie hoch ist der Anteil der befragten Unternehmen, die digitale Zwillinge in den Phasen BoL, MoL und EoL beabsichtigen einzusetzen (Gruppe B)?

Der Anteil befragter Unternehmen, welche beabsichtigen digitale Zwillinge in die Beginning-of-Life (BoL)-Phase einzusetzen, beträgt 80% (20 der 25 Unternehmen). Rund 52% (13 Unternehmen) werden voraussichtlich digitale Zwillinge in die Middle-of-Life (MoL) -Phase einsetzen und 24% (6 Unternehmen) in die End-of-Life (EoL)-Phase. 10 Unternehmen (40%) beabsichtigen digitale Zwillinge ausschliesslich in die BoL-Phase einzusetzen und 3 Firmen nur für die MoL-Phase. Einzig 1 Unternehmen (4%) plant digitale Zwillinge ausschliesslich in die EoL-Phase zu implementieren. Zusätzlich sollen bei 5 Unternehmen (20%) Digital Twins gemeinsam in den beiden Phasen BoL und MoL zum Einsatz kommen und bei weiteren 5 Firmen (20%) über alle drei Phasen.

a) Wie viele der befragten Unternehmen, welche bereits digitale Zwillinge eingeführt haben, setzen diese in die BoL-Phase für Kunden- & Marktanalyse, Produktplanung, Produktentwicklung, Produktion, Marketing & Sales und Distribution & Inbetriebnahme ein (Gruppe A)?

Insgesamt beschäftigen 18 Unternehmen digitale Zwillinge in der BoL Phase, wovon 5 Teilnehmende (28%) diese für die Kunden- und Marktanalyse einsetzen, weitere 11 Teilnehmende (61%) für die Produktplanung sowie die grösste Anzahl Unternehmen, nämlich 15 (83%), für die Produktentwicklung. Weiter haben 13 Unternehmen (72%) Digital Twins für die Produktion und 7 Unternehmen (39%) für das Marketing & Sales implementiert. Schliesslich werden diese von 9 Unternehmen (50%) für die Distribution & Inbetriebnahme eingesetzt.

b) Wie viele der befragten Unternehmen, welche bereits digitale Zwillinge eingeführt haben, setzen digitale Zwillinge in die MoL-Phase für Schulung, Leistungsoptimierung, Service & Wartung und Upgrades & Updates ein (Gruppe A)?

Unter den insgesamt 15 Unternehmen, welche digitale Zwillinge in die MoL-Phase implementiert haben, werden diese von 6 Teilnehmenden (40%) für die Schulung eingesetzt. 9 Unternehmen (60%) setzen sie für die Leistungsoptimierung ein und die grösste Anzahl der Befragten (11 Unternehmen, 73%) für Service & Wartung. Zudem haben 8 Firmen (53%) digitale Zwillinge für Upgrade & Updates implementiert.

c) Wie viele der befragten Unternehmen, welche bereits digitale Zwillinge eingeführt haben, setzen digitale Zwillinge in der Phase EoL ein für Weiterverkauf, Rückkauf und Verwertung (Gruppe A)?

Lediglich 1 Unternehmen (5%) von 22 hat digitale Zwillinge in die EoL-Phase implementiert, darunter für Weiterverkauf (100%) und Verwertung (100%). Für den Prozessschritt Rückkauf werden bei diesem Unternehmen keine Digital Twins eingesetzt.

d) Was sind die Gründe für den Einsatz von digitalen Zwillingen (Gruppe A&B)?

Der Hauptgrund, weshalb die befragten Unternehmen digitale Zwillinge einsetzen bzw. beabsichtigen, sie einzusetzen, ist insbesondere die Effizienzsteigerung (Ø79%), gefolgt von dem Grund "Aufbau Wettbewerbsvorteil" (Ø62%). Zudem wurden "Kundenbedürfnis" (Ø47%), "Neue/Weitere Geschäftsmodelle identifizieren" (Ø43%) sowie "Konkurrenzdruck" (Ø18%) angegeben. Schliesslich wurde der Grund "Furcht Trend zu verpassen" (Ø7%) angegeben. Weitere individuelle Gründe der Teilnehmenden für einen Einsatz sind Soft- / Hardwarequalität, kürzere und effizientere Berechnungszeiten in Projektphase sowie eine sinnvollere Kostenübersicht.

Forschungsfrage 3:

Existieren Zusammenhänge zwischen dem Einsatz von digitalen Zwillingen in Unternehmen und dem Unternehmensalter, der Unternehmensgrösse oder der Branche?

In der Auswertung konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Einsatz von digitalen Zwillingen und dem Unternehmensalter festgestellt werden. Auch bezüglich der Unternehmensgrösse hat sich keine statistische Signifikanz gezeigt. Allerdings konnte zwischen dem Einsatz von digitalen Zwillingen und der Branche ein signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden. So konnte herausgefunden werden, dass

Unternehmen in der Nahrungsmittelbranche seltener digitale Zwillinge einsetzen als im Maschinen- und Anlagenbau.

4.3 Kritische Würdigung

Nach Abschluss der Diskussion und Beantwortung der Fragestellungen befasst sich dieser Abschnitt mit der kritischen Reflexion der Methode, der Aussagekraft und der Bedeutsamkeit dieser Untersuchung.

Fragebogenkonstruktion

Die Gestaltung des Fragebogens erwies sich als eine Herausforderung und nahm dementsprechend viel Zeit in Anspruch. Insbesondere die Tatsache, dass sich der Fragebogen in drei Hauptteile (Fragen 3-29) gliedert, aufgrund der variierten Fragestellungen bezogen auf die drei Gruppen (A, B und C), erschwerte den Ablauf. Das oberste Ziel war es, dass die Teilnehmenden der drei Gruppen auch nur die für sie spezifischen Fragen erhalten und beantworten. Diese Herausforderung musste mehrmals überprüft werden, bevor der Fragebogen definitiv an die Teilnehmenden versendet wurde.

Frageformen und Formulierungen

Den Teilnehmenden wurde die Möglichkeit geboten, nebst den vorgegebenen Kategorien nicht vorgesehene Antworten unter "Andere" zu nennen. Dadurch sollte einerseits sichergestellt werden, dass man zusätzliche individuelle Daten sammelt, dass man aber auch andererseits wegen Interpretationsschwierigkeiten seitens der Teilnehmenden keine Daten bezogen auf die Kategorien verliert. Obwohl diese Frageform Vorteile mit sich bringt, ist sie zugleich bezogen auf die Datenauswertung auch aufwendig. So wurde die Kategorie "Andere" im Verlauf der Umfrage sehr oft ausgewählt, was schliesslich zu einem hohen prozentualen Anteil verglichen zu den anderen Kategorien führte. Demnach mussten die Kategorien neu und logisch gruppiert werden. Ausserdem wurden in einigen Fällen auch keine individuellen Gründe angegeben, da es sich um ein leeres Textfeld handelt. Dies wiederum führte nicht zu neuem Datengewinn. Demnach sollte im Voraus genau überprüft werden, bei welchen Fragen sich diese Frageform lohnt und bei welchen nicht. Ein weiterer und entscheidender Punkt, der im Nachhinein als sinnvoll erscheint, ist die präzise Formulierung der Fragestellung und Kategorien. Dies stellte sich beim Datenauswertungsprozess heraus, denn bei der Frage nach dem Fachbereich der Teilnehmenden wurde die Kategorie "Management" sehr oft ausgewählt. Das zugrundeliegende Problem ist die zu breite Bedeutung des Wortes. So konnte nicht mehr

eruiert werden, ob es sich dabei beispielsweise um das Key Management, Management Consultant oder Strategic Management handelt, was für eine präzise Auswertung von Vorteil gewesen wäre. Die gleiche Problemstellung trat bei der Frage 11 auf (In welchen weiteren Phasen des Produktlebenszyklus plant Ihr Unternehmen digitale Zwillinge in den nächsten 5 Jahren einzusetzen?). Nämlich haben einige der befragten Unternehmen bei dieser Fragestellung nochmals die gleichen Phasen ausgewählt wie zuvor bei der Frage 4 (In welchen Phasen des Produktlebenszyklus werden digitale Zwillinge in Ihrem Unternehmen zurzeit eingesetzt?). Somit beantwortete die eine Hälfte der Teilnehmenden diese Frage, ohne die gleichen Phasen wieder zu nennen, sprich nur die Phasen, die sie zukünftig einsetzen werden, und die andere Hälfte antwortete mit denselben Phasen. Somit entstand eine Vermischung der Antworten bei dieser Fragestellung. Deshalb ist die genaue Präzisierung der Kategorien sowie der Fragestellung von hoher Bedeutung.

Skalen

Bei der Likert-Skala, welche bei der Fragestellung bezüglich der Wertgenerierung zum Einsatz kam, kann im nachhinein bemängelt werden, dass die Option "Nicht beurteilbar" wählbar war. Dies ist aus dem Grund kritisch zu sehen, da es die Gefahr einer Antworttendenz birgt. Mit anderen Worten neigen Teilnehmer dazu diese Antwortmöglichkeit sehr oft auszuwählen, was wiederum eine Verzerrung der Ergebnisse zur Folge haben kann. Zudem wurde während der Datenauswertung im SPSS bemerkt, dass die Codierung bei den ordinal-skalierten Variablen verschieden ist. So ist beispielsweise bei der Frage 13 nach der Zufriedenheit der Leistung mit digitalen Zwillingen der Gruppe A die Skala von 1 (Unzufrieden) bis 4 (Zufrieden) skaliert, wobei bei Frage 28 nach der Wahrscheinlichkeit die Skala von 1 (Wahrscheinlich) bis 4 (Unwahrscheinlich) reicht. Somit stimmt die Rangfolge der Codierung nicht, was wiederum zu mehr Aufwand geführt hat.

Stichprobenumfang

Bedauerlicherweise war die Stichprobe zu klein, um aussagekräftige bzw. repräsentative Aussagen machen zu können. Sie musste durch die Datenbereinigung von 103 Teilnehmenden auf 99 verkleinert werden. Insbesondere bei Abschnitt 3.2.7 sollte die Repräsentativität der Ergebnisse bezogen auf die Zusammenhänge (Inferenzstatistik) aufgrund der zu kleinen Stichprobe angezweifelt werden.

4.4 Fazit und Ausblick

Dank den Teilnehmenden der Online-Umfrage und den daraus resultierenden Ergebnissen konnte in der vorliegenden Bachelorarbeit ein aktuelles Bild über die Situation in der Schweiz in Bezug auf digitale Zwillinge und deren Wertgenerierung erarbeitet werden. Die Interpretation und Diskussion der Ergebnisse haben gezeigt, dass es schwierig ist, abzuschätzen, ob ein tatsächliches Wachstum bezüglich der Realisierung von digitalen Zwillingen in Unternehmen in der Schweiz in den nächsten Jahren stattfinden wird, jedoch spricht eine leichte Tendenz dafür. Dass digitale Zwillinge in allen drei Phasen des Produktlebenszyklus einsetzbar sind, ist bekannt, jedoch werden diese, wie unser Umfrageergebnis gezeigt hat, am häufigsten in der ersten Phase, der Beginning-of-Life (BoL)-Phase eingesetzt. Innerhalb der Phasen können Unternehmen in den verschiedenen Prozessschritten dank der Implementierung von digitalen Zwillingen viel Nutzen generieren wie beispielsweise den schnelleren Markteintritt durch die verkürzte Prototypzeit. Bevor dies jedoch geschieht, müssen einige Hindernisse überwunden werden. So müssen die Unternehmen einen bestimmten Wissensstand bezüglich der Realisierung von Digital Twins mitbringen und eine ausreiche IT-Infrastruktur aufweisen. Dass das Unternehmensalter wie die Unternehmensgrösse (Anzahl Mitarbeitende) in Zusammenhang mit dem Einsatz von digitalen Zwillingen stehen, wurde durch die Inferenzstatistik verneint. Bei der Unternehmensbranche sieht es anders aus, denn es wurde bewiesen, dass im Maschinen- und Anlagenbau Digital Twins öfter eingesetzt werden als in der Nahrungsmittelbranche.

Ausgehend von den Ergebnissen dieser Arbeit sind weiterführende Untersuchungen vorstellbar. Einerseits sollte aufgrund des geringen Forschungsstands die Gewinnung von weiteren Erkenntnissen zu digitalen Zwillingen in der Schweiz im Fokus stehen. Das kann durch zusätzliche Studien geschehen. So sollte das Ziel dieser Studien insbesondere die Repräsentativität sein, damit die gewonnen Erkenntnisse auch genutzt werden können. Andererseits wäre auch ein Experteninterview mit einem Unternehmen in der Schweiz, welches digitale Zwillinge bereits seit längerer Zeit einsetzt, denkbar oder auch mit Firmen, die Unternehmen im Realisierungsprozess unterstützen. Dabei kann vom Fachwissen der Experten profitiert werden; zudem ist eine vertiefte Analyse möglich.

Literaturverzeichnis

- Barth, L., & Ehrat, M. (2020). *Value Creation with Digital Twins – a Conceptual Framework*. Abgerufen von <https://blog.zhaw.ch/marketingmanagement/value-creation-with-digital-twins-a-conceptual-framework/>
- Barth, L., Ehrat, M., Fuchs, R., & Haarmann, J. (2020). *Systematization of digital twins: ontology and conceptual framework*. 3rd International Conference On Information Science And Systems ICISS 2020, Cambridge. Abgerufen von <https://digitalcollection.zhaw.ch/handle/11475/20021>
- Bortz, J. & Lienert, G. (1998). *Kurzgefasste Statistik für die klinische Forschung: Leitfaden für die verteilungsfreie Analyse kleiner Stichproben*. Auflage: 1. Auflage. Berlin: Springer Berlin
- DB Systel (2020). *Digital Twin – Zwischen den Welten*. Abgerufen von https://www.dbsystel.de/resource/blob/5654212/b0c1fa2596dc441d8525c6f53e3ff856/200930_Digital-Trend-Studie_Digital-Twin_FINAL-data.pdf
- Detecon (2019). *Detecon-Studie*. Abgerufen von <https://www.detecon.com/de/detecon-studie-unternehmen-erstellen-einsatzkonzepte-fuer-digitalen-zwilling>
- Di Pane, F. (2021). *Der digitale Zwilling: Eine zukunftsweisende Innovation*. Abgerufen von <https://fokus.swiss/business/innovation/der-digitale-zwilling-eine-zukunftsweisende-innovation/>
- Eckey, F., Kosfeld, R. & Türck, M. (2005). *Deskriptive Statistik. Grundlagen – Methoden – Beispiele – Aufgaben*. Auflage: 4. Auflage. Wiesbaden: Gabler-Verlag
- Economiesuisse (2020). *Start-ups: Jungunternehmen mit grossem Innovationspotenzial*. Abgerufen von <https://www.economiesuisse.ch/de/dossier-politik/1-start-ups-jungunternehmen-mit-grossem-innovationspotenzial>
- Elliot, A., & Hynan, L. (2010). *A SAS macro implementation of a multiple comparison post hoc test for a Kruskal-Wallis analysis*. Working paper Nr. 102. Dallas, TX: Elsevier Ireland

- Fraunhofer IOSB (2021). *Digitaler Zwilling*. Abgerufen von <https://www.iosb.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/automatisierung-digitalisierung/anwendungsfelder/digitaler-zwilling.html>
- Fraunhofer IPK (2020). *Studie zum Digitalen Zwilling in der fertigen Industrie*. Abgerufen von <https://www.ipk.fraunhofer.de/de/publikationen/markt-trendstudien/digital-twin-readiness-assessment.html>
- Grieves, M., & Vickers, J. (2017). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. In F. Kahlen, S. Flumerfelt & A. Alves (Hrsg.): *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*. S. 85-113. Cham: Springer International Publishing.
- Grieves, M. (2015). *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*. Abgerufen von https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication
- Grösser, S. (2021). *Definition: Was ist "Digitaler Zwilling"?*. Abgerufen von <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/digitaler-zwilling-54371>
- Hartmaier, S. (2018). *Der digitale Zwilling in der Industrie 4.0: Doppelt hält besser*. Abgerufen von <https://www.ibm.com/blogs/think/de-de/2018/11/digitale-zwilling-in-der-industrie-4-0/>
- Hofmann, A. (2019). *Predictive Quality Management mit modellbasierten Services in kollaborierenden Netzwerken*. Vortrag anlässlich Entwerfen Entwickeln Erleben in Produktentwicklung und Design - EEE2019, Dresden. Abgerufen von https://tud.qucosa.de/landing-page/?tx_dlf%5bid%5d=https%3A%2F%2Ftud.qucosa.de%2Fapi%2Fqucosa%253A36934%2Fmets
- Jandura, O. (2018). Fake Data?. In P. Rössler & C. Rossmann (Hrsg.): *Kumulierte Evidenzen*. S. 207-223. Wiesbaden: Springer Fachmedien
- Klostermeier, R., Haag, S., & Benlian, A. (2018). Digitale Zwillinge – Eine explorative Fallstudie zur Untersuchung von Geschäftsmodellen. In S. Meinhardt & A. Pflaum (Hrsg.): *Digitale Geschäftsmodelle - Band 1*. S. 255–268. Wiesbaden: Springer Vieweg.

- Kuckartz, U., Rädiker, S., Ebert, T., & Schehl, J., (2013). *Statistik – Eine verständliche Einführung*. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien
- Massonet, A., Kiesel, R., & Schmitt, R. (2020). Der digitale Zwilling über den Produktlebenszyklus. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)*, 115 (2020) Special, S.97.
- Mittelstand Heute (2019). *Digitaler Zwilling: Wenn Maschinen sprechen lernen*. Abgerufen von <https://www.mittelstand-heute.com/artikel/digitaler-zwilling-wenn-maschinen-sprechen-lernen>
- Munzert, M. (2015). *Landwirtschaftliche und gartenbauliche Versuche mit SAS*. Auflage: 2015. Berlin Heidelberg: Springer Spektrum
- Neue Zürcher Zeitung (2019). *Ein digitaler Zwilling*. Abgerufen von <https://www.nzz.ch/themen-dossiers/zukunft-bauen/ein-digitaler-zwilling-ld.1492082>
- Nomoko (2021). Unlock the potential of industry through the power of Digital Twins. Abgerufen von <https://nomoko.world/>
- Panetta, K. (2020). *5 Trends bestimmen den Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies 2020*. Abgerufen von <https://www.gartner.de/de/artikel/5-trends-bestimmen-den-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2020>
- Panetta, K. (2017). *Top Trends in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017*. Abgerufen von <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/>
- Penfold, Andy (2020). *Why digital twins could be the next big thing in IoT*. Abgerufen von [https://www.securityandsafetythings.com/insights/digital-twins-next-big-thing#:~:text=Gartner%20predicts%20that%20by%202021,\(CAGR\)%20of%2045.4%25.](https://www.securityandsafetythings.com/insights/digital-twins-next-big-thing#:~:text=Gartner%20predicts%20that%20by%202021,(CAGR)%20of%2045.4%25.)
- Qualtrics (2021). *Fragetypen: Merkmale und Funktionen in Umfragen*. Abgerufen von <https://www.qualtrics.com/de/erlebnismanagement/marktforschung/fragetypen/>
- Rosen, R., von Wichert, G., Lo, G., & Bettenhausen, K. (2015). About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), S. 567 – 572.

- Siemens Schweiz (2020). *Siemens Schweiz treibt die Digitalisierung der Schweiz voran*. Abgerufen von <https://press.siemens.com/ch/de/pressemitteilung/siemens-schweiz-treibt-die-digitalisierung-der-schweiz-voran>
- Singh, S., Shehab, E., Higgins, N., Fowler, K., Tomiyama, T., & Fowler, C. (2018). *Challenges of Digital Twin in High Value Manufacturing*. Konferenz SAE 2018 4th Aerospace Systems and Technology Conference, London. Abgerufen von <https://research.nu.edu.kz/en/publications/challenges-of-digital-twin-in-high-value-manufacturing>
- Steiner, E. & Benesch, M. (2015). *Der Fragebogen. Von der Forschungsidee zur SPSS-Auswertung*. 5. Auflage. Wien: Facultas
- Steland, A. (2007). *Basiswissen Statistik*. Auflage: 1. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Verlag
- Schnicke, F. & Kuhn, T. (2020). *Digitale Zwillinge: Aufbau der Industrie 4.0 - IT-Infrastruktur*. Abgerufen von <https://www.iese.fraunhofer.de/blog/digitale-zwillinge-it-infrastruktur/>
- Schuh, G., Blum, M., Reschke, J., & Birkmeier, M. (2017). Der Digitale Schatten in der Auftragsabwicklung. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)*, 111 (2016) 1-2, S. 48.
- Schäfer, T. (2011). *Statistik II Inferenzstatistik*. Auflage: 1. Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften
- Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2017). *Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data*. Working paper Nr. 94. London: Springer-Verlag
- Voss, R. (2017). *Wissenschaftliches Arbeiten*. 5. Auflage. München: UVK Verlagsgesellschaft mbH.

Anhang

Anhang A: Fragebogen.....	XIII
Anhang B: Einladungsschreiben zur Online-Umfrage.....	XXXIII
Anhang C: Deskriptive Auswertung	XXXIV
Anhang D: Zusammenhang Unternehmensalter.....	XXXV
Anhang E: Zusammenhang Unternehmensgrösse.....	XXXVI
Anhang F: Zusammenhang Branche	XXXVII
Anhang G: Zusammenhang Branche (Grobe Einteilung)	XXXVIII
Anhang H: Zusammenhang Branche (Kruskal-Wallis Test).....	XXXIX

Anhang A: Fragebogen

Liebe Teilnehmerin

Lieber Teilnehmer

Vielen Dank für Ihr Interesse an dieser Umfrage, die ich im Rahmen meiner Bachelorarbeit an der ZHAW School of Management and Law durchführe. Ziel dieser Befragung ist die Eruierung des Status Quo bezüglich dem Einsatz von digitalen Zwillingen in Unternehmen in der Schweiz sowie deren Einsatzmöglichkeiten im Produktlebenszyklus. Die Umfrage dauert zwischen 5-10 Minuten.

Für den Erfolg der Studie ist es wichtig, dass Sie den Fragebogen vollständig ausfüllen. Die Teilnahme ist freiwillig und anonym. Mit dem Beginn der Umfrage bestätigen Sie, dass Sie damit einverstanden sind, dass Ihre Daten für Forschungszwecke verwendet werden dürfen. Alle Angaben werden jedoch vertraulich behandelt und es können keine Rückschlüsse auf Ihre Person oder Ihr Unternehmen gemacht werden.

Bei Fragen oder Anmerkungen können Sie mich gerne jederzeit kontaktieren unter:

savicnik@students.zhaw.ch

Vielen Dank für Ihre wertvolle Unterstützung!

Nikola Savic

Da zahlreiche Ansätze zur Definition von digitalen Zwillingen existieren, bitte ich Sie, um ein vergleichbares Ergebnis zu erhalten, die Fragen auf Basis der folgenden Definition zu beantworten:

"Der digitale Zwilling ist die virtuelle Darstellung eines physischen Objekts, Prozesses oder Systems während seines Lebenszyklus (BoL, MoL, EoL)* unter Verwendung von Betriebsdaten und anderen Quellen, um Verständnis, Lernen, Schlussfolgern und dynamische Neu-Kalibrierung für verbesserte Entscheidungen zu ermöglichen."

* Beginning-of-Life (BoL) / Middle-of-Life (MoL) / End-of-Life (EoL)

Frage 1

Welches Vorwissen ist in Bezug zu digitalen Zwillingen vorhanden?

- Niedriges Vorwissen**
- Mittleres Vorwissen**
- Hohes Vorwissen**

Frage 2

Setzen Sie bereits digitale Zwillinge entlang dem Produktlebenszyklus in Ihrem Unternehmen ein?

- Ja**
- Noch nicht (in Planung)**
- Nein und nicht vorgesehen**

Frage 3 (Gruppe A)

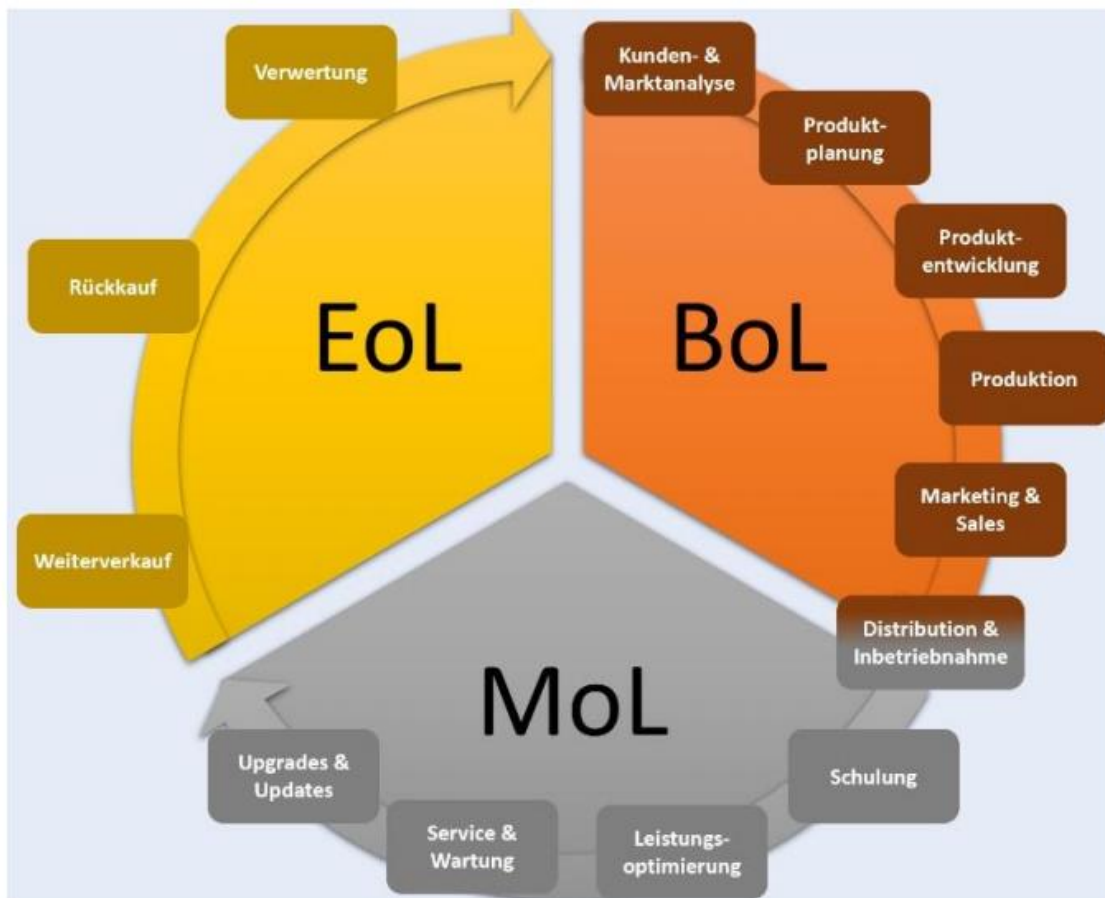
Sind Sie für die digitalen Zwillinge in Ihrem Unternehmen direkt verantwortlich oder Teil des verantwortlichen Teams?

- Ja
- Nein

Frage 4

Produktlebenszyklus

Abgebildet sehen Sie den Produktlebenszyklus. Bitte nehmen Sie bei der Beantwortung der Frage auf diesen Bezug.



In welchen Phasen des Produktlebenszyklus werden digitale Zwillinge in Ihrem Unternehmen zurzeit eingesetzt? (Mehrfachauswahl)

- Beginning-of-Life (BoL): Innerbetriebliche Entwicklung und Leistungserstellung**
- Middle-of-Life (MoL): Nutzungsphase**
- End-of-Life (EoL): Abschluss der Nutzungsphase und weitere Verwertung**

Frage 5

Für welche Prozessschritte in Beginning-of-Life (BoL)? (Mehrfachauswahl)

- Kunden- & Marktanalyse**
- Produktplanung**
- Produktentwicklung**
- Produktion**
- Marketing & Sales**
- Distribution & Inbetriebnahme**

Frage 6

Für welche Prozessschritte in Middle-of-Life (MoL)? (Mehrfachauswahl)

- Schulung**
- Leistungsoptimierung**
- Service & Wartung**
- Upgrades & Updates**

Frage 7

Für welche Prozessschritte in End-of-Life (EoL)? (Mehrfachauswahl)

- Weiterverkauf
- Rückkauf
- Verwertung

Frage 8

Welche Mehrwerte generieren Sie durch den Einsatz von digitalen Zwillingen in der Beginning-of-Life Phase (BoL)?

	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft zu	Nicht beurteilbar
Kostenreduktion	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Qualitätssteigerung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Besseres Kunden- und Marktverständnis	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verbesserte Produktentwicklung und kürzere Time-to-Market	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Optimierte Durchlaufzeiten und Termintreue	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verkleinerung der Losgrößen (Mass-Customization)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bessere Kapazitätsauslastung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft zu	Nicht beurteilbar
Echtzeiteingriff in Fabriksteuerung (Remote Control)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verbesserte Angebots-Prozesse (z.B Konfiguration, Pricing)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Frage 9

Welche Mehrwerte generieren Sie durch den Einsatz von digitalen Zwillingen in der Middle-of-Life Phase (MoL)?

	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft zu	Nicht beurteilbar
Kostenreduktion	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Qualitätssteigerung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erhöhte Verfügbarkeit für Kunden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prozessoptimierung / bessere Performance	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verbesserte Installation/ Inbetriebnahme	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verbesserte Schulungen / Trainings für Kunden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Echtzeiteingriff in Produktsteuerung (Remote Control)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft zu	Nicht beurteilbar
Präventiver Service & Wartung (Vorbeugend)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prädiktiver Service & Wartung (Vorausschauend)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Besseres Up- und Cross-Selling	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Neue Geschäftsmodelle	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Höhere Kundenzufriedenheit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Frage 10

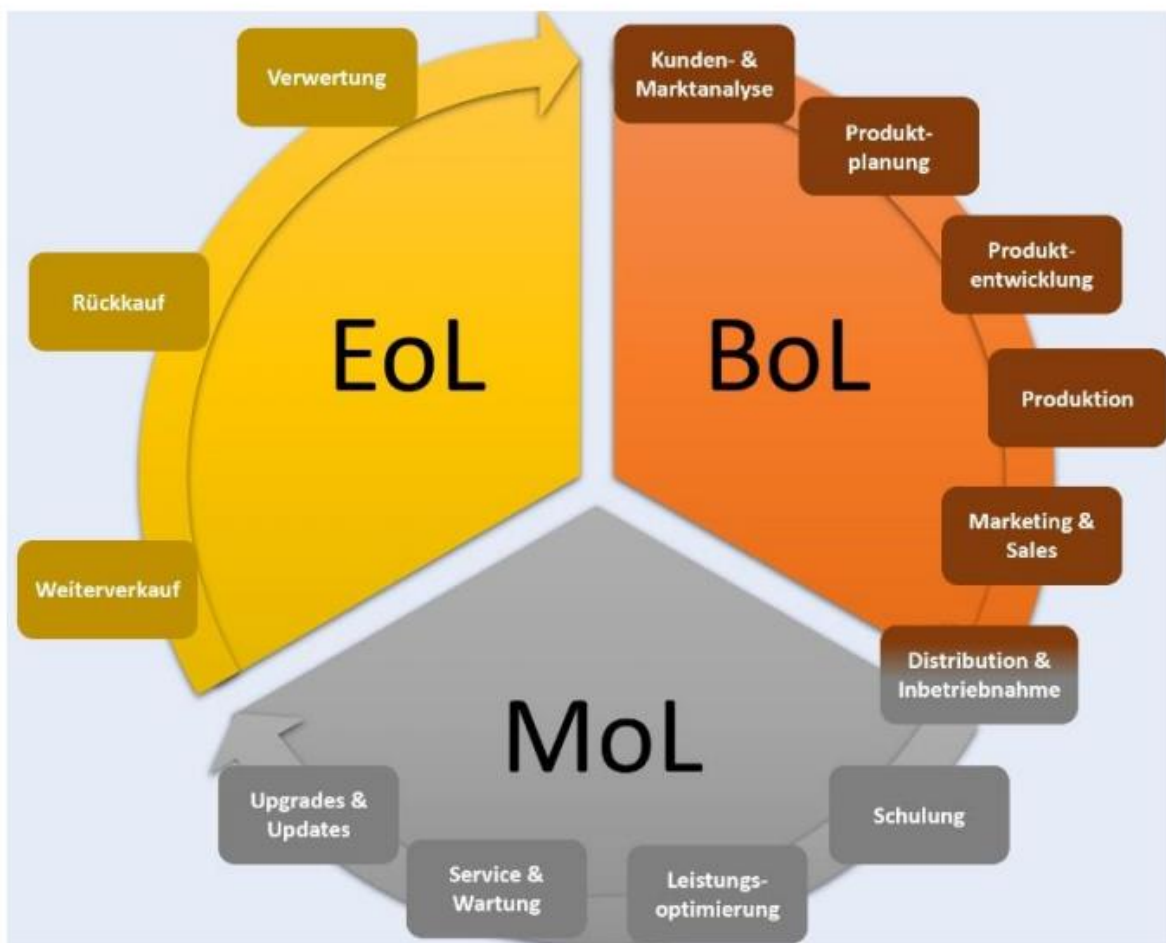
Welche Mehrwerte generieren Sie durch den Einsatz von digitalen Zwillingen in der End-of-Life Phase (EoL)?

	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft zu	Nicht beurteilbar
Besseres Up-Selling (z.B Retrofit)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mehr Wiederkäufe, Ersatzkäufe der Kunden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verbesserte Rückkauf-Prozesse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Support beim Weiterverkauf	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft zu	Nicht beurteilbar
Bessere Wiederverwendung von Komponenten und Wertstoffen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sicherstellung korrekter Entsorgung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Frage 11 Produktlebenszyklus

Abgebildet sehen Sie den Produktlebenszyklus. Bitte nehmen Sie bei der Beantwortung der Frage auf diesen Bezug.



In welchen weiteren Phasen des Produktlebenszyklus plant Ihr Unternehmen digitale Zwillinge in den nächsten 5 Jahren einzusetzen? (Mehrfachauswahl)

- Beginning-of-Life (BoL): Innerbetriebliche Entwicklung und Leistungserstellung**
- Middle-of-Life (MoL): Nutzungsphase**
- End-of-Life (EoL): Abschluss der Nutzungsphase und weitere Verwertung**
- Keine weiteren**

Frage 12

Was war der Beweggrund für den Einsatz von digitalen Zwillingen in Ihrem Unternehmen?
(Mehrfachauswahl)

- Kundenbedürfnis**
- Konkurrenzdruck**
- Aufbau Wettbewerbsvorteil**
- Effizienzsteigerung**
- Neue / weitere Geschäftsmodelle identifizieren**
- Furcht Trend zu verpassen**
- Anderes**

Frage 13

Wie zufrieden sind Sie mit der Leistung der digitalen Zwillinge in Ihrem Unternehmen insgesamt?

- Zufrieden**
- Eher zufrieden**
- Eher unzufrieden**
- Unzufrieden**

Frage 14 (Gruppe B)

Sind Sie für die digitalen Zwillinge in Ihrem Unternehmen direkt verantwortlich oder Teil des verantwortlichen Teams?

- Ja**
- Nein**

Frage 15

In welchem Zeithorizont planen Sie digitale Zwillinge einzusetzen?

- < 1 Jahr**
- 1-2 Jahren**
- 3-4 Jahren**
- 5-6 Jahren**
- > 6 Jahren**

Frage 16

Wie weit sind Sie mit dem Projekt «Digitale Zwillinge» in Ihrem Unternehmen?

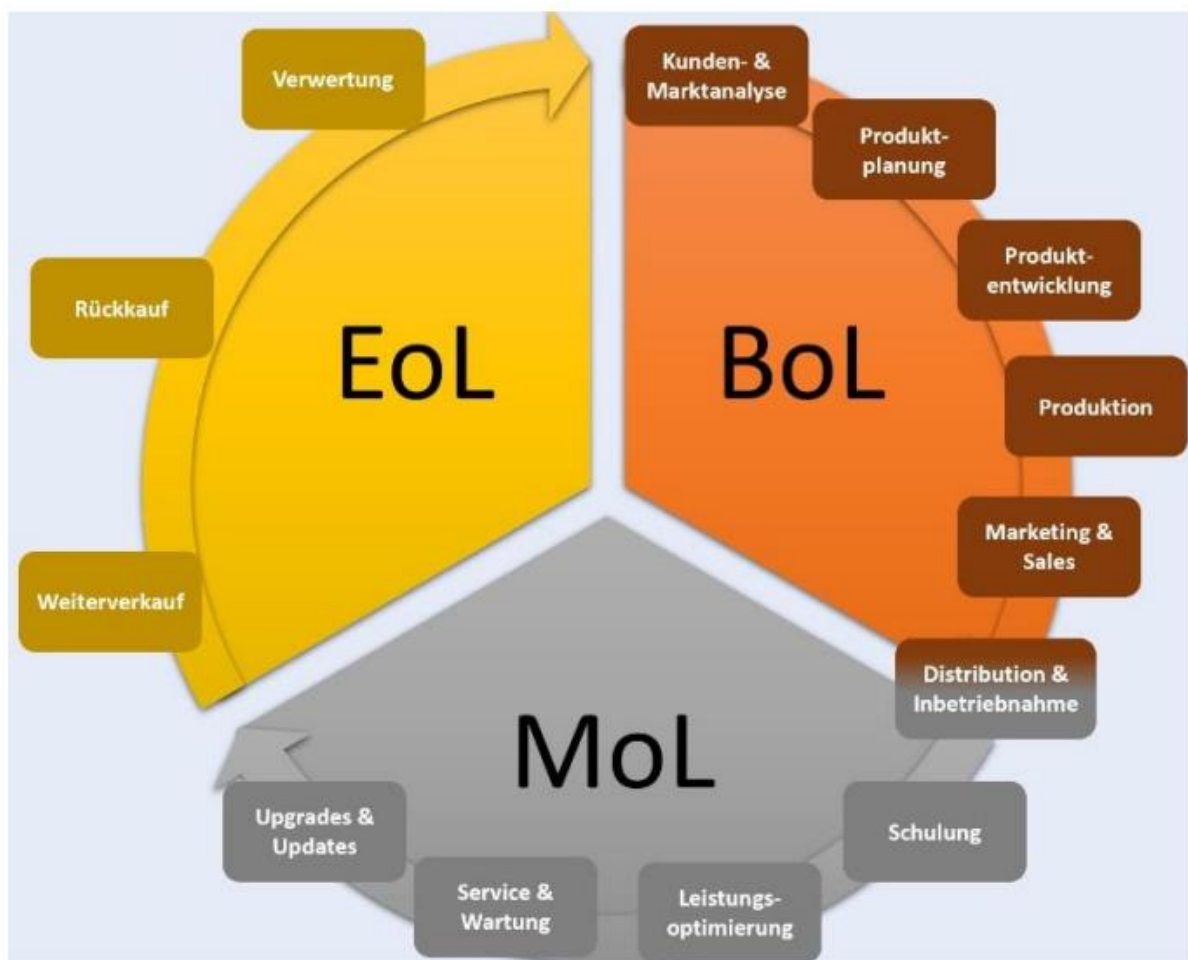
- Kundenbedürfnisse verstehen**
- Ideen zur Lösung entwickeln**
- Prototypen entwickeln**

- Prototypen testen / Pilotphase
- Markteinführung

Frage 17

Produktlebenszyklus

Abgebildet sehen Sie den Produktlebenszyklus. Bitte nehmen Sie bei der Beantwortung der Frage auf diesen Bezug.



In welchen der folgenden Produktlebenszyklusphasen werden Sie die digitalen Zwillinge in Ihrem Unternehmen voraussichtlich einsetzen? (Mehrfachauswahl)

- Beginning-of-Life (BoL): Innerbetriebliche Entwicklung und Leistungserstellung**
- Middle-of-Life (MoL): Nutzungsphase**
- End-of-Life (EoL): Abschluss der Nutzungsphase und weitere Verwertung**
- Noch unklar**

Frage 18

Für welche Prozessschritte in Beginning-of-Life (BoL)? (Mehrfachauswahl)

- Kunden- & Marktanalyse**
- Produktplanung**
- Produktentwicklung**
- Produktion**
- Marketing & Sales**
- Distribution & Inbetriebnahme**

Frage 19

Für welche Prozessschritte in Middle-of-Life (MoL)? (Mehrfachauswahl)

- Schulung**
- Leistungsoptimierung**
- Service & Wartung**
- Upgrades & Updates**

Frage 20

Für welche Prozessschritte in End-of-Life (EoL)? (Mehrfachauswahl)

- Weiterverkauf
- Rückkauf
- Verwertung

Frage 21

Was erhoffen Sie sich durch den Einsatz von digitalen Zwillingen in der Beginning-of-Life Phase (BoL)?

	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft zu	Nicht beurteilbar
Kostenreduktion	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Qualitätssteigerung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Besseres Kunden- und Marktverständnis	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verbesserte Produktentwicklung und kürzere Time-to-Market	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Optimierte Durchlaufzeiten und Termintreue	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verkleinerung der Losgrößen (Mass-Customization)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bessere Kapazitätsauslastung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Echtzeiteingriff in Fabriksteuerung (Remote Control)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft zu	Nicht beurteilbar
Verbesserte Angebots-Prozesse (z.B Konfiguration, Pricing)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Frage 22

Was erhoffen Sie sich durch den Einsatz von digitalen Zwillingen in der Middle-of-Life Phase (MoL)?

	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft zu	Nicht beurteilbar
Kostenreduktion	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Qualitätssteigerung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erhöhte Verfügbarkeit für Kunden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prozessoptimierung / bessere Performance	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verbesserte Installation/ Inbetriebnahme	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verbesserte Schulungen / Trainings für Kunden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Echtzeiteingriff in Produktsteuerung (Remote Control)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Präventiver Service & Wartung (Vorbeugend)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft zu	Nicht beurteilbar
Prädiktiver Service & Wartung (Vorausschauend)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Besseres Up- und Cross-Selling	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Neue Geschäftsmodelle	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Höhere Kundenzufriedenheit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Frage 23

Was erhoffen Sie sich durch den Einsatz von digitalen Zwillingen in der End-of-Life Phase (EoL)?

	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft zu	Nicht beurteilbar
Besseres Up-Selling (z.B Retrofit)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mehr Wiederkäufe, Ersatzkäufe der Kunden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verbesserte Rückkauf-Prozesse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Support beim Weiterverkauf	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bessere Wiederverwendung von Komponenten und Wertstoffen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sicherstellung korrekte Entsorgung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Frage 24

Was ist der Beweggrund für den geplanten Einsatz von digitalen Zwillingen in Ihrem Unternehmen? (Mehrfachauswahl)

- Kundenbedürfnis**
- Konkurrenzdruck**
- Aufbau Wettbewerbsvorteile**
- Effizienzsteigerung**
- Neue / weitere Geschäftsmodelle identifizieren**
- Furcht Trend zu verpassen**
- Anderes**

Frage 25

Wurde das Projekt durch die COVID-19 Pandemie beeinträchtigt?

- Ja**
- Nein**

Frage 26

Inwiefern wurde es beeinträchtigt? (Mehrfachauswahl)

- Verschiebung Projektstart**
- Anpassung Budget**
- Anderes**

Frage 27 (Gruppe C)

Welche Gründe sprechen gegen den Einsatz von digitalen Zwillingen in Ihrem Unternehmen? (Mehrfachauswahl)

- Fehlendes Interesse des Managements**
- Fehlende Zahlungsbereitschaft der Kunden**
- Fehlende Datenteilbereitschaft der Kunden**
- Kein/Geringer Mehrwert (Kosten–Nutzen Relation)**
- Zu kostenintensiv**
- Unzureichende IT–Infrastruktur**
- Produkte können nicht vernetzt oder mit Sensoren ausgestattet werden**
- Fehlendes Know–How**
- Kein passendes Geschäftsmodell**
- Anderes**

Frage 28

Wie wahrscheinlich ist es, dass sich Ihre Meinung zur Implementierung von digitalen Zwillingen in Ihrem Unternehmen in 5 Jahren ändert?

- Unwahrscheinlich**
- Eher unwahrscheinlich**
- Eher wahrscheinlich**
- Wahrscheinlich**

Frage 29

Werden Sie dieses Thema trotzdem weiter verfolgen?

- Ja
- Nein

Angabe 1 (Frage 30)

In welcher Branche ist Ihr Unternehmen tätig?

- Automobil/-Zulieferer
- Bauzulieferer/Bauelemente
- Elektrotechnik
- Energieversorgung/Infrastruktur
- Gebäudetechnik
- Luft- und Raumfahrt
- Maschinen-und Anlagenbau
- Medizinaltechnik
- Mischkonzern
- Nahrungsmittel
- Pharma/Chemie
- Andere

Angabe 2 (Frage 31)

In welchem Fachbereich sind Sie tätig?

- Entwicklung
- IT
- Management
- Produktion
- Services
- Vertrieb
- Andere

Angabe 3 (Frage 32)

Wie viele Mitarbeitende beschäftigt Ihr Unternehmen zurzeit?

- < 50
- 50 - 249
- 250 - 499
- 500 - 999
- 1'000 - 2'499
- 2'500 - 4'999
- 5'000 - 10'000
- > 10'000

Angabe 4 (Frage 33)

Seit wie vielen Jahren existiert Ihr Unternehmen?

- < 5
- 5 - 9
- 10 - 15
- > 15

Frage 34

Falls Sie am Studienergebnis interessiert sind, geben Sie bitte Ihre E-Mail Adresse im untenstehenden Feld ein:

Anhang B: Einladungsschreiben zur Online-Umfrage

Sehr geehrte Damen und Herren

Im Rahmen meiner Bachelorarbeit an der ZHAW School of Management and Law in Winterthur führe ich eine Umfrage über das Thema digitale Zwillinge durch. Ziel dieser Befragung ist die Bestimmung des Status Quo von digitalen Zwillingen in Unternehmen in der Schweiz sowie deren Einsatzmöglichkeiten im Produktlebenszyklus.

Ich würde mich sehr freuen, wenn Sie sich **5-10 Minuten** Zeit nehmen und an meiner Befragung teilnehmen - für eine erfolgreiche Durchführung bin ich auf Ihre Teilnahme angewiesen.

Voraussetzung für die Teilnahme ist, dass Ihr Unternehmen entweder:

- Digitale Zwillinge bereits einsetzt
- Beabsichtigt digitale Zwillinge zukünftig einzusetzen
- Aus bestimmten Gründen keine digitalen Zwillinge einsetzt/plant einzusetzen

Als **Dankeschön** für Ihre Unterstützung können Sie, falls gewünscht, am Schluss der Umfrage Ihre E-Mail Adresse angeben, um das Studienergebnis rund ums Thema digitale Zwillinge voraussichtlich im Juni/Juli zu erhalten.

Über den folgenden Link gelangen Sie zu meiner Umfrage: https://immzhaw.eu.qualtrics.com/jfe/form/SV_85L8gMGL15zKdkq

Die Teilnahme ist freiwillig und anonym. Alle Angaben werden vertraulich behandelt und es können keine Rückschlüsse auf Ihre Person oder Ihr Unternehmen gemacht werden.

Bei Fragen oder Anmerkungen können Sie mich gerne jederzeit kontaktieren unter: savicnik@students.zhaw.ch

Für Ihre wertvolle Teilnahme danke ich Ihnen im Voraus ganz herzlich.

Freundliche Grüsse
Nikola Savic

Anhang C: Deskriptive Auswertung

Einsatz digitale Zwillinge	n	%
Ja	22	22.2
Noch nicht (in Planung)	25	25.3
Nein und nicht vorgesehen	52	52.5
Total	99	100

Seit wie vielen Jahren existiert Ihr Unternehmen?	n	%
<5	5	5.1
5 – 10	6	6.1
10 – 15	5	5.1
> 15	83	83.8
Total	99	100

Wie viele Mitarbeitende beschäftigt Ihr Unternehmen zurzeit?	n	%
<50	33	33.3
50 – 249	20	20.2
250 – 499	11	11.1
500 – 999	4	4
1'000 – 2'499	11	11.1
2'500 – 4'999	8	8.1
5'000 – 10'000	3	3
> 10'000	9	9.1
Total	99	100

Branche	n	%
Automobil/-Zulieferer	2	2
Bauzulieferer/Bauelemente	5	5.1
Elektrotechnik	8	8.1
Energieversorgung/Infrastruktur	4	4
Gebäudetechnik	4	4
Maschinen-und Anlagenbau	28	28.3
Medizinaltechnik	8	8.1
Mischkonzern	3	3
Nahrungsmittel	10	10.1
Andere	8	8.1
Bahnen/Öffentlicher Verkehr	2	2
Dienstleistung	10	10.1
Physische Produkte	7	7.1
Total	99	100

Anhang D: Zusammenhang Unternehmensalter

<i>Seit wie vielen Jahren existiert Ihr Unternehmen? (Unternehmensalter)</i>			
Jahren	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
< 5	5	5.1	5.1
5 - 9	6	6.1	6.1
10 - 15	5	5.1	5.1
> 15	83	83.8	83.8
Total	99	100.0	100.0

Korrelationen			
			Seit wie vielen Jahren existiert Ihr Unternehmen?
Spearman-Rho	Setzen Sie bereits digitale Zwillinge entlang dem Produktlebenszyklus in Ihrem Unternehmen ein?	Korrelationskoeffizient	.059
		Sig. (2-seitig)	.560
		N	99

- p-Wert ist **nicht** signifikant
- Man kann hier **nicht** von einem Zusammenhang ausgehen

Anhang E: Zusammenhang Unternehmensgrösse

*Wie viele Mitarbeitende beschäftigt Ihr Unternehmen zurzeit?
(Unternehmensgrösse)*

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
< 50	33	33.3	33.3
50 - 249	20	20.2	20.2
250 - 499	11	11.1	11.1
500 - 999	4	4.0	4.0
1'000 - 2'499	11	11.1	11.1
2'500 - 4'999	8	8.1	8.1
5'000 - 10'000	3	3.0	3.0
> 10'000	9	9.1	9.1
Total	99	100.0	100.0

Korrelationen

		Wie viele Mitarbeitende beschäftigt Ihr Unternehmen zurzeit?	
Spearman-Rho	Setzen Sie bereits digitale Zwillinge entlang dem Produktlebenszyklus in Ihrem Unternehmen ein?	Korrelationskoeffizient	-.138
		Sig. (2-seitig)	.172
		N	99

- p-Wert ist **nicht** signifikant
- Man kann hier **nicht** von einem Zusammenhang ausgehen

Anhang F: Zusammenhang Branche

Kreuztabelle

			Einsatz DT			
			Ja	Noch nicht (in Planung)	Nein und nicht vorgesehen	Gesamt
Branche	Automobil-/Zulieferer	Anzahl % innerhalb von Branche	1 50.0%	0 0.0%	1 50.0%	2 100,0%
	Baulieferer/ Bauelemente	Anzahl % innerhalb von Branchen	2 40.0%	0 0.0%	3 26.0%	5 100,0%
	Elektrotechnik	Anzahl % innerhalb von Branche	2 25.0%	2 25.0%	4 50.0%	8 100,0%
	Energieversorgung / Infrastruktur	Anzahl % innerhalb von Branche	0 0.0%	1 25.0%	3 75.0%	4 100,0%
	Gebäudetechnik	Anzahl % innerhalb von Branche	1 25.0%	1 25.0%	2 50.0%	4 100,0%
	Maschinen- und Anlagenbau	Anzahl % innerhalb von Branche	11 39.3%	7 25.0%	10 35.7%	28 100,0%
	Medizinaltechnik	Anzahl % innerhalb von Branche	1 12.5%	3 37.5%	4 50.0%	8 100,0%
	Mischkonzern	Anzahl % innerhalb von Branche	0 0.0%	1 33,3%	2 66.7%	3 100,0%
	Nahrungsmittel	Anzahl % innerhalb von Branche	0 0.0%	2 20.0%	8 80.0%	10 100,0%
	Bahnen / Öffentlicher Verkehr	Anzahl % innerhalb von Branche	1 50.0%	1 50.0%	0 0.0%	2 100,0%
	Dienstleistung	Anzahl % innerhalb von Branche	1 10.0%	1 10.0%	8 80.0%	10 100,0%
	Physische Produkte	Anzahl % innerhalb von Branche	1 14.3%	4 57.1%	2 28.6%	7 100,0%
	Andere	Anzahl % innerhalb von Branche	1 12,5%	2 25.0%	5 62.5%	8 100,0%
Total		Anzahl % innerhalb von Branche	22 22.2%	25 25.3%	52 52.5%	99 100,0%

- Die Fallzahlen innerhalb einiger Gruppen sind zu klein. Deshalb erfolgte auf der nächsten Seite eine grobe Einteilung der Branchen.

Anhang G: Zusammenhang Branche (Grobe Einteilung)

<i>Branche</i>			
	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Maschinen- und Anlagenbau	28	28.3	28.3
Nahrungsmittel	10	10.1	10.1
Dienstleistungen	10	10.1	10.1
Andere	51	51.5	51.5
Total	99	100.0	100.0

Kreuztabelle

			Einsatz DT			Gesamt
			Ja	Noch nicht (in Planung)	Nein und nicht vorgesehen	
Branche	Maschinen- und Anlagenbau	Anzahl % innerhalb von Branche	11 39.3%	7 25.0%	10 35.7%	28 100,0%
	Nahrungsmittel	Anzahl % innerhalb von Branchen	0 0.0%	2 20.0%	8 80.0%	10 100,0%
	Dienstleistung	Anzahl % innerhalb von Branche	1 10.0%	1 10.0%	8 80.0%	10 100,0%
	Andere *	Anzahl % innerhalb von Branche	10 19.6%	15 29.4%	26 51.0%	51 100,0%
Total		Anzahl	22	25	52	99
		% innerhalb von Branche	22.2%	25.3%	52.5%	100,0%

*Andere = Automobil-/Zulieferer, Bauzulieferer/Bauelemente, Elektrotechnik, Energieversorgung / Infrastruktur, Gebäudetechnik, Medizinaltechnik, Mischkonzern, Bahnen/Öffentlicher Verkehr, Physische Produkte

Anhang H: Zusammenhang Branche (Kruskal-Wallis Test)

<i>Kruskal-Wallis Test für unabhängige Stichprobe – Zusammenfassung (grobe Einteilung)</i>	
Total N	99
Statistiktest	10.805
Freiheitsgrad	3
p-Wert	0.013

	<i>Korr. p-Wert</i>
Maschinen- und Anlagenbau – andere	0.526
Maschinen- und Anlagenbau – Dienstleistungen	0.078
Maschinen- und Anlagenbau – Nahrungsmittel	0.038
Andere – Dienstleistungen	0.824
Andere – Nahrungsmittel	0.485
Dienstleistungen – Nahrungsmittel	1

- **Signifikanter Zusammenhang** zwischen den beiden Branchen Maschinen- und Anlagenbau und Nahrungsmittelsektor.