

Masterarbeit im Masterstudiengang  
International Corporate Communication and Media Management  
an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Neu-Ulm

# **Nachhaltigkeit im digitalen Zeitalter**

**Konzeption eines Bewertungsmodells  
für digitale Technologietrends im Kontext  
nachhaltiger Unternehmensziele**

Erstkorrektor: Prof. Dr. Jens Kolb

Verfasserin: Lara Maslowski (Matrikel-Nr.: 224539)

Thema erhalten: 15.08.2022

Abgabedatum: 22.12.2022

## Abstract

Digitalisierung und Nachhaltigkeit stellen für Unternehmen zwei Herausforderungen dar, um auf dem globalen Markt wettbewerbsfähig und innovativ zu sein. Die Digitalisierung erfordert die Einführung von Technologien zur Umgestaltung der Produktion, Produkte und Dienstleistungen (Early, 2014, S. 59; Suder & Kahraman, 2016, S. 238). Die Nachhaltigkeit geht mit der Auseinandersetzung von ökologischen, ökonomischen und sozialen Themen einher. Jedoch kann die Einführung digitaler Technologien im Widerspruch mit den unternehmerischen Nachhaltigkeitszielen stehen (Osburg, 2017, S. 3 f.).

Die Synergie von Digitalisierung und Nachhaltigkeit ist nicht neuartig und wird in der Literatur vielfach diskutiert. In Form der Digitalen Nachhaltigkeit findet das Thema Einzug in aktuelle Diskurse. Eine wiederkehrende Herausforderung dabei ist die Nachhaltigkeitsbewertung der Technologien. Weder der Beitrag der Technologien noch deren Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit sind momentan direkt messbar (Remy et al., 2017, S. 103). In Wissenschaft und Praxis besteht hier eine große Forschungslücke. Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher die Entwicklung eines nachhaltigkeitsorientierten Bewertungsmodells digitaler Technologien, das im Unternehmenskontext Einsatz findet und Antwort auf die Forschungsfrage *„Inwiefern können digitale Technologietrends zur Umsetzung nachhaltiger Unternehmensziele beitragen, um einen langfristigen Wettbewerbsvorteil zu sichern?“* gibt.

Die qualitative Forschung basiert auf der Analyse bestehender Bewertungsmethoden und integrativer Vorgehensmodelle der Technologiebewertung, die einer Methodenkritik unterzogen und innerhalb eines Methodenportfolios bewertet werden, um daraus den Handlungsbedarf abzuleiten. Das Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist ein integratives Technologiebewertungsmodell, bestehend aus vier Vorgehensschritten: der Technologieidentifikation, Informationssammlung, Technologiebewertung und -entscheidung. Innerhalb des dritten Schritts wird die nachhaltigkeitsorientierte Technologiebewertungsmatrix eingeführt, welche digitale Technologien im Hinblick auf Nachhaltigkeitsfaktoren sowie das Technologie-, Unternehmens- und Zukunftspotenzial bewertet. Abschließend wird ein Beispiel für die Anwendung der Technologiebewertungsmatrix anhand eines Architekturbüros gegeben.

Die Technologiebewertungsmatrix ist unternehmensagnostisch und generalisierbar, bedarf jedoch zukünftig der Entwicklung einer softwaregestützten Lösung und eines industriespezifischen Bewertungskriterienkatalogs, um den Aufwand bei Anwendung der Technologiebewertungsmatrix für Unternehmen zu reduzieren.

Keywords: Technologiemanagement, Technologiebewertung, Nachhaltigkeit, Digitale Nachhaltigkeit, Bewertungsverfahren

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abstract</b> .....	<b>I</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>II</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>Symbolverzeichnis</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation .....	1
1.2 Problemstellung und Zielsetzung .....	1
1.3 Aufbau der Arbeit.....	3
<b>2 Theoretische Grundlagen</b> .....	<b>5</b>
2.1 Grundlagen der Nachhaltigkeit .....	5
2.1.1 Definition, Charakteristika und Abgrenzung .....	5
2.1.2 Nachhaltige Initiativen.....	7
2.1.3 Nachhaltigkeit als unternehmerische Disziplin .....	9
2.1.4 Nachhaltige Unternehmensziele .....	11
2.2 Grundlagen der Digitalisierung .....	13
2.2.1 Definition, Charakteristika und Abgrenzung .....	14
2.2.2 Technologiemanagement .....	15
2.2.3 Technologiebewertung .....	16
2.3 Nachhaltigkeit und Digitalisierung.....	18
2.3.1 Beziehung und Zusammenhang .....	18
2.3.2 Chancen und Risiken.....	19
2.3.3 Nachhaltige Digitalisierung .....	20
2.4 Trends .....	21
2.4.1 Trendforschung .....	21
2.4.2 Technologische Trends .....	22
<b>3 Wissenschaftliche Methodik</b> .....	<b>26</b>
3.1 Mehrdimensionale Entscheidungssituationen .....	26
3.1.1 Entscheidungsverfahren mehrfacher Zielsetzung .....	26
3.1.2 Multikriterielle Entscheidungsunterstützung .....	27

---

3.2	Methoden der Technologiebewertung.....	30
3.2.1	Identifikation relevanter Technologiebewertungsmethoden .....	30
3.2.2	Einzelmethoden der Technologiebewertung .....	34
3.3	Integrative Vorgehensmodelle der Technologiebewertung .....	42
3.3.1	Ansatz nach Geldermann & Rentz.....	42
3.3.2	Ansatz nach Hieronymus, Tintelnot & von Wichert-Nick .....	44
3.3.3	Ansatz nach Hall.....	45
3.3.4	Ansatz nach Kröll.....	46
3.4	Verwandte Ansätze der Technologiebewertung.....	47
3.4.1	Ansätze des Technologiemonitorings .....	48
3.4.2	Ansätze der Digitalen Transformation.....	49
<b>4</b>	<b>Ableitung des Handlungsbedarfs .....</b>	<b>52</b>
4.1	Kritik .....	52
4.1.1	Kritik der Einzelmethoden der Technologiebewertung .....	52
4.1.2	Kritik der integrativen Vorgehensmodelle der Technologiebewertung....	55
4.2	Evaluation der Technologiebewertungsmethoden .....	56
4.3	Definition des Handlungsbedarfs .....	60
<b>5</b>	<b>Entwicklung des Technologiebewertungsmodells .....</b>	<b>62</b>
5.1	Anforderungsdefinition.....	62
5.1.1	Ergebnisbezogene Gütekriterien .....	63
5.1.2	Methodenbezogene Gütekriterien.....	64
5.2	Grundkonzept.....	64
5.2.1	Schritt 1: Technologieidentifikation .....	66
5.2.2	Schritt 2: Informationssammlung .....	67
5.2.3	Schritt 3: Technologiebewertung .....	67
5.2.4	Schritt 4: Technologieentscheidung.....	68
5.3	Nachhaltigkeitsorientierte Technologiebewertungsmatrix .....	68
5.3.1	Definition der Bewertungskriterien .....	69
5.3.2	Durchführung der Bewertung.....	74
5.3.3	Ableitung der Handlungsempfehlung .....	79
5.3.4	Überblick und Zusammenfassung .....	83

<b>6</b>	<b>Bestimmung des Zukunftspotenzials.....</b>	<b>86</b>
<b>7</b>	<b>Fallstudie zur Anwendung der Technologiebewertungsmatrix.....</b>	<b>89</b>
7.1	Vorgehensweise der Fallstudie.....	89
7.2	Das Architekturbüro als Praxisbeispiel.....	90
7.3	Nachhaltige Unternehmensziele .....	91
7.3.1	Ziel 1: Optimierung unternehmensinterner Prozesse .....	91
7.3.2	Ziel 2: Klimaneutrale Bauweise.....	92
7.3.3	Ziel 3: Zukunftsorientierter Arbeitgeber .....	93
7.3.4	Ziel 4: Gesundheit am Arbeitsplatz .....	93
7.3.5	Ziel 5: Nachhaltige Ausschreibungen.....	94
7.4	Auswahl digitaler Technologien .....	95
7.4.1	Building Information Modeling.....	95
7.4.2	Reifegrad der betrachteten Technologien .....	99
7.5	Anwendung der nachhaltigkeitsorientierten Technologiebewertungsmatrix .....	100
7.5.1	Gewichtung der Bewertungskriterien .....	100
7.5.2	Durchführung der Bewertung.....	102
7.5.3	Ableitung der Handlungsempfehlung .....	104
7.5.4	Bestimmung des Zukunftspotenzials .....	106
7.5.5	Handlungsportfolio des Zukunftspotenzials.....	109
<b>8</b>	<b>Schlussfolgerung .....</b>	<b>112</b>
8.1	Begrenzung der Forschung .....	113
8.2	Ausblick .....	114
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>VI</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>XXII</b>
	<b>Eidesstattliche Erklärung.....</b>	<b>XXXV</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Arbeit .....	3
Abbildung 2: Sustainable Development Goals .....	8
Abbildung 3: Unternehmerischer Beitrag zur Erreichung der SDGs .....	12
Abbildung 4: Aufgaben des Technologiemanagements .....	16
Abbildung 5: Digitalisierungs- und Nachhaltigkeitsgrad von Unternehmen.....	18
Abbildung 6: Trendsystem mit zusammenhängenden Technologien .....	22
Abbildung 7: Ablaufschema einer multikriteriellen Bewertung .....	29
Abbildung 8: Generischer Ablauf einer Bewertung.....	30
Abbildung 9: Denkmodell für Szenarien .....	39
Abbildung 10: Technologieportfolio nach Pfeiffer et al. ....	41
Abbildung 11: Ansatz nach Geldermann & Rentz .....	43
Abbildung 12: Ansatz nach Hieronymus, Tintelnot & von Wichert-Nick.....	44
Abbildung 13: Ansatz nach Hall .....	45
Abbildung 14: Ansatz nach Kröll .....	47
Abbildung 15: Methoden nach Informationsgehalt und Methodenausrichtung.....	57
Abbildung 16: Integratives Technologiebewertungsmodell.....	65
Abbildung 17: Bewertungskriterien der naTech.....	71
Abbildung 18: Handlungsportfolio der naTech .....	80
Abbildung 19: Normstrategie „Aussortieren“ des Handlungsportfolios der naTech.....	81
Abbildung 20: Normstrategie „Abwägen“ des Handlungsportfolios der naTech.....	82
Abbildung 21: Normstrategie „Selektieren“ des Handlungsportfolios der naTech.....	83
Abbildung 22: Überblick der Vorgehensweise der naTech.....	84
Abbildung 23: Zukunftspotenzial der naTech .....	87
Abbildung 24: Vorgehensweise des Bewertungsmodells im Kontext der Fallstudie ....	90
Abbildung 25: Kohlenstoffdioxid-Produktion im Lebenszyklus eines Gebäudes .....	92
Abbildung 26: Handlungsportfolio der Fallstudie .....	105
Abbildung 27: Überblick des Zukunftspotenzials der Fallstudie.....	109
Abbildung 28: Zukunftspotenzial der betrachteten Technologien der Fallstudie .....	109

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht nationaler und internationaler Nachhaltigkeitsinitiativen.....	7
Tabelle 2: Beispiele der Konvergenz von Digitalisierung und Nachhaltigkeit.....	19
Tabelle 3: Definitionen digitaler Technologietrends.....	23
Tabelle 4: Übersicht der Technologiebewertungsmethoden.....	32
Tabelle 5: Zitierhäufigkeit der Technologiebewertungsmethoden.....	33
Tabelle 6: Relevante Technologiebewertungsmethoden im Rahmen der Forschung..	34
Tabelle 7: Methodenportfolio der Technologiebewertungsmethoden .....	59
Tabelle 8: Handlungsbedarf der nachhaltigkeitsorientierten Technologiebewertung ...	61
Tabelle 9: Allgemeiner Ablauf der integrativen Technologiebewertung .....	65
Tabelle 10: Bewertungskriterien des Technologiepotenzials .....	71
Tabelle 11: Bewertungskriterien des Nachhaltigkeitspotenzials .....	72
Tabelle 12: Bewertungskriterien des Unternehmenspotenzials .....	73
Tabelle 13: Skalenniveau der Bewertungskriteriengewichtung .....	74
Tabelle 14: Skalenniveau der Potenzialbewertung.....	75
Tabelle 15: Nachhaltigkeitsorientierte Technologiebewertungsmatrix .....	77
Tabelle 16: Beispielhafte Berechnung des relativierten Technologiepotenzials.....	78
Tabelle 17: Abgleich des Handlungsbedarfs mit dem Bewertungsmodell .....	85
Tabelle 18: Gewichtung der Kriterien des Technologiepotenzials .....	100
Tabelle 19: Gewichtung der Kriterien des Nachhaltigkeitspotenzials.....	101
Tabelle 20: Gewichtung der Kriterien des Unternehmenspotenzials .....	102
Tabelle 21: naTech der Fallstudie .....	103
Tabelle 22: Zukunftspotenzial der Fallstudie .....	108

## Abkürzungsverzeichnis

AR	Augmented Reality
BIM	Building Information Modeling
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
CS	Corporate Sustainability
CSR	Corporate Social Responsibility
CSR-RUG	CSR-Richtlinie-Umsetzungsgesetz
d. h.	das heißt
DNK	Deutscher Nachhaltigkeitskodex
dt.	Deutsch
ESG	Environmental Social Governance
et al.	Et alii (lateinisch: und andere)
EU	Europäische Union
ggf.	Gegebenenfalls
GRI	Global Reporting Initiative
inkl.	Inklusive
IoT	Internet of Things
KI	Künstliche Intelligenz
MADM	Multi Attribute Decision Making
MODM	Multi Objective Decision Making
S.	Seite
SDGs	Sustainable Development Goals
SR	Social Responsibility
TA	Technology Assessment
TBL	Triple Bottom Line
TEC	Technology Evaluation Canvas
UN	United Nations
UNGC	United Nations Global Compact
v. a.	vor allem
VBA	Value Balancing Alliance
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
z. B.	Zum Beispiel

# Symbolverzeichnis

## Formeln

$c_i$	Gewichtungsfaktor je Kriterium (0 – 3)
$i$	Zeilennummer
$j$	Spaltennummer
$k_{ij}$	Potenzialwert je Technologie und Kriterium (1 – 5)
$n$	Anzahl der Bewertungskriterien je Potenzialdimension
$N$	Nachhaltigkeitspotenzial
$n_N$	Anzahl der Bewertungskriterien des Nachhaltigkeitspotenzials
$n_T$	Anzahl der Bewertungskriterien des Technologiepotenzials
$n_U$	Anzahl der Bewertungskriterien des Unternehmenspotenzials
$P_{N,j}$	Nachhaltigkeitspotenzial je Technologie
$P_{T,j}$	Technologiepotenzial je Technologie
$P_{U,j}$	Unternehmenspotenzial je Technologie
$R_{N,j}$	Relativiertes Nachhaltigkeitspotenzial je Technologie
$R_{T,j}$	Relativiertes Technologiepotenzial je Technologie
$R_{U,j}$	Relativiertes Unternehmenspotenzial je Technologie
$T$	Technologiepotenzial
$U$	Unternehmenspotenzial

## Indizes

1, 2, 3, ..., n    Zählindex

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Die Digitalisierung prägt die heutige Zeit. Mit ihr einher geht die Anforderung der Anpassbarkeit an die digitale Welt, die neue Denkweisen und Methoden fordert, um der zunehmenden Komplexität und Vernetzung standhalten zu können (Jacob, 2019, S. 1). Gleichzeitig steigt die Bedeutung der Nachhaltigkeit. Nachhaltigkeitsaspekte fließen vermehrt in Konsumententscheidungen von Verbrauchern ein (Bruttel, 2014, S. 45) und beeinflussen die Reputation von Unternehmen zunehmend (Bittner-Fessler & Leben, 2017, S. 50 f.). Um innovativ zu bleiben und auf dem globalen Markt zu überleben, sind Unternehmen daher mit den zwei Herausforderungen Digitalisierung und Nachhaltigkeit konfrontiert. Die Digitalisierung beschäftigt sich mit der Einführung digitaler Technologien zur Umgestaltung der Produktion, Produkte und Dienstleistungen (Early, 2014, S. 59; Suder & Kahraman, 2016, S. 238). Darüber hinaus werden Nachhaltigkeitsthemen behandelt, bspw. um den globalen Kohlenstoffdioxid-Fußabdruck zu verringern, nicht zuletzt aufgrund internationaler Regelungen und einem steigenden, öffentlichen Bewusstsein (Hörisch, 2013, S. 569 f.). Während der Fokus auf innovativen, digitalen Technologien liegt, gibt es wenig Diskussion darüber, welche Auswirkungen diese auf die Nachhaltigkeit haben. Der Einfluss der Technologien kann positiv sein, aber auch in Widerspruch zu den Nachhaltigkeitszielen des Unternehmens stehen (Osburg, 2017, S. 3 f.). Ein Beispiel hierfür ist die Einführung einer digitalen Technologie am Fließband, die den Produktionsdurchsatz verbessert, gleichzeitig aber einen extrem hohen Energieverbrauch hat.

Die Unterstützung nachhaltiger Unternehmensziele durch digitale Technologien kann strategisch und langfristig erfolgsentscheidend sein. Digitale Technologien sind Basis und Treiber einer modernen Wirtschaft, die maßgebend für die Innovation, das Wirtschaftswachstum und die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen ist (Bessanova & Battalov, 2020, S. 66; Martincevic, 2022, S. 543). Sie zeigen neue Wege auf, die Nachhaltigkeit zu gestalten, überwachen und steuern (Osburg, 2017, S. 3 f.). Eine isolierte Betrachtung von Digitalisierung und Nachhaltigkeit im Unternehmenskontext ist demnach unzureichend.

## 1.2 Problemstellung und Zielsetzung

In der Literatur existieren verschiedene Ansätze, die eine konvergente Betrachtung digitaler Technologien und nachhaltiger Unternehmensaktivitäten untersuchen. Eine wiederkehrende Herausforderung dabei ist die Bewertung der Nachhaltigkeit. Weder der

Beitrag einer Technologie noch dessen Auswirkung auf die Nachhaltigkeit sind derzeit direkt messbar (Remy et al., 2017, S. 103). Für Unternehmen, die mit Technologieentscheidungen konfrontiert sind, ist die Bestimmung des Nachhaltigkeitsbeitrags einer Technologie, aufgrund der Relevanz der Nachhaltigkeit, von hoher Bedeutung. Die Nachhaltigkeitsbewertung ist demnach in der Technologiebewertung zu verankern.

Neue, digitale Technologien stellen sowohl Risiken als auch Chancen dar. Eine sorgfältige und nachvollziehbare Technologiebewertung ist daher unabdingbar (Golovatchev & Budde, 2010, S. 760). Die Auswahl digitaler Technologien gestaltet sich aufgrund der Differenziertheit und Vielfalt der Technologien schwierig (Hall, 2002, S. 1). Die Wahl einer angemessenen Bewertungsmethode ist entscheidungsabhängig und kann die Qualität der Technologieentscheidung sowie die damit verbundene Wahrscheinlichkeit zur erfolgreichen Handlungsumsetzung steigern. Aufgrund der hohen Komplexität und Dynamik technologischer Entwicklungen stellen Informationen zur Technologiebewertung ein Defizit dar. Moderne Bewertungsmethoden sind daher so zu konzipieren, dass sie trotz Informationslücken und Unsicherheiten aussagekräftige und vorausblickende Ergebnisse erzielen (Haag et al., 2011, S. 310 f.). Darüber hinaus erfordern kurze, standardisierte Entwicklungsprozesse in Unternehmen Bewertungsmethoden von hoher Systematik, dessen Ergebnis objektiv nachvollzogen und reproduzierbar ist. Die Wahl der Bewertungskriterien ist zudem entsprechend der Ausrichtung der Bewertung zu treffen, sodass eine eindeutige Technologieentscheidung das Resultat ist (Kröll, 2007, S. 18).

In der Literatur gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Technologiebewertungsmethoden (Tran, 2007, S. 1654), wobei es sich im Kontext technologischer Innovationen häufig um multikriterielle Entscheidungssituationen handelt (Suder & Kahraman, 2016, S. 235). Dies impliziert, dass die Bewertung digitaler Technologien und deren Nachhaltigkeitsbeitrag möglich ist, jedoch in Wissenschaft und Praxis bis zum aktuellen Zeitpunkt eine Forschungslücke hinsichtlich eines dedizierten Vorgehens und einer nachhaltigkeitsorientierten Bewertungsmethode besteht. Daraus bildet sich im Kontext der vorliegenden Arbeit die folgende Forschungsfrage:

*Inwiefern können digitale Technologietrends zur Umsetzung nachhaltiger Unternehmensziele beitragen, um einen langfristigen Wettbewerbsvorteil zu sichern?*

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Konzeption und Entwicklung eines systematischen und praxisorientierten Bewertungsmodells digitaler Technologien, das neben relevanten Nachhaltigkeitsfaktoren technologiebezogene Aspekte sowie die Eignung der Technologie für das Unternehmen untersucht, um fundierte Technologieentscheidungen zu treffen. Das für Unternehmen entwickelte Technologiebewertungsmodell ermöglicht

es, digitale Technologietrends systematisch zu bewerten sowie deren Nachhaltigkeitsbeitrag zu bestimmen, um so die Erreichung nachhaltiger Unternehmensziele zu fördern.

Basierend hierauf werden nachfolgende Sub-Forschungsfragen definiert, welche die Zielsetzung unterstützen und im Verlauf der Arbeit beantwortet werden:

- *Welche Arten von nachhaltigen Unternehmenszielen gibt es?*
- *Welche nachhaltigkeitsbezogenen Chancen und Risiken ergeben sich durch die Implementierung digitaler Technologien in Unternehmen?*

Das methodische Vorgehen der vorliegenden Arbeit ist qualitativ und basiert auf der Analyse bestehender Methoden und integrativer Vorgehensmodelle der Technologiebewertung, die einer Methodenkritik unterzogen und innerhalb eines Methodenportfolios bewertet werden, um daraus den weiteren Handlungsbedarf abzuleiten.

### 1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in acht Hauptkapitel, deren Aufbau der Beantwortung der Forschungsfrage und Erarbeitung der Zielsetzung dient (siehe Abbildung 1).

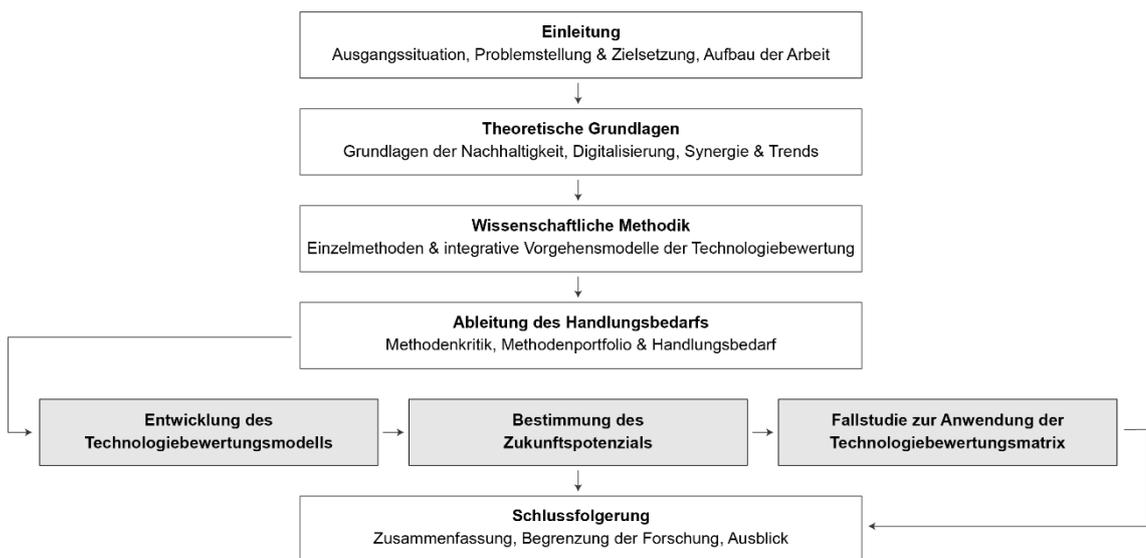


Abbildung 1: Aufbau der Arbeit (Eigene Darstellung)

Kapitel 1 führt an das wissenschaftliche Thema der Arbeit heran und zeigt die Forschungslücke auf. Die Problemstellung und Zielsetzung dienen der Herleitung der Forschungsfrage und Definition des angestrebten Forschungsergebnisses.

Kapitel 2 zeigt den aktuellen, wissenschaftlichen Forschungsstand auf und bildet den theoretischen Kontext der vorliegenden Arbeit. Es wird ein Grundverständnis über die Nachhaltigkeit und unternehmensbezogene Nachhaltigkeitsaktivitäten geschaffen. Darüber hinaus wird auf die Digitalisierung eingegangen, wobei besonderer Fokus auf dem Technologiemanagement und der Technologiebewertung liegt. Anschließend

werden beide Themengebiete, Nachhaltigkeit und Digitalisierung, in Zusammenhang gesetzt sowie auf die Digitale Nachhaltigkeit eingegangen. Zudem findet die Betrachtung digitaler, technologischer Trends statt.

Kapitel 3 diskutiert mehrdimensionale Entscheidungssituationen, um im weiteren Verlauf der Arbeit eine mehrdimensionale Technologiebewertung vornehmen zu können. Darüber hinaus werden bestehende Einzelmethoden und integrative Vorgehensmodelle der Technologiebewertung identifiziert und beschrieben.

Kapitel 4 evaluiert die in Kapitel 3 beschriebenen Technologiebewertungsmethoden. Diese werden einer Methodenkritik unterzogen und innerhalb eines Methodenportfolios hinsichtlich Systematik, Bewertungsart, Phase, Methodenkompetenz und Nachhaltigkeitsbezug ausgewertet. Die identifizierten Defizite dienen der Ableitung des Handlungsbedarfs für das nachhaltigkeitsorientierte Technologiebewertungsmodell.

Kapitel 5 beinhaltet die Konzeption und Entwicklung des nachhaltigkeitsorientierten Bewertungsmodells digitaler Technologietrends. Es findet die Definition relevanter qualitativer, quantitativer und forschungsspezifischer Gütekriterien statt. Als integrativer Ansatz mit prozessuaalem Vorgehen werden zudem die einzelnen Vorgehensschritte des Bewertungsmodells andiskutiert. Besonderer Fokus liegt auf der Entwicklung der nachhaltigkeitsorientierten Technologiebewertungsmatrix für eine Technologiebewertung, die sowohl technologische, unternehmerische als auch nachhaltigkeitsbezogene Aspekte inkludiert.

Kapitel 6 erweitert die entwickelte Technologiebewertungsmatrix durch den Aspekt des Zukunftspotenzials. Dies dient der Technologiebewertung, die nicht nur eine kurz-, sondern langfristig erfolgreiche Technologieentscheidung ermöglicht.

Kapitel 7 wendet die nachhaltigkeitsorientierte Technologiebewertungsmatrix am Fallbeispiel eines regionalen Architekturbüros an. Hierfür werden digitale Technologien im Rahmen des Building Information Modelings identifiziert und hinsichtlich des künftigen Einsatzpotenzials unter Verwendung der nachhaltigkeitsorientierten Technologiebewertungsmatrix bewertet.

Letztendlich fasst Kapitel 8 die Resultate der Arbeit zusammen und beschreibt den zukünftigen Forschungsbedarf zur Erweiterung der Technologiebewertungsmatrix und den Ausblick der Forschung. Die Bewertung und Begrenzung der Forschung werden aufgezeigt.

## 2 Theoretische Grundlagen

Die theoretischen Grundlagen der vorliegenden Arbeit bilden die Voraussetzung zur Erstellung des Bewertungsmodells digitaler Technologien im Kontext nachhaltiger Unternehmensziele. Neben den Grundlagen der Nachhaltigkeit wird die Digitalisierung, das Technologiemanagement sowie die Technologiebewertung erklärt. Die Themengebiete Nachhaltigkeit und Digitalisierung werden anschließend in Zusammenhang gesetzt sowie die Trendforschung zur Definition digitaler Technologietrends betrachtet.

### 2.1 Grundlagen der Nachhaltigkeit

Die Integration der Nachhaltigkeit in die Unternehmensstrategie ist heutzutage zum Mainstream geworden. Vier von fünf Unternehmen der Fortune Global 500 weltweit veröffentlichen Nachhaltigkeitsberichte (Lyon et al., 2018, S. 5). Es werden vermehrt Nachhaltigkeitsaktivitäten kommuniziert sowie kurz- und langfristige Nachhaltigkeitsziele aufgestellt und in Berichten festgehalten (Bruttel, 2014, S. 45). Die Relevanz der Nachhaltigkeit zeigt sich in einer zunehmend globalisierten Welt, in der es Anforderung an die Produktion, Produkte und Dienstleistungen ist, besser als die Konkurrenz zu sein, um die wachsenden Bedürfnisse der Verbraucher zu erfüllen und gleichzeitig die dafür benötigten natürlichen Ressourcen zu erhalten (Satyro et al., 2022, S. 1).

Um das Konzept der Nachhaltigkeit zu verstehen, werden folgend wichtige Begrifflichkeiten, nachhaltige Initiativen, Teilgebiete unternehmerischer Nachhaltigkeit und nachhaltige Unternehmensziele näher betrachtet.

#### 2.1.1 Definition, Charakteristika und Abgrenzung

Der Begriff Nachhaltigkeit besitzt in der Literatur keine eindeutige Definition, sondern kann als offenes Konzept verstanden werden, das abhängig vom Kontext zu interpretieren ist (Purvis et al., 2019, S. 681). Innerhalb der Nachhaltigkeitsdiskussion existiert die verbreitete Beschreibung der Nachhaltigkeit als Ansatz, der auf den drei Säulen Ökologie, Ökonomie und Soziales beruht (Corsten & Roth, 2012, S. 1; Purvis et al., 2019, S. 681 f.). Bereits 1987 verwenden Brown et al. die Begriffe zur Beschreibung der Nachhaltigkeit (Brown et al., 1987, S. 714-716). Im selben Jahr entsteht die Definition der nachhaltigen Entwicklung, die von den Vereinten Nationen im Brundtland-Bericht festgehalten wird. Sie legt den Grundstein für die Popularisierung von Nachhaltigkeit durch die Einführung der Thematik in den internationalen, politischen Diskurs (Purvis et al., 2019, S. 684). Dieser Definition zufolge zielt die nachhaltige Entwicklung darauf ab, die Bedürfnisse der Gegenwart zu erfüllen, ohne die Fähigkeit zu gefährden, die Bedürfnisse zukünftiger Generationen zu erfüllen (Vereinte Nationen, 1987, S. 15). Ansätze von Brown et al. sowie weiteren Autoren verschwimmen im Laufe der Zeit und

werden später u. a. unter den drei P's nach Elkington – Planet, Profit und People (dt. Menschen) – zusammengefasst, die allgemeine Werte verkörpern und fern einer expliziten Konzeptualisierung sind (Purvis et al., 2019, S. 690).

Die ökologische Nachhaltigkeit zielt darauf ab, Ressourcen nur in dem Maß zu verbrauchen, in dem sie regeneriert werden können. Daneben soll der Abbau nicht erneuerbarer Rohstoffe verhindert werden, um Schäden am Ökosystem gering zu halten. Daraus resultiert, dass Eingriffe in die Umwelt ausgewogen zum Reaktionsvermögen der Natur sind. Dieser Ansatz ist bekannt als Fortschrittsmodell. Dem gegenüber steht das Verzichtmodell, welches Ressourcenschonung durch Konsumverzicht impliziert (Corsten & Roth, 2012, S. 3). Eng verbunden damit ist die starke und schwache Nachhaltigkeit. Während bei der schwachen Nachhaltigkeit natürliches Kapital durch Künstliches ersetzt werden darf, ist bei der starken Nachhaltigkeit ein konstantes natürliches Kapital gefordert, was zu begrenzten Substitutionsmöglichkeiten führt. Die Kombination beider Ansätze wird als mittlere Nachhaltigkeit bzw. funktionale Substituierbarkeit bezeichnet. Als praktikabelster Ansatz wird hier nur das Maß an Ressourcen verbraucht, dass die Verfügbarkeit für künftige Generationen in selber Qualität und Quantität sichert (Zimmermann, 2016, S. 8).

Mit der ökonomischen Nachhaltigkeit wird der Aspekt nachhaltigen Wirtschaftens beschrieben. Im Unternehmenskontext bedeutet dies ausreichende Gewinne, um faire Löhne sowie hochwertige Rohstoffe zu gewährleisten. Dabei steht nicht der Gedanke der Profitmaximierung im Vordergrund, sondern eine langfristige Orientierung im unternehmerischen Handeln, die nicht auf Kosten der Gesellschaft oder Umwelt betrieben wird. Ziel ist die Legitimität und Akzeptanz der Gesellschaft sowie unterschiedlicher Stakeholder, um ein langfristiges Agieren auf dem Markt zu sichern (Corsten & Roth, 2012, S. 2). Die ökonomische Nachhaltigkeit steht eng in Zusammenhang mit der Kapitaltheorie, die besagt, dass von gegenwärtigen Erträgen, nicht von Kapital gelebt werden soll. Übertragen auf die Gesellschaft, darf nur so viel verbraucht werden, dass zukünftige Konsummöglichkeiten für weitere Generationen nicht eingeschränkt werden. Effizienz-, Konsistenz- und Suffizienz-Strategien spielen dabei eine zentrale Rolle. Ökonomische Nachhaltigkeit ist heutzutage zu einem innovativen Geschäftsfeld gewachsen, welches die interne Zufriedenheit der Mitarbeiter, das positive Image sowie Kaufentscheidungen prägt (Zimmermann, 2016, S. 9 f.).

Die soziale Nachhaltigkeit stellt den Menschen in den Mittelpunkt, insbesondere die Verantwortung und das Handeln gegenüber Mitmenschen. Auf intergenerationaler Ebene wird das Gleichgewicht zwischen den Bedürfnissen zeitgenössischer und zukünftiger Generationen angestrebt. Die intragenerationelle Gerechtigkeit beschreibt den Ausgleich zwischen Arm und Reich. Damit einher gehen Diskussionen der

Chancengleichheit, fairen Einkommensverteilung, Integration, Partizipation als Mitsprache und Mitentscheidung sowie Solidarität (Zimmermann, 2016, S. 14). Ziel der sozialen Nachhaltigkeit ist die Sicherung eines menschenwürdigen Lebens sowie des sozialen Kapitals, d. h. der Sozialstruktur der Gesellschaft. Grundlage hierfür bildet die Arbeit, die zum einen ein selbstbestimmtes Leben, zum anderen die Grundbedürfnisse der Gesellschaft wie Bildung und Gesundheit sichert (Corsten & Roth, 2012, S. 5).

Die drei Säulen der Nachhaltigkeit etablieren sich 1994 als Elkingtons Triple Bottom Line (TBL) und dienen als Framework dazu, soziale, ökologische und wirtschaftliche Auswirkungen eines Unternehmens zu untersuchen (Elkington, 1998, S. 19). Als Wendepunkt der Nachhaltigkeitsansätze entwickelt sich die TBL jedoch als Buchhaltungs- und Berichterstattungsinstrument, während der Profit von Unternehmen weiterhin im Mittelpunkt steht. Aus diesem Grund widerruft Elkington 2019 seinen Ansatz mit der Angabe, dass dieser Überarbeitung benötigt (Elkington, 2019, S. 3).

### 2.1.2 Nachhaltige Initiativen

Die integrative Betrachtung der drei Nachhaltigkeitssäulen – Ökologie, Ökonomie und Soziales – sind Grundgedanke einer Vielzahl von Initiativen und Standards auf nationaler und internationaler Ebene (siehe Tabelle 1) (Glanze et al., 2021, S. 157).

Jahr	Initiative	Beschreibung
1987	Weltkommission für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen	Veröffentlichung des Brundtland-Berichts
1998	Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestages	Operationalisierung der Nachhaltigkeit mit dem Drei-Säulen-Modell innerhalb des Abschlussberichts
2000	Globaler Pakt der Vereinten Nationen (UNGC)	Zehn freiwillige Nachhaltigkeitsprinzipien für Unternehmen
2006	Global Reporting Initiative (GRI)	Erstes globales Rahmenwerk zur Nachhaltigkeitsberichterstattung
2010	Deutscher Nachhaltigkeitskodex (DNK)	Nationaler Standard zur Nachhaltigkeitsberichterstattung
2015	Ziele für die nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen (SDG)	17 Nachhaltigkeitsziele, die bis 2030 erreicht werden sollen
2017	Corporate-Social-Responsibility-Richtlinie-Umsetzungsgesetz des Deutschen Bundestages (CSR-RUG)	Gesetzliche Berichtspflicht für nicht-finanzielle Aspekte für Unternehmen mit mehr als 500 Mitarbeitenden
2019	Value Balancing Alliance (VBA)	Veröffentlichung eines globalen Nachhaltigkeitsrechnungslegungsstandards (bis 2022 geplant)

*Tabelle 1: Übersicht nationaler und internationaler Nachhaltigkeitsinitiativen (In Anlehnung an Glanze, Nüttgens & Ritzau, 2021, S. 157)*

Die im Brundtland-Bericht veröffentlichte Definition der nachhaltigen Entwicklung bildet seit 1987 den Grundstein des heutigen Nachhaltigkeitsverständnisses (Vereinte Nationen, 1987, S. 15). Basierend darauf führt die Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestages 1998 das Drei-Säulen-Modell als Operationalisierung der Nachhaltigkeit ein (Deutscher Bundestag, 1998, S. 18-23).

Seit dem Jahr 2000 sind Unternehmen angehalten, freiwillig den zehn Nachhaltigkeitsprinzipien des Globalen Pakts der Vereinten Nationen (UNGC) zu folgen (United Nations Global Compact, 2021, S. 4). Kritik äußerte sich v. a. angesichts der Belegbarkeit nachhaltigen Handelns (Glanze et al., 2021, S. 157). Um dem entgegenzuwirken, entwickelt die Global Reporting Initiative (GRI) 2006 den ersten Leitfaden der Nachhaltigkeitsberichterstattung für Unternehmen mit Hilfe von Standards. Er wird zur Informationsdarstellung der Corporate Social Responsibility (CSR)-Aktivitäten verwendet (Global Reporting Initiative, 2021, S. 10). Die GRI-Standards beinhalten drei Teilgebiete, die GRI-Universalstandards, GRI-Sektorenstandards und GRI-Themenstandards, die als modulares System für die Nachhaltigkeitsberichterstattung eingesetzt werden (Global Reporting Initiative, 2022, S. 5). Dabei beinhalten die GRI-Standards nicht-finanzielle Leistungsindikatoren, die ebenfalls Teil des Deutschen Nachhaltigkeitskodexes (DNK) sind. Seit 2010 wird der DNK als Grundlage der Nachhaltigkeitsberichterstattung innerhalb Deutschlands gesehen (Deutscher Nachhaltigkeitskodex, 2017, S. 73 f.; Glanze et al., 2021, S. 157).

Einer der bekanntesten und umfassendsten Standards sind die im Jahr 2015 von den Vereinten Nationen verabschiedeten 17 Nachhaltigkeitsziele (englisch: Sustainable Development Goals; SDGs) mit 169 Unterzielen, deren Erreichung bis in das Jahr 2030 geplant sind (siehe Abbildung 2) (Vereinte Nationen, 2015, S. 15; 2022, Abschnitt 3). Initiativen wie die GRI und UNGC sind mittlerweile an den SDGs und der Agenda 2030 ausgerichtet (Glanze et al., 2021, S. 158). Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Ziele ist in Anhang 1 zu finden.



Abbildung 2: Sustainable Development Goals (In Anlehnung an Vereinte Nationen 2022, Abschnitt 3)

Die Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen findet lange Zeit auf freiwilliger Basis statt. Dies ändert sich 2017 durch die Einführung des CSR-Richtlinie-Umsetzungsgesetzes (CSR-RUG) des Deutschen Bundestages. Unternehmen mit einer Anzahl von mehr als 500 Mitarbeitenden sind verpflichtet, Berichte über nicht-finanzielle Leistungen zu erstellen (Deutscher Bundestag, 2017, S. 2). Die Auswahl der Leistungsindikatoren bleibt dabei den Unternehmen überlassen, wobei der DNK empfohlen wird (Glanze et al., 2021, S. 158).

Nachhaltigkeitsinitiativen sind seit 2019 nicht mehr rein politisch initiiert. Die Value Balancing Alliance (VBA) ist die erste, international von Unternehmen gegründete, Nachhaltigkeitsinitiative (Value Balancing Alliance, 2022). Sie legt ihren Fokus auf eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsberichterstattung: „Ziel ist die Entwicklung eines weltweiten Rechnungslegungsstandards, der über die Bewertung der positiven und negativen Auswirkungen der Geschäftstätigkeit von Unternehmen hinaus ganzheitlich die Berichterstattung integriert und die operative Unternehmenssteuerung konsistent und vergleichbar unterstützt“ (Glanze et al., 2021, S. 158).

### **2.1.3 Nachhaltigkeit als unternehmerische Disziplin**

Mit dem Brundtland-Bericht 1987 wird deutlich, dass die Verantwortung der nachhaltigen Entwicklung neben Politik, Individuen und der Gesellschaft, auch auf Unternehmen liegt (Ferdinand, 2022, S. 127; Vereinte Nationen, 1987). Sie beeinflussen die nachhaltige Entwicklung maßgeblich - bewusst oder unterbewusst (Schaltegger, 2015, S. 199). Beispiel hierfür ist der Einsatz von Rohstoffen in der Produktion, der Energieverbrauch der Produktionsanlagen oder die Beschäftigung der Mitarbeitenden. Dabei ist das Unternehmen mit gesellschaftlicher Akzeptanz und Interaktion konfrontiert. Der konkrete Umgang mit der Nachhaltigkeit ist unternehmensabhängig und variiert von bewusster Ignoranz, unreflektierten Geschäftsmodellen und untauglichen Managementsystemen bis hin zur aktiven Auseinandersetzung mit der Thematik (Ferdinand, 2022, S. 127). Für Unternehmen und auch künftige Generationen verursacht die Nichtnachhaltigkeit irreparable Schäden. Hart beschreibt dies 1997 wie folgt: „The simple fact is this: in meeting our needs, we are destroying the ability of future generations to meet theirs“ (Hart, 1997). Hart hebt hervor, dass Unternehmen alleine nicht die Möglichkeit besitzen, das Problem der Nachhaltigkeit zu lösen, es jedoch die einzigen Organisationen sind, die dazu in der Lage sind. Nicht nur, um die Schäden für die Gesellschaft zu reduzieren, sondern auch, um den ökonomischen Erfolg durch nachhaltiges Wirtschaften zu erzielen. Die Auseinandersetzung mit Nachhaltigkeit ist für Unternehmen demnach sinnvoll und erfolgsbringend (Hart, 1997).

Schaltegger schlägt eine Reihe an Eigenschaften für Unternehmen vor, die als Leitlinie für unternehmerisch-nachhaltiges Wirtschaften dienen. Darunter fallen neben anderen

Aspekten, dass Unternehmen keine direkten und indirekten negativen Auswirkungen verursachen sowie gesellschaftliche und ökonomische Werte schaffen. Aktuell existiert kein absolut nachhaltiges Unternehmen, jedoch ist eine Vergleichbarkeit der Nachhaltigkeit von Unternehmen möglich (Schaltegger, 2015, S. 201) und der komparative Ansatz zur Verbesserung der Nachhaltigkeit sinnvoll (Ferdinand, 2022, S. 129). Diese Idee kann als Grundlage des unternehmerischen Nachhaltigkeitsmanagements verstanden werden, worunter die Ansätze der Corporate Sustainability (CS) und CSR fallen. CS beschreibt die Entwicklung ökologischer, sozialer und ökonomischer Ergebnisse, die sowohl die nachhaltige Entwicklung des Unternehmens als auch der Gesellschaft fördern. Damit ist CS nicht einzig und allein auf die Nachhaltigkeit innerhalb der Unternehmensaktivitäten reduziert, sondern umfasst ein unternehmerisches Nachhaltigkeitsmanagement, das bis auf den Unternehmenszweck zurückführbar ist (Ferdinand, 2022, S. 129). Das Nachhaltigkeitsmanagement ist effektiver, je stärker ethische Prinzipien verfolgt werden (Knödler, 2019, S. 19). Demgegenüber steht CSR. Ursprüngliche Definitionen des Begriffs reichen bis in die 50er-Jahre (Carroll, 1999, S. 269 f.). Eine der bekanntesten Definitionen nach Carroll beschreibt CSR als Konzept bzw. Pyramide von wirtschaftlichen, rechtlichen, ethischen und philanthropischen Aktivitäten eines Unternehmens, die an die Gesellschaft und dessen Werte sowie Erwartungen angepasst sind (Carroll, 1991, S. 42). Einem heutigen Verständnis von CSR entspricht die Definition innerhalb des Grünbuchs der Europäischen Kommission von 2001. Demzufolge ist CSR ein „Konzept, das den Unternehmen als Grundlage dient, auf freiwilliger Basis soziale Belange und Umweltbelange in ihre Tätigkeit und in die Wechselbeziehungen mit den Stakeholdern zu integrieren“ (Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 2001, S. 7). Definiert in der ISO 26000 als Social Responsibility (SR) geht es bei (C)SR um transparentes und ethisches Handeln einer Organisation in Bezug auf die Gesellschaft und Umwelt. Zur Wahrung gesellschaftlicher Verantwortung werden Unternehmen angehalten, Prinzipien zu folgen. Des Weiteren sollen sie sich mit den Kernthemen gesellschaftlicher Verantwortung auseinandersetzen, um Schwerpunkte zu setzen (International Organization for Standardization, 2010, Nr. 26000).

Zusammenfassend betrifft CSR die übergreifenden sozialen, ökologischen und wirtschaftlichen Belange, die in den Geschäftsbetrieb, der Kernstrategie und Entscheidungsfindung eines Unternehmens einfließen und in Interaktion mit Stakeholder stattfinden, z. B. verantwortungsbewusste Lieferketten, Konsumenteninteressen sowie die Einbindung der Gesellschaft in das unternehmerische Handeln. Je nach Reifegrad der CSR kann ein Unternehmen von gesellschaftlichem Engagement bis hin zu einem proaktiven, politischen Gestalter agieren (Schneider, 2015, S. 28 f.). Aus diesem Grund ist CSR für viele Unternehmen Erfolgsfaktor und Geschäftspraxis, die den Ruf, die

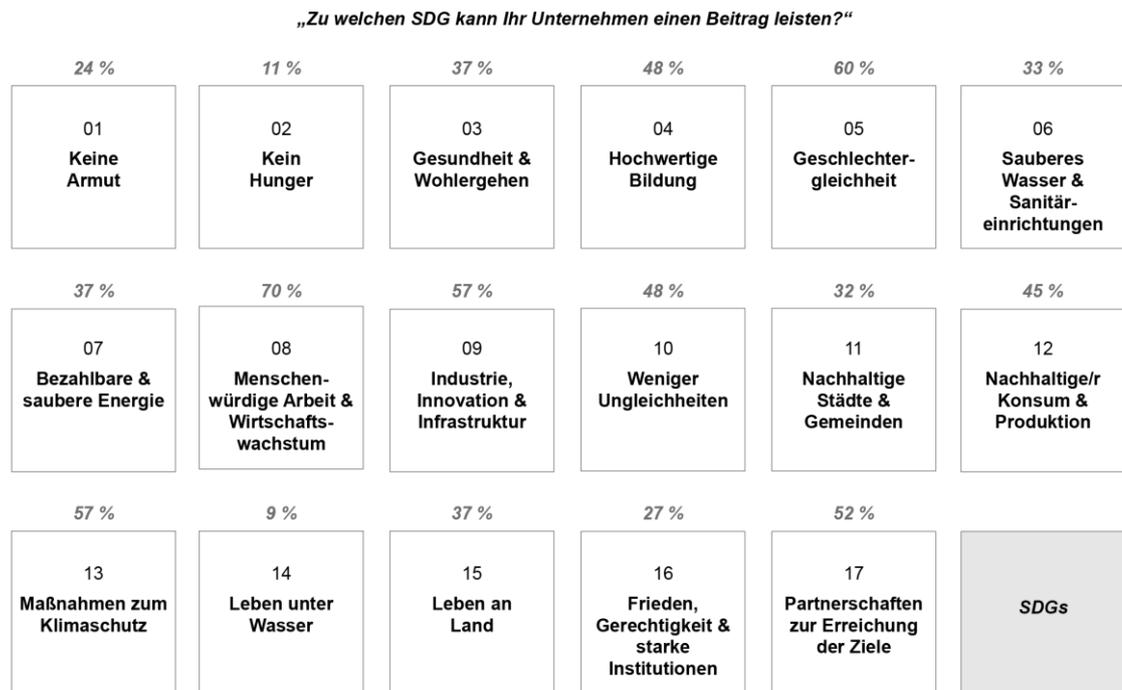
Grundwerte und die Gesamtleistung eines Unternehmens beeinflusst (Singh & Misra, 2021, S. 8). Um eine erfolgreiche Integration von CSR im Unternehmen zu gewährleisten, wird es als eigener Prozess gesehen (Lorentsichitsch & Walker, 2015, S. 401). Das sogenannte CSR-Management beschäftigt sich mit der Verwendung geeigneter Verfahren sowie der Durchführung von Projekten, die negative Auswirkungen auf Individuen, Gesellschaft und Umwelt vermeiden oder minimieren. Das CSR-Management plant, steuert und überwacht die Wirkung und Aktivitäten des Unternehmens (Loew & Rohde, 2013, S. 11 f.).

Eng verbunden mit CSR ist Environmental Social Governance (dt. Umwelt, Soziales und Unternehmensführung; ESG). Während CSR sich damit auseinandersetzt, wie ein Unternehmen ethisch handelt, beinhaltet ESG geeignete Metriken zur Messung der ethischen Leistung (Dathe et al., 2022, S. 117). Bei ESG handelt es sich primär um eine Reihe von Standards, die v. a. von potenziellen Investoren verwendet werden, um ein in Frage kommendes Unternehmen für eine Investition zu prüfen. ESG beschäftigt sich mit den Auswirkungen eines Unternehmens auf die Umwelt sowie den Beziehungen zu Stakeholdern und der Gesellschaft, aber auch der Unternehmensführung und Aktionärsrechten. Die ESG-Kennzahlen haben eine erhebliche Bedeutung für die Unternehmensbewertung und Investitionsentscheidungen hinsichtlich der Leistungs- und Risikobewertung (Bassen & Maria, 2008, S. 184 f.).

#### **2.1.4 Nachhaltige Unternehmensziele**

Eine nachhaltige Unternehmensausrichtung erfordert die Definition nachhaltiger Unternehmensziele als Teil der gesamtunternehmerischen Ziele (Holtmann et al., 2022, S. 137). Letzteres bezieht sich auf Leistungs-, Finanz-, Führungs- und Organisationsziele, während nachhaltige Unternehmensziele eng mit CSR verknüpft sind. Sie dienen nicht direkt der Erfüllung von Erfolgszielen, können jedoch einen maßgeblichen Beitrag hinsichtlich des Images, der Loyalität der Mitarbeitenden, der Kundengewinnung und Bindung sowie dem Recruiting spielen (Thommen et al., 2017, S. 45 f.). Eine ergänzende Sichtweise sieht CSR zudem als Grundlage, an der klassische Unternehmensziele wie Wachstum, Gewinn und Sicherheit ausgerichtet werden (Holtmann et al., 2022, S. 142).

Innerhalb der nachhaltigen Unternehmensziele orientieren sich Unternehmen häufig an den SDGs, die eine grundlegende Veränderung unternehmerischer Strukturen und Prozesse anstreben (Holtmann et al., 2022, S. 141). Der in der Praxis beobachtete Beitrag von Unternehmen zu den einzelnen Zielen variiert jedoch stark (siehe Abbildung 3). Unternehmen geben an, v. a. durch die Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen, welche die SDGs fördern, gefolgt von der Integration der SDGs in die Unternehmensstrategie und das öffentliche Bekenntnis zu den SDGs, der Agenda 2030 nachzugehen (IHK München und Oberbayern, 2017, S. 2 f.).



n = 378

Abbildung 3: Unternehmerischer Beitrag zur Erreichung der SDGs (Eigene Darstellung)

Nachhaltige Unternehmensziele stehen in einer Beziehung zueinander und können in die drei ESG-Dimensionen eingeteilt werden, welche die SDGs als Indikatoren beinhalten (Holtmann et al., 2022, S. 142). Darüber hinaus sind Unternehmen angehalten, ESG-Ziele zu definieren, um den Prinzipien der Agenda 2030 zu folgen (ACI, 2019, S. 20). Daraus resultierend sind nachhaltige Unternehmensziele in der Praxis innerhalb von Nachhaltigkeitsberichten häufig nach den ESG-Dimensionen aufgeteilt. Nachhaltige Unternehmensziele der Dimension Umwelt beziehen sich auf die Ökologie und inkludieren Folgendes (direkt zitiert nach Holtmann et al., 2022, S. 143):

- „Klimaschutz
- Umweltverschmutzungen vermindern/vermeiden
- Nachhaltige Landwirtschaft
- Schutz der biologischen Vielfalt an Land und im Wasser/nachhaltige Nutzung des Landes und der Meere
- Anpassung an den Klimawandel
- Übergang zu Kreislaufwirtschaft/Abfallvermeidung
- Schutz gesunder Ökosysteme“

In die Dimension Soziales fallen Arbeitnehmerbelange sowie die Achtung der Menschenrechte. Dies betrifft folgende nachhaltige Unternehmensziele (direkt zitiert nach Holtmann et al., 2022, S. 143):

- „Soziale- und Arbeitnehmerbelange
- Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz
- Angemessene Entlohnung
- Produktsicherheit inkl. Gesundheitsschutz
- Analoge Anforderungen an Unternehmen in der Lieferkette inkl. Projekte
- Arbeitsrechtliche Standards einhalten (Diskriminierungsverbot)
- Gewährleistung der Gewerkschafts- und Versammlungsfreiheit“

Bei der Dimension Unternehmensführung sind die Korruption, Bestechung sowie dessen Bekämpfung und das Nachhaltigkeitsmanagement im Vordergrund. Nachhaltige Unternehmensziele beinhalten (direkt zitiert nach Holtmann et al., 2022, S. 143):

- „Korruption verhindern
- Whistle Blowing ermöglichen
- Steuerehrlichkeit
- Nachhaltigkeitsmanagement auf Vorstandsebene/Vergütung in Abhängigkeit von Nachhaltigkeit
- Arbeitnehmerrechte garantieren
- Informationen offenlegen“

Eine nachhaltigkeitsorientierte Unternehmensstrategie inkludiert die Definition von Nachhaltigkeitsziele. Auch wenn Holtmann et al. eine Reihe an Zielen vorschlagen, sind die nachhaltigkeitsorientierte Unternehmensstrategie und somit die Nachhaltigkeitsziele letztendlich situations- und unternehmensspezifisch (Placet et al., 2005, S. 41).

Mit den in diesem Kapitel aufgezeigten, nachhaltigen Unternehmenszielen wird die Sub-Forschungsfrage „*Welche Arten von nachhaltigen Unternehmenszielen gibt es?*“ behandelt und beantwortet.

## 2.2 Grundlagen der Digitalisierung

Die Digitalisierung ist ein Megatrend, der die Gesellschaft und Wirtschaft maßgeblich verändert (Reis et al., 2020, S. 443). Damit einher gehen neue Methoden und Denkweisen, um in der digitalen Welt zu bestehen (Jacob, 2019, S. 2 f.). Im Unternehmenskontext spielt die Digitalisierung eine entscheidende Rolle als Differenzierungsmerkmal zur Sicherung der Wettbewerbs- und Überlebensfähigkeit (Lipsmeier et al., 2020, S. 174). Im folgenden Kapitel werden relevante Grundlagen der Digitalisierung erklärt sowie auf das Technologiemanagement und die -bewertung eingegangen, die im weiteren Verlauf der Arbeit die Grundlage für die Erstellung des Technologiebewertungsmodells bilden.

### 2.2.1 Definition, Charakteristika und Abgrenzung

Die Digitalisierung beschreibt den Wandel von Analogem zu Digitalem. Sie ermöglicht neue Formen der Wertschöpfung durch die Verfügbarkeit und Zugänglichkeit von Informationen, Produkten oder Dienstleistungen (Amit & Zott, 2001 zitiert nach Hagberg et al., 2016, S. 696). Damit umfasst die Digitalisierung die Umwandlung aller Arten von Informationen in die digitale Sprache (Machekhina, 2017, S. 26) sowie die Übertragung der Menschen und ihrer Lebens- und Arbeitswelten auf eine digitale Ebene (Dörr, 2021, S. 6). In erster Linie aber kann die Digitalisierung als die Nutzung digitaler Technologie sowie digitalisierter Informationen definiert werden, um neue Werte zu schaffen und nutzen (Gobble, 2018, S. 56). Demnach versteht man unter der Digitalisierung auch den Einsatz digitaler Technologien zur Veränderung von Geschäftsmodellen (Gartner, 2022a). Damit einher geht die Vernetzung aller wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bereiche sowie die Fähigkeit des Sammelns und Analysierens von Informationen, die zur Handlungsumsetzung benötigt werden, wodurch sowohl Chancen als auch Herausforderungen entstehen (BMW, 2015, S. 3).

Die im Unternehmenskontext mit der Digitalisierung verbundenen strukturellen und prozessbezogenen Veränderungen stellen Unternehmen zunehmend vor die Herausforderung der Erhöhung des Digitalisierungsgrads, der mit einer Immaterialisierung von Ressourcen, Prozessen und Produkten einher geht (Schellinger et al., 2020, S. 2). Dabei gilt:

*„Je digitalisierter ein Unternehmen ist, desto moderner ist die digitale Infrastruktur, desto fähiger sind die Mitarbeitenden, mit der Digitalisierung umzugehen, desto mehr wird Wissen mit den Anspruchsgruppen kooperativ entwickelt und desto mehr passt die Unternehmenskultur zu den Erfordernissen der digitalen Gesellschaft“ (Cachelin, 2013, S. 51).*

Als dynamischer und kontinuierlicher Prozess muss die Digitalisierung als integraler Bestandteil des strategischen Managements gesehen werden. Die strategische Herangehensweise an die Digitalisierung ist ausschlaggebend für die Wettbewerbs- und Überlebensfähigkeit eines Unternehmens (Lipsmeier et al., 2020, S. 174).

Eng verbunden mit der Digitalisierung ist der Begriff der Digitalen Transformation, die als der Wandel von Lebensbereichen durch digitale Technologien verstanden werden kann und somit eine Folge der Digitalisierung ist (Jacob, 2019, S. 2 f.). Die Digitale Transformation bezieht sich auf die Veränderungen, die mit der Anwendung der digitalen Technologien in allen Aspekten der menschlichen Gesellschaft einher gehen (Parviainen et al., 2017, S. 64). Sie erfordert „die Verbindung von ‚Digitization‘ und der ‚Digitalisierung‘, um angepasste oder neue Geschäftsmodelle zu schaffen und ein Unternehmen im digitalen Zeitalter effizient und effektiv zu transformieren“ (Grivas &

Graf, 2020, S. 144). Digitization, d. h. die Analog-Digital-Umwandlung, beschäftigt sich damit, digitale Technologien in den alltäglichen Gebrauch zu integrieren (Bican & Brem, 2020, S. 5240). Sowohl die Digitalisierung als auch die Digitale Transformation sind bedingt durch digitale Technologien, deren Einsatz maßgebend für die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens ist.

### **2.2.2 Technologiemanagement**

Digitale Technologien beschreiben jegliche Art von Technologien, die herangezogen werden, um digitale Güter zu erstellen, verarbeiten, übertragen oder nutzen (Loebbecke, 2006, S. 360). Im Unternehmenskontext umfassen sie „Lösungskomponenten für das digital vernetzte Unternehmen“ (BMW, 2021, S. 9). Um Technologiechancen im Unternehmen rechtzeitig zu erkennen und den Technologieeinsatz zu planen, wird das Technologiemanagement herangezogen. Dieses hat die Aufgabe, Technologien, die zur Herstellung von Produkten oder Dienstleistungen benötigt werden, zu planen, organisieren, realisieren und kontrollieren (Fischer & Lange, 2002, S. 357). Darüber hinaus ist es Aufgabe des Technologiemanagements, technologische Innovationen, d. h. neuartige digitale Technologien frühzeitig zu erkennen und umzusetzen (Goehmann, 2020, S. 1-3).

Innerhalb des Technologiemanagements werden zwischen dem operativen und strategischen Technologiemanagement unterschieden, wobei Ersteres die Umsetzung der im strategischen Technologiemanagement getroffenen Entscheidungen übernimmt (Spath & Renz, 2005, S. 236). Demnach fallen in die Aufgaben des strategischen Technologiemanagements technologierelevante Entscheidungsprozesse über die Auswahl alternativer Technologien sowie die Bestimmung der technologischen Wettbewerbsposition (Bullinger, 1994, S. 39 f.). Zusammenfassend bezieht sich das strategische Technologiemanagement „auf den gesamten technologierelevanten Entscheidungsprozeß und schließt Entscheidungen über die Auswahl alternativer, neu zu entwickelnder Technologien, über Kriterien ihrer Anwendung in Produkten, Prozessen und der Produktion sowie über die Bereitstellung von Ressourcen zur erfolgreichen Implementierung ein“ (Bullinger, 1994, S. 40).

Das Technologiemanagement bezieht sich auf die Technologiefrüherkennung, -planung, -entwicklung, -verwertung, den -schutz und die -bewertung (siehe Abbildung 4) (Schulte-Gehrmann et al., 2011, S. 86). Damit beantwortet das Technologiemanagement die Frage, welche Technologie woher bezogen und zu welchem Zweck verwendet wird (Wolfrum, 1991, S. 72).

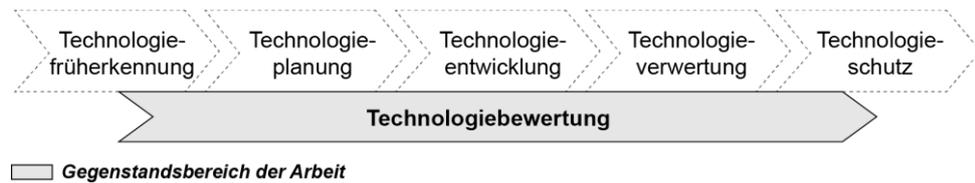


Abbildung 4: Aufgaben des Technologiemanagements  
(In Anlehnung an Schulte-Gehrmann et al. 2011, S. 86)

Als Gegenstandsbereich der vorliegenden Arbeit wird spezieller Fokus auf die Technologiebewertung innerhalb des strategischen Technologiemanagements gelegt. Diese bildet die Grundlage für Technologieentscheidungen und befasst sich damit, ein bestimmtes Bewertungsobjekt und dessen Beitrag zur Erfüllung einer Zielsetzung zu ermitteln und beurteilen (Haag et al., 2011, S. 310).

### 2.2.3 Technologiebewertung

Die Technologiebewertung hat ihren Ursprung in den 1970er-Jahren aus dem angelsächsischen Begriff „Technology Assessment“ (TA), welches „für die systematische und breite Erforschung und Entwicklung von Technologien, ihren individuellen, organisatorischen und gesellschaftlichen sowie weiteren technologischen Auswirkungen und Folgen steht“ (Bullinger, 1994, S. 49). Im deutschsprachigen Raum hat sich hierfür der Begriff Technologie- bzw. Technikfolgenabschätzung durchgesetzt. Bullingers Kritik an dieser Übersetzung liegt v. a. in der negativen Assoziation mit der Terminologie Folgen, da das TA ein neutrales Konzept ist, das sowohl negative als auch positive Aspekte einer Technologie betrachtet und bewertet. Aus diesem Grund ist der Begriff Technologiepotenzialabschätzung, der sowohl Risiken als auch die Nutzenpotenziale einer Technologie abschätzt, treffender (Bullinger, 1994, S. 49 f.).

Mit Einführung der Verein Deutscher Ingenieure (VDI)-Richtlinie 3780 der Technikbewertung wurde das Konzept des TA vom VDI überführt und weiterentwickelt. Dabei ist der Technik-Begriff aufgrund großer Gemeinsamkeiten mit dem Technologie-Begriff gleichzusetzen. Die Technikbewertung wird hier definiert als „*das planmäßige, systematische, organisierte Vorgehen, das*

- *den Stand einer Technik und ihre Entwicklungsmöglichkeiten analysiert,*
- *unmittelbare und mittelbare technische, wirtschaftliche, gesundheitliche, ökologische, humane, soziale und andere Folgen dieser Technik und möglicher Alternativen abschätzt,*
- *aufgrund definierter Ziele und Werte diese Folge beurteilt oder auch weitere wünschenswerte Entwicklungen fordert,*
- *handlungs- und Gestaltungsmöglichkeiten daraus herleitet und ausarbeitet,*

*so daß begründete Entscheidungen ermöglicht und [...] verwirklicht werden können“* (VDI 3780, 2000, S. 12 zitiert nach Bullinger, 1994, S. 50 f.).

Über die Technologiefolgenabschätzung, d. h. die Analyse technologischer Entwicklungen auf sämtliche Bereiche der Gesellschaft, hat die Technologiebewertung die Aufgabe, neue Technologien und ihre Auswirkungen auf Unternehmen zu analysieren (Haag et al., 2011, S. 311). Sie dient der Beurteilung von Technologien anhand unterschiedlicher Bewertungskriterien in differierenden Entscheidungssituationen (Haag et al., 2011, S. 309). Die Technologiebewertung untersucht und evaluiert sowohl Bedingungen als auch Auswirkungen der Einführung und Anwendung von Technologien (Kröll, 2007, S. 37 f.). Dabei kann in die klassifikatorische, komparative und meterisierende Bewertung unterschieden werden, wobei der Schwierigkeitsgrad der Bewertung von klassifikatorisch über komparativ zu meterisierend steigt. Ersteres befasst sich mit der Bildung von Technologielisten. Zweiteres setzt Technologien in ein Verhältnis, und Letzteres ordnet den Technologien numerische Werte zu (Haag et al., 2011, S. 310).

In der Literatur existieren eine Vielzahl an Methoden und Ansätzen zur Technologieidentifikation und -bewertung. Diese können qualitativ oder quantitativ sein. Quantitative Methoden basieren auf Daten zur Beschreibung der Leistungs- und Anwendungspotenziale von Technologien zur Bestimmung zukünftiger Entwicklungen. Qualitative Methoden berücksichtigen quantitative Daten, erweitern diese jedoch bspw. um Urteile und Einschätzungen von Experten (Gerpott, 2005, S. 110-112). Diese Vielfalt an Methoden stellt eine zunehmende Herausforderung für Manager dar (Lingens et al., 2016, S. 36).

Eine sich in den letzten Jahren bewährte Methode zur Identifikation und Bewertung des Reifegrads, der Akzeptanz, Anwendung und potenziellen Relevanz von neuen Technologien zur Lösung von Geschäftsproblemen und Chancennutzung bietet der Gartner Hype Cycle. Er visualisiert, wie sich eine Technologie über die Zeit entwickelt und ermöglicht so, Entscheidungen über den Beitrag der Technologie zu den Geschäftszielen zu treffen. Damit verbunden ist die Risikoreduktion zur Bewertung technologischer Investitionen sowie die Einordnung des Geschäftswerts einer Technologie (Gartner, 2022b). Basierend auf dem Gartner Hype Cycle sowie einer Literatur- und Onlinerecherche entwickelt das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie den Technologie- und Trendradar. Das Modell visualisiert in einer Übersicht Trends und digitale Technologien, die einen Beitrag zur Digitalisierung innerhalb der Wirtschaft Deutschlands leisten. Anhand des Technologiereifegrades wird die Machbarkeit und Massenumsetzbarkeit der Technologie aufgezeigt. Insgesamt sind für das Jahr 2021 fünf relevante Technologiefelder identifiziert worden: „Vernetzung, Virtualisierung und Datenverarbeitung sowie die Kategorien Geschäftsmodelle, Produkte und Prozesse“ (BMW, 2021, S. 9).

## 2.3 Nachhaltigkeit und Digitalisierung

Die Digitalisierung spielt eine wichtige Rolle bei der Umsetzung der SDGs der Vereinten Nationen. Ohne die Transformation bestehender Unternehmen können sowohl die wirtschaftlichen als auch die ökologischen Herausforderungen der Zukunft nicht nachhaltig gelöst werden (Bican & Brem, 2020, S. 5239). Digitalisierung und Nachhaltigkeit stehen demnach in einer Verbindung. Im Kontext der vorliegenden Arbeit und der angestrebten Entwicklung eines nachhaltigkeitsorientierten Technologiebewertungsmodells ist eine konvergente Betrachtung der beiden Disziplinen notwendig.

### 2.3.1 Beziehung und Zusammenhang

Nachhaltigkeit und Digitalisierung sind zwei Megatrends der heutigen Zeit, die wichtige Einflussfaktoren auf Märkte und Unternehmen darstellen (Lichtenthaler, 2021, S. 64). Während die Digitalisierung auf technologischen Entwicklungen basiert, fungiert die Nachhaltigkeit als Zielsystem für ein Gleichgewicht zwischen Konsum und Reproduktion (Dörr, 2021, S. 3). Auch wenn beide Trends alleine auftreten können, hat ihre Verbindung ein enormes Potenzial und einen transformativen Effekt: „Digitalization and sustainability: winds of change blowing from two different directions are converging into a perfect transformative storm in the global economy“ (Kiron & Unruh, 2018).

Die Digitalisierung kann als Instrumentarium zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen dienen (Bradley, 2007, S. 151). Zudem profitieren Unternehmen von einer konvergenten Sicht auf beide Trends, da so neue Chancen hinsichtlich der Reputation, Verbrauchervertrauen und Innovation entstehen (Dörr, 2021, S. 2 f.). Nachhaltigkeit und Digitalisierung zu kombinieren birgt folglich viele Vorteile für Unternehmen. Griese et al. beschäftigen sich in ihrem Modell mit der Einordnung von Unternehmen in eine Matrix, welche die Integration von Nachhaltigkeit und Digitalisierung im Unternehmenskontext evaluiert (siehe Abbildung 5) (Griese et al., 2018, S. 15).

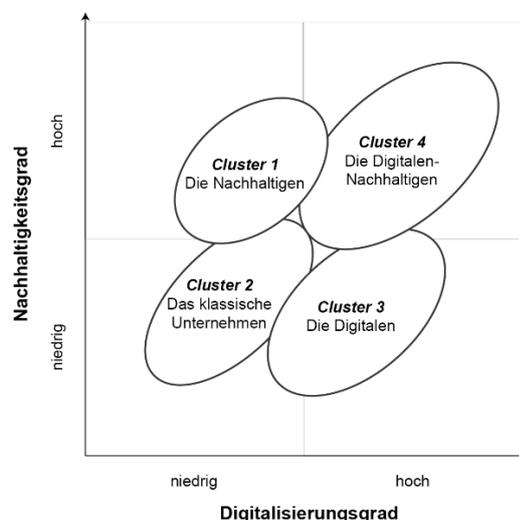


Abbildung 5: Digitalisierungs- und Nachhaltigkeitsgrad von Unternehmen (In Anlehnung an Griese et al., 2018, S. 15)

Das erste Cluster beschreibt Unternehmen mit niedriger Digitalisierung und hoher Nachhaltigkeit als „die Nachhaltigen mit wenigen smarten und digitalen Prozessen“ (Griese et al., 2018, S. 15). Innerhalb des zweiten Clusters befindet sich mit niedriger Digitalisierung und Nachhaltigkeit „das klassische Unternehmen“ (Griese et al., 2018, S. 15). Das dritte Cluster besitzt eine mittelhohe Digitalisierung und niedrige Nachhaltigkeit. Es wird beschrieben als „die Digitalen mit smarten Prozessen und Produkten“ (Griese et al., 2018, S. 16), während im vierten Cluster ein hoher Digitalisierungs- und Nachhaltigkeitsgrad vorherrscht und Unternehmen als „die Digitalen-Nachhaltigen mit smarten Prozessen und Produkten“ gelten (Griese et al., 2018, S. 16).

Innerhalb der vorliegenden Arbeit findet das Modell Anwendung in Bezug auf die Zielerreichung des angestrebten Technologiebewertungsmodells, welches Unternehmen ermöglicht, das vierte Cluster des Modells zu erreichen.

### 2.3.2 Chancen und Risiken

Die konvergente Betrachtung von Nachhaltigkeit und Digitalisierung bringt viele Chancen mit sich. Hinsichtlich der ökologischen Nachhaltigkeit ermöglichen die durch digitale Technologien gesammelten Daten mit intelligenten Analyse- und Visualisierungstechniken es, ein Verständnis über die Interaktion zwischen Menschen und Umwelt zu bilden (Osburg, 2017, S. 5). Innerhalb der ökonomischen Nachhaltigkeit steuert die Digitalisierung zu einer effizienteren Nutzung von Ressourcen, Kapazitäten sowie Abläufen bei. Dies gilt vermindert für Unternehmen, dessen Existenz auf Digitalisierung beruht (Jacob, 2019, S. 41). Der Zusammenhang sozialer Nachhaltigkeit und Digitalisierung stellt die am schwersten zu prognostizierende Dimension dar. Dennoch bildet die Digitalisierung einen positiven Beitrag durch die Schaffung neuer Geschäftsbereiche (Jacob, 2019, S. 42) sowie Gesellschaftsmodelle, die auf dem Prinzip des Teilens beruhen (siehe Tabelle 2) (Osburg, 2017, S. 6).

Ökologische Nachhaltigkeit durch Digitalisierung	Ökonomische Nachhaltigkeit durch Digitalisierung	Soziale Nachhaltigkeit durch Digitalisierung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbesserung der Vorhersage von Naturereignissen oder Katastrophen</li> <li>• Optimierung der weltweiten landwirtschaftlichen Produktion und Lebensmittelversorgung</li> <li>• Vorhersage von Verkehrsstaus und Verwaltung von Umweltzonen</li> <li>• Begrenzung der Energieerzeugung auf den genauen Bedarf der Verbraucher</li> <li>• Ermöglichung einer vorbeugenden Wartung zur Vermeidung von Ausfällen und Ersatz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weniger Abfall, weniger Energieverbrauch, Zeitersparnis</li> <li>• Anziehung von Verbrauchern, die durch Umweltbelange motiviert sind</li> <li>• Positiver Beitrag zur TBL-Berichterstattung des Unternehmens</li> <li>• Die Nutzung nur der benötigten Ressourcen durch „as a Service-Konzepte“, die weitgehend durch Cloud Computing, bei dem nur die tatsächliche Nutzung eines Produkts oder einer Dienstleistung bezahlt wird</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neue Wirtschaftsmodelle durch die Bereitstellung persönlicher Daten im Gegenzug für kostenlose Dienstleistungen oder Produkte</li> <li>• Ethische Projekte, die in der Regel wenig Erfolg bei der Suche nach Startkapital haben, können durch Crowdfunding erleichtert werden</li> <li>• Mobilität als Weg, um die Verfügbarkeit und Konnektivität zu verbessern, aufbauend auf Vertrauen in Systeme und Menschen</li> <li>• Die Neuerfindung der Arbeit, d. h. Industrie 4.0, ist ein Durchbruch bei der Verbesserung der Produktivität, Umweltfreundlichkeit und kollaborativen Arbeitskonzepten</li> </ul>

Tabelle 2: Beispiele der Konvergenz von Digitalisierung und Nachhaltigkeit  
(Eigene Darstellung mit übersetzten Inhalten nach Osburg, 2017, S. 5 f., Übersetzung Lara Maslowski)

Neben den Chancen durch die Verbindung von Nachhaltigkeit und Digitalisierung bestehen auch Risiken. Ein Beispiel hierfür ist der hohe Ressourcen- und Energiebedarf zur Erzeugung und den Betrieb von digitalen Technologien und Infrastrukturen (Berg & Ramesohl, 2019, S. 12), was konträr zum eigentlichen Ziel der ökologischen Nachhaltigkeit steht. Der erhöhte Ressourcenverbrauch ist angesichts der steigenden Komplexität von Produktion, Konsum und Kommunikation weitreichend. Um dem entgegen zu wirken, ist es notwendig, in frühen Prozessphasen der Innovationsentwicklung den Nachhaltigkeitsgedanken zu beachten, um einen Rebound-Effekt, d. h. eine Nichterreichung des erwarteten Einsparpotenzials durch Effizienzsteigerungen, bspw. durch den Verlust von Suffizienz beim Energieverbrauch, zu verhindern (Randhahn et al., 2020, S. 184 f.).

Mit den in diesem Kapitel aufgezeigten Chancen und Risiken der Konvergenz von Digitalisierung und Nachhaltigkeit ist die Sub-Forschungsfrage *„Welche nachhaltigkeitsbezogenen Chancen und Risiken ergeben sich durch die Implementierung digitaler Technologien in Unternehmen?“* beantwortet.

### **2.3.3 Nachhaltige Digitalisierung**

Wie die Begrifflichkeit der nachhaltigen Digitalisierung impliziert, beschäftigt sich diese damit, die Digitalisierung in einer nachhaltigen Art und Weise zu gestalten. Dabei stellt die Digitalisierung eine Chance dar, die Herausforderungen der Nachhaltigkeit zu bewältigen. Im Grundgedanken soll die nachhaltige Digitalisierung einer nachhaltigeren Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft dienen. Ihr Ziel ist es, eine schonende Nutzung von Ressourcen, einen gerecht verteilten Wohlstand und eine langfristige Rentabilität zu sichern (Engels, 2022, S. 8).

Das Themengebiet der nachhaltigen Digitalisierung bezieht sich folglich zum einen darauf, wie der digitale Wandel die Nachhaltigkeit fördert (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2022). Hierzu zählt die Nutzung digitaler Technologien zur nachhaltigen Entwicklung (Pūraitė et al., 2020, S. 93). Zum anderen werden die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Nachhaltigkeit untersucht (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2022).

Des Weiteren existiert gegenüber der nachhaltigen Digitalisierung die Digitale Nachhaltigkeit. Diese hat ihren Ursprung in den 2000er-Jahren und orientiert sich am Grundgedanken der nachhaltigen Entwicklung, jedoch übertragen digitale Artefakte (Wut et al., 2021, S. 3). Die Digitale Nachhaltigkeit beschreibt Themen, die zur Langlebigkeit von digitalen Informationen beitragen (Bradley, 2007, S. 151). Darüber hinaus ist die Digitale Nachhaltigkeit eine Möglichkeit, digitale Artefakte so zu schaffen und zu nutzen, dass sie für die heutige und zukünftige Gesellschaft ihren Wert verbessert (Wut et al., 2021, S. 4). Die Digitale Nachhaltigkeit beschreibt deshalb u. a. die Verwendung der

Technologien im Sinne der Nachhaltigkeit, was bspw. die Förderung der Rückverfolgbarkeit in den Lieferketten oder die Nutzung von Daten zur Verbesserung eines umweltfreundlichen Lebens umfasst (Konys, 2020, S. 2298 f.).

## **2.4 Trends**

Für Unternehmen ist es unerlässlich, relevante Trends innerhalb ihrer Branche und des Marktumfelds zu erkennen, um zu überleben (Horx et al., 2007, S. 26). Folglich ist die Auseinandersetzung mit Trends eine unumgehbare Aufgabe, die essenziell für die Wettbewerbsfähigkeit ist. Im Kontext der vorliegenden Arbeit liegt der Fokus auf technologischen Trends. Aus diesem Grund wird im folgenden Kapitel auf den Begriff des Trends sowie technologische Trends eingegangen, um ein tieferes Verständnis für den mit dem Technologiebewertungsmodell untersuchten Gegenstand zu schaffen.

### **2.4.1 Trendforschung**

Innerhalb der Zukunftsforschung gibt es vielseitige Methoden und Instrumente, die es ermöglichen, langfristige Entwicklungen innerhalb komplexer Systeme zu identifizieren und analysieren. In diesem Kontext ist von Trendforschung die Rede (Hackfort et al., 2019, S. 5). Die Begrifflichkeit der Trendforschung wird in der Literatur jedoch differenziert betrachtet, da sowohl der Begriff Trend als auch die Benennung der Unternehmung als Forschung umstritten sind. Pfadenhauer definiert die Trendforschung als alle Aktivitäten, die darauf abzielen, soziale sowie kulturelle Veränderungen frühzeitig zu erkennen, benennen und bewerten, wobei die zeitliche und räumliche Begrenzung eines Trends sowie das Ausmaß der Konsequenzen unterschiedlich sind (Pfadenhauer, 2004, S. 3). Die strategische Frühaufklärung zur Identifikation solcher Veränderungen erfordert nach Ansoff die Beachtung sogenannter „weak signals“ (dt. schwache Signale) (Ansoff, 1975, S. 23). Schwache Signale sind zufällige oder unzusammenhängende Informationen, die im ersten Moment unauffällig scheinen, aber innerhalb eines bestimmten Kontexts Teil eines signifikanten Musters sind (Schoemaker & Day, 2009, S. 86). Trends sind in ihrer Anfangsphase als schwache Signale zu verstehen. Horx et al. definieren Trends als „Einflusskräfte, die auf Systeme – Unternehmen, Gesellschaft, Individuen – einwirken. Ihre Kenntnis ist die Voraussetzung bewusster Veränderungsprozesse“ (Horx et al., 2007, S. 26). Trends haben bestimmte Merkmale. Sie sind dynamisch und entwickeln sich kurz-, mittel- oder langfristig. Dabei haben sie eine bestimmte Richtung, können aber auch Ambivalenzen, Gegentrends oder Brüche haben. Trends sind qualitativ oder quantitativ beschreibbar und besitzen einen Wirkungsbereich, der sich innerhalb eines natürlichen oder gesellschaftlichen Systems zeigt (Hackfort et al., 2019, S. 5).

## 2.4.2 Technologische Trends

Seit Beginn der industriellen Revolution bildet sich circa alle 50 Jahre eine Basistechnologie aus, die eine sich entwickelnde Knappheiten adressiert und die Produktivität ankurbelt. Ausgelöst wurde die jüngste Welle durch den Computer, das Internet und intelligente Informationstechnologien (Zukunftsinstitut, 2022h). In diesem Kontext ist die Rede von Megatrends. Ein Megatrend beschreibt komplexe Veränderungsdynamiken mit einer Halbwertszeit von 30 bis 50 Jahren. Sie sind ubiquitär, d. h. alle Lebensbereiche betreffend, global und komplex im Sinne einer Mehrdimensionalität (Horx et al., 2007, S. 33). Neben den Megatrends werden verschiedene Trendformen unterschieden, deren Wirkungsbereich und Bedeutung unterschiedlich ist. Diese können als hierarchisches System in einem Mehrebenenmodell verstanden werden. Übergeordnet stehen die natürliche Evolution und der Klimawandel, welche die Lebensgrundbedingungen festlegen, gefolgt von den Megatrends, die Gesellschaft, Technologie und ökonomische Grundprinzipien abdecken. Anschließend kommen soziokulturelle Trends, woraufhin Technologietrends stehen, die auf Basistechnologien der Digitalisierung aufbauen. Schlussendlich sind noch Konsum-, Zeitgeist- und Mode- sowie Mikrotrends zu nennen (Zukunftsinstitut, 2022h).

Drei wesentliche Megatrends des Jahres 2022 sind die Konnektivität, Neo-Ökologie und New Work (dt. neue Arbeit), die vom Zukunftsinstitut, eines der einflussreichsten Institutionen der Trend- und Zukunftsforschung Europas, beschrieben werden (Zukunftsinstitut, 2022a). Innerhalb der Megatrends kristallisieren sich digitale Technologietrends heraus, welche Wirtschaft und Unternehmen maßgeblich prägen. Eine Übersicht dieser Trends zeigt Abbildung 6.

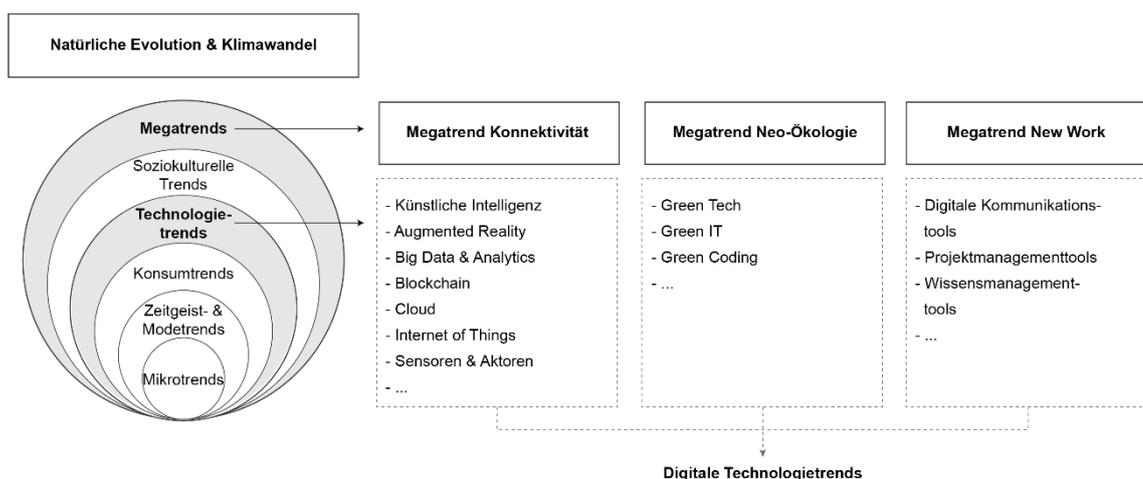


Abbildung 6: Trendsystem mit zusammenhängenden Technologien (Eigene Darstellung)

### 2.4.2.1 Megatrend Konnektivität

Mit dem digitalen Wandel entwickeln sich neue, digitale Technologien und Services, die eine Veränderung hin zu einer Netzwerkgesellschaft avancieren. Auch bekannt als Megatrend Konnektivität geht es dabei um die Vernetzung basierend auf digitalen Infrastrukturen. Unternehmen und Individuen stehen vor der Herausforderung, neue Kompetenzen sowie ein neues Verständnis zu erlernen. Damit geht der Megatrend über die rein technologische Betrachtung der Digitalisierung hinaus und bezieht sowohl soziale als auch kulturelle Aspekte mit ein. Technologie und Digitalisierung werden nicht gleichgestellt, vielmehr ist die Digitalisierung als technologisch vernetzte Kommunikation zu verstehen, die den menschlichen Aspekt inkludiert. Digitale Technologien funktionieren demnach nur, wenn sie als soziotechnische Vision verstanden werden (Zukunftsinstitut, 2022e). Mit dem Megatrend Konnektivität stehen technologische Trendbegriffe wie Augmented Reality (AR), Big Data, Blockchain, Internet of Things (IoT), Künstliche Intelligenz (KI) und vieles mehr in Verbindung (Zukunftsinstitut, 2022b).

Einige Trendbegriffe des Megatrends Konnektivität werden vermehrt in Zusammenhang mit Industrie 4.0 genannt (Bai et al., 2020, S. 3). Da sich die vorliegende Arbeit mit der Untersuchung von digitalen Technologietrends im Unternehmenskontext beschäftigt, ist die Betrachtung sich überschneidender Technologien sinnvoll. Relevante Technologietrends der Industrie 4.0 und des Megatrends Konnektivität werden nachfolgend aufgelistet und kurz erklärt (siehe Tabelle 3).

Technologie	Definition
<b>Künstliche Intelligenz</b>	Ist ein Bereich der Informatik, der sich mit der Schaffung intelligenter Maschinen, die wie Menschen arbeiten und reagieren beschäftigt.
<b>Augmented Reality</b>	Ist eine Art interaktive, realitätsbezogene Anzeigenumgebung, welche die Möglichkeiten der computergenerierten Displays, Sounds und anderen Effekten nutzt, um die Erfahrungen in der Praxis zu verbessern.
<b>Big Data und Analytics</b>	Beziehen sich auf die Strategie der Analyse großer Datenmengen, die eingesetzt werden, wenn traditionelle Data-Mining- und Verarbeitungstechniken die Erkenntnisse und die Bedeutung der zugrunde liegenden Daten aufdecken können.
<b>Blockchain</b>	Ist eine Datenbank, die eine vollständig verteilte und nicht manipulierbare, kontinuierlich wachsende Liste von Datensätzen unter Verwendung neuer Verschlüsselungs- und Authentifizierungstechnologie und einem netzwerkweiten Konsensmechanismus besitzt.
<b>Cloud</b>	Bezieht sich auf alle Informationstechnologie-Dienste, die von einem Cloud-Computing-Anbieter bereitgestellt und von einem Cloud-Computing-Anbieter bezogen werden.
<b>Internet of Things</b>	Sind die verschiedenen Sätze von Hardwareteilen, die über das Internet der Dinge zusammenarbeiten, um Fertigungs- und Industrieprozesse zu verbessern.
<b>Sensoren und Aktoren</b>	Sind Geräte, die auf einen physikalischen Reiz reagieren (wie Wärme, Licht, Schall, Druck, Magnetismus oder eine bestimmte Bewegung) und einen daraus resultierenden Impuls übertragen (z. B. zur Messung oder zur Betätigung einer Steuerung).

*Tabelle 3: Definitionen digitaler Technologietrends  
(Eigene Darstellung mit übersetzten Inhalten nach Bai et. al, 2020, S. 39, Übersetzung Lara Maslowski)*

### 2.4.2.2 Megatrend Neo-Ökologie

Umweltbewusstsein und Nachhaltigkeit sind zentraler Gedanke des Megatrends Neo-Ökologie. Konsumierende etablieren ein neues Wertesystem, auf das Unternehmen reagieren. Damit einher geht eine neue Art des Verbrauchens sowie ein nachhaltiger Ressourcenumgang. Aus sozialer Sicht wird der Mensch bei diesem Megatrend Teil des Ökosystems Erde und ist dabei weder Retter noch Zerstörer. Auch die Wirtschaft entwickelt sich in Richtung einer Sinn-Ökonomie, bei der anstelle der Profitmaximierung Nachhaltigkeit, Postwachstum und Gemeinwohl stehen. Darüber hinaus spielen nachhaltige technologische Innovationen eine wichtige Rolle als lösungsorientierte Herangehensweise an das Nachhaltigkeitsproblem (Zukunftsinstitut, 2022f). Green Tech (dt. grüne Technologie) bspw. bezeichnet Technologien, die Umweltbelastungen oder Umweltschäden vermeiden, verringern oder beheben (Zukunftsinstitut, 2022c). Eng verbunden hiermit ist die Begrifflichkeit der Green Information Technology (dt. grüne Informationstechnologie), die Maßnahmen für die Verbesserung von Informations- und Kommunikationstechnologien hinsichtlich der Nachhaltigkeit bezeichnen. Sowohl Hardware- als auch Software-Komponenten spielen hierbei eine Rolle. Letzteres ist Gegenstand aktueller Forschungen. Sustainable Software Engineering (dt. nachhaltige Softwareentwicklung) bezeichnet die Entwicklung, den Einsatz und die Nutzung von Software zur Verminderung negativer Auswirkungen oder positiver Beeinflussung der Wirtschaft, Gesellschaft, Menschen und Umwelt (Naumann et al., 2015, S. 192). Ein in diesem Kontext zu nennendes Beispiel ist Green Coding (dt. grüne Programmierung). Hierbei werden drei Säulen bei der Softwareentwicklung beachtet, das „was“, „wie“ und „wo“. Ersteres beschäftigt sich mit der Softwareentwicklung und implementiert eine „grünere Logik“ durch die Betrachtung des erbrachten Nutzens und der investierten Energie. Das „wie“ beschäftigt sich mit der Effizienz des Softwareentwicklungs-Lebenszyklus und sucht nach alternativen, energieärmeren Lösungen, sprich eine „grünere Methodik“. Letzteres beschreibt das „wo“ die Plattform, auf der der Code ausgeführt wird, wobei eine „grünere Plattform“ gewählt wird, die ein Minimum an Energieverbrauch anstrebt (Ruiz De Villa Suárez et al., 2022, S. 6).

### 2.4.2.3 Megatrend New Work

Der Megatrend New Work beschäftigt sich mit dem Wandel der Arbeit durch die Digitalisierung und den Postwachstumsgedanken, der u. a. mit der Sinnfrage sowie der Vereinbarkeit von Beruf und Privatleben zusammenhängt. Der durch COVID-19 bedingte „Digitalisierungsschub fördert neue Arbeitsstrukturen, die von Work-Life-Blending, Kollaboration und Remote Work geprägt sind“ (Zukunftsinstitut, 2022g). Darüber hinaus findet eine Entwicklung hin zu einer Sinn-Ökonomie statt, die impliziert, dass nicht das neueste, sondern beste Produkt am wertvollsten ist. Dabei ergibt sich der

Wert des Produkts nicht aus der Qualität, sondern aus den ökologischen, ökonomischen und sozialen Werten, die nicht direkt mit dem Produkt selbst zusammenhängen. In diesem Zug bekommt CSR einen neuen Stellenwert (Zukunftsinstitut, 2022g).

Auch die Digitalisierung steht eng mit dem Megatrend New Work in Zusammenhang. Der souveräne Umgang mit digitalen Technologien, die digital-vernetzte Kommunikation und ein Miteinander im digitalen Kontext haben an Bedeutung gewonnen. Tools zum Kommunikations-, Projekt- und Wissensmanagement haben sich in den Arbeitsalltag integriert, v. a. im Zuge von Remote Work, dem ortsunabhängigen Arbeiten (Zukunftsinstitut, 2022g). Vorteile aus Sicht des Arbeitgebers sind eine gesteigerte Produktivität, eine höhere Erreichbarkeit der Arbeitnehmer sowie eine gute Arbeitsleistung. Aus Sicht der Arbeitnehmer fördert Remote Work eine bessere Work-Life-Balance sowie eine ungestörtere Arbeitsumgebung (Farreira et al., 2021, S. 76). Zudem ermöglicht es Zugriff auf einen Arbeitsmarkt und Arbeitskräfte, welcher vorher aufgrund geografischer Distanzen nicht möglich war.

### **3 Wissenschaftliche Methodik**

Innerhalb des strategischen Technologiemanagements existieren eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden und Ansätze, die der Bewertung digitaler Technologien dienen (Spath & Renz, 2005, S. 236). Dabei stellt die Nachhaltigkeitsbewertung der Technologien in Theorie und Praxis eine Herausforderung dar (Blanco et al., 2020, S. 1). Aktuell findet sich in der Literatur kein wissenschaftlicher Konsens über ein Technologiebewertungsmodell, das den Einfluss digitaler Technologien auf die unternehmerische Nachhaltigkeit untersucht, dabei jedoch auch unternehmensbezogene und technologische Aspekte inkludiert.

Aus diesem Grund werden im folgenden Kapitel mehrdimensionale Entscheidungssituationen sowie ausgewählte Methoden und integrative Vorgehensmodelle der Technologiebewertung betrachtet und analysiert, um darauf basierend eine Methodenkritik sowie ein -portfolio zu erstellen, aus dem sich der weitere Forschungsbedarf ableitet. Die Forschungsmethode besteht aus einer qualitativen Analyse, um anhand eines dreistufigen Prozesses – der Informationssammlung, Analyse und Kritik – ein konzeptionell-theoretisches Bewertungsmodell zu erstellen, das anschließend innerhalb einer Fallstudie für die Praxis geprüft wird.

#### **3.1 Mehrdimensionale Entscheidungssituationen**

Das in der vorliegenden Arbeit zu entwickelnde Technologiebewertungsmodell soll sowohl die ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeit als auch unternehmensbezogene sowie technologische Aspekte der analysierten Technologien miteinbeziehen. Die Ausweitung des Betrachtungshorizonts der klassischen Technologiebewertung durch den Aspekt der Nachhaltigkeit sowie die Bewertung im Unternehmenskontext führen zu einer mehrdimensionalen Entscheidungssituation. Im Folgenden werden daher Entscheidungsverfahren mehrfacher Zielsetzung sowie die multikriterielle Entscheidungsunterstützung betrachtet.

##### **3.1.1 Entscheidungsverfahren mehrfacher Zielsetzung**

Das Technologiebewertungsmodell der vorliegenden Arbeit unterliegt dem Anspruch einer mehrfachen Zielsetzung. Demnach gilt es den Zielbeitrag der untersuchten Technologien für mehrere Ziele zu ermitteln. Diese sind zu operationalisieren, sodass der Beitrag der Technologien zur Erreichung der Ziele bestimmt werden kann. In Entscheidungsverfahren mehrfacher Zielsetzung ist eine Zieldimension nicht überlegen, sondern erfordert das Eingehen eines geeigneten Kompromisses (Wall & Leitner, 2012, S. 261). Um eine Entscheidung bei mehrfacher Zielsetzung möglichst rational zu halten, wird nach dem Nutzwert gehandelt. Dabei ist die Alternative die Beste, die den höchsten

Nutzwert besitzt. Dieser wird bestimmt, indem für die Zieldimensionen eine Nutzenfunktion aufgestellt wird, bei „der jeder Kombination der Zielausprägungen ein Nutzwert zugeordnet wird“ (Wall & Leitner, 2012, S. 262). Eine weitere, einfachere Vorgehensweise ist die Bestimmung des Einzelnutzens der Ziele, die zu einem Gesamtnutzen addiert werden. Rationale Entscheidungen können jedoch nur dann getroffen werden, wenn eine Nutzenunabhängigkeit der Zielausprägungen vorliegt. Der Kapitalwert einer Investition ist bspw. unabhängig von der Umweltbelastung der Investition zu betrachten (Wall & Leitner, 2012, S. 262).

Die Auswahl der Entscheidungsalternativen kann über drei verschiedene Verfahren erfolgen: die Zielunterdrückung, Festlegung von Anspruchsniveaus oder den Zielkompromiss (Küpper et al., 2008, S. 118). Ersteres beachtet bestimmte Ziele nicht, um die Entscheidungsfindung zu vereinfachen. Die Festlegung von Anspruchsniveaus beschreibt ein Verfahren, bei dem für ein Ziel das Maximum oder Minimum erreicht wird, während die anderen Ziele Niveaus besitzen. Diese stellen Bedingungen dar, die für eine akzeptable Lösung erreicht werden. Der Zielkompromiss ist als additives Vorgehen eines der gängigsten Verfahren, wobei „die Ausprägungen der Handlungsalternativen [...] hinsichtlich der verschiedenen Ziele addiert [werden]“ (Wall & Leitner, 2012, S. 263). Es wird die Alternative gewählt, dessen Summe am höchsten ist. Dabei sind die Ziele nicht gleich gewichtet. Einbußen bei einem Ziel können durch einen größeren Beitrag zu einem anderen Ziel kompensiert werden (Wall & Leitner, 2012, S. 263).

Die Verfahren und Ansätze der mehrfachen Zielsetzung setzen die Zieldimensionen in eine Relation, um die Entscheidungsfindung zu unterstützen. Dennoch muss beachtet werden, dass die Entscheidung von unterschiedlichen Entscheidungsträgern, Abteilungen oder Hierarchiestufen getroffen wird. Ziel ist es, auch bei einer großen Anzahl an involvierten Personen eine optimale Umsetzung der definierten Ziele zu gewährleisten (Wall & Leitner, 2012, S. 264 f.).

Für das zu entwickelnde Technologiebewertungsmodell wird das Konzept mehrfacher Zielsetzung beachtet. Dabei ist das Verfahren zur Festlegung von Anspruchsniveaus relevant. Die Nachhaltigkeit gilt als die Zieldimension, bei der ein Maximum erreicht werden soll. Für die anderen, zu bewertenden Dimensionen werden Anspruchsniveaus festgelegt, die zu erzielen sind.

### **3.1.2 Multikriterielle Entscheidungsunterstützung**

Die Bestimmung des Zielbeitrags der Technologien innerhalb mehrerer Dimensionen führt zu einer Notwendigkeit der Erweiterung und Definition von Bewertungskriterien. In diesem Fall eignet sich der Einsatz einer multikriteriellen Entscheidungsunterstützung, die darauf ausgelegt ist, bei einer großen Anzahl an Kriterien Entscheidungssituationen zu unterstützen (Mirasgedis & Diakoulaki, 1997, S. 368). Eine multikriterielle

Problemstellung besitzt eine diskrete oder kontinuierliche Menge an Auswahlmöglichkeiten, die anhand von mindestens zwei Kriterien analysiert werden, um eine Alternative zu wählen, eine Rangfolge zu bilden oder die Optionen zu kategorisieren (Oberschmidt, 2010, S. 56). Dabei können sowohl qualitative als auch quantitative Informationen gleichzeitig mit einbezogen werden (Roy, 2005, S. 21).

Seit 1960 gibt es viele Veröffentlichungen über die multikriteriellen Entscheidungsunterstützung (Bana E. Costa et al., 1997, S. 29; Roy, 2005, S. 20). Dabei wird in Multi-Objective-Ansätze (auch: Multi Objective Decision Making; MODM) und Multi-Attribut-Ansätze (auch: Multi Attribute Decision Making; MADM) unterschieden. MODM beschreibt Optimierungsvorhaben, bei denen aus einer undefinierten Menge an Optionen im Kontext festgelegter Rahmenbedingungen die optimale Lösung bestimmt wird (Danesh et al., 2018, S. 84; Kahraman et al., 2015, S. 656). MADM hingegen besitzt eine bekannte Menge an Optionen. Anhand einer simultanen Bewertung mit mehreren, differierenden Bewertungskriterien, d. h. einer multikriteriellen Bewertung, wird die Lösung gesucht, die bspw. der Zielvorstellung des Entscheidungsträgers am ehesten entspricht (Danesh et al., 2018, S. 84; Kahraman et al., 2015, S. 638). Innerhalb der MADM-Verfahren kann weiterhin zwischen dem amerikanischen und europäischen Ansatz unterschieden werden. Ersteres bildet die Präferenzen der Entscheidungsträger in numerischen Nutzenfunktionen ab. Es wird davon ausgegangen, dass der Gesamtnutzen einer Handlungsalternative bestimmt wird, indem die Teilnutzenwerte hinsichtlich einzelner gewichteter Bewertungskriterien aggregiert werden (Figueira et al., 2005, S. xxv). Eine beispielhafte Bewertungsmethode hierfür stellt die Nutzwertanalyse dar (Oberschmidt, 2010, S. 59). Der europäische Ansatz geht von unklaren Präferenzen der Entscheidungsträger aus. Über sogenannte Outranking-Verfahren sollen widersprüchliche Informationen dennoch verarbeitet werden (Brans & Smet, 2005, S. 191; Oberschmidt, 2010, S. 59 f.).

Trotz unterschiedlicher Ansätze liegt einer multikriteriellen Bewertung ein generisches Ablaufschema zugrunde (siehe Abbildung 7). Zu Beginn ist die Problemstellung zu definieren sowie die zu bewertenden Alternativen festzulegen. Anschließend werden die Bewertungskriterien durch die Stakeholder und Entscheidungsträger ausgewählt, die Kriterienausprägungen festgelegt und nach der relativen Bedeutung gewichtet. Die Strukturierung der Bewertungskriterien kann über eine baumähnliche Darstellung erfolgen, die durch eine hierarchische Anordnung die Relevanz der Kriterien einstuft. Die Gewichtung der Bewertungskriterien erfolgt anschließend entweder auf Basis einer subjektiven Einschätzung des Entscheidungsträgers oder einer nachgelagerten Gewichtung über eine Sensitivitätsanalyse, wobei vorerst eine Gleichgewichtung der Kriterien angenommen wird. Um die Objektivität der Gewichtung zu sichern, wird auf Methoden wie den paarweisen Vergleich zurückgegriffen, wobei Kriterienpaare mit Hilfe

eines skalierten Maßstabs hinsichtlich ihrer Relevanz abgewogen werden, um die relativen Gewichtungsfaktoren zu bestimmen. Letztendlich werden die aus der Bewertung gesammelten Daten je Alternative aggregiert und mit Sensitivitätsanalysen geprüft, um eine Handlungsempfehlung abzuleiten (Oberschmidt, 2010, S. 61 f.).

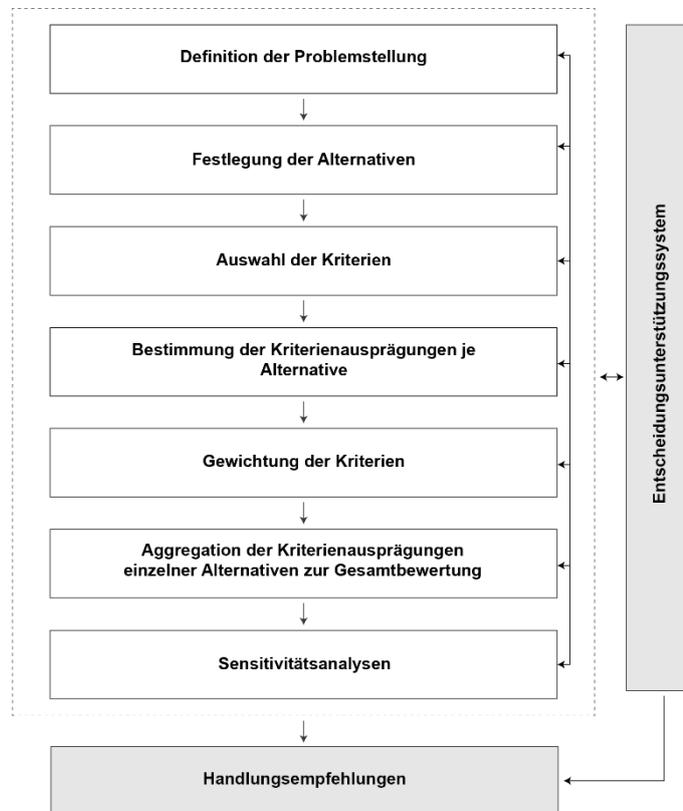


Abbildung 7: Ablaufschema einer multikriteriellen Bewertung (In Anlehnung an Oberschmidt 2010, S. 62)

Ziel einer multikriteriellen Bewertung ist es, multikriterielle Problemstellungen auf einkriterielle Probleme zu reduzieren, um eine optimale Lösung zu finden (Brans & Smet, 2005, S. 191). Darüber hinaus repräsentiert jedes Kriterium innerhalb der Bewertung einen Teilaspekt der Problemstellung und wird in der Gesamtbewertung berücksichtigt (Bana E. Costa et al., 1997, S. 30). Somit ist ein multikriterielles Verfahren für die Technologiebewertung als geeignet zu bewerten. Im Kontext der vorliegenden Problemstellung der Forschung wird sich auf das MADM-Verfahren und den amerikanischen Ansatz gestützt, da dieser auf eine vergleichbare Bewertung bekannter, vorab definierter und voneinander abgrenzbarer Alternativen abzielt. Diese stellen im Rahmen der Forschung die zu bewertenden Technologien dar. Die Präferenz der Entscheidungsträger spiegelt sich in der Gewichtung der Bewertungskriterien wider, wobei die Technologie zu wählen ist, deren Nachhaltigkeitsbeitrag am höchsten ist.

## 3.2 Methoden der Technologiebewertung

Auswahl- und Bewertungsmethoden unterstützen bei der Entscheidungsfindung durch die systematische, objektive und nachvollziehbare Beurteilung relevanter und bevorzugter Handlungs- bzw. Lösungsalternativen. Sie dienen der frühzeitigen Identifikation von Risiken und Konsequenzen. Eine adäquate Untergliederung von Bewertungsmethoden ist die Unterteilung in einfache, aufwendige und komplexe Verfahren, die anhand ihrer Eignung und des Zeitaufwands determiniert werden (Wartzack, 2021, S. 307 f.). Auch wenn die Bewertungsmethoden je nach Einsatz variieren, können sie auf einen generischen Ablauf vereinheitlicht werden. Dieser kann als Orientierung für die Erstellung eines eigenen Bewertungsmodells herangezogen werden (siehe Abbildung 8) (Wartzack, 2021, S. 309).



Abbildung 8: Generischer Ablauf einer Bewertung (In Anlehnung an Wartzack 2021, S. 309)

### 3.2.1 Identifikation relevanter Technologiebewertungsmethoden

Aufgrund der Vielzahl an Technologiebewertungsmethoden sind im Rahmen der vorliegenden Arbeit diejenigen zu identifizieren, die in Praxis und Wissenschaft eine hohe Relevanz besitzen und deshalb eine nähere Beschreibung und Analyse erfordern.

In der Literatur stellen Autoren in unterschiedlichem Kontext einen Überblick über Technologiebewertungsmethoden zur Verfügung. Eine systematische Übersicht bieten Pfeiffer & Weiß, die ausgewählten Methoden anhand der Technologiemanagement- (Planung, Durchführung, Kontrolle) und Lebenszyklusphase (Beobachtungs-, Entstehungs-, Markt- und Entsorgungsphase) der analysierten Technologien unterteilen (Pfeiffer & Weiß, 1995, S. 669 zitiert nach Schneider, 2002, S. 80). Im Kontext der vorliegenden Arbeit sind v. a. die Methoden der Technologieplanung relevant.

Der VDI behandelt mit seiner VDI-Richtlinie 3780 Methoden zur Technikbewertung, die als heuristische Methoden des Problemlösens ursprünglich aus anderen Arbeitsfeldern kommen (VDI 3780, 2000, S. 31 zitiert nach Bullinger, 1994, S. 32). Die Methoden werden aufgrund der synonymen Begriffsverwendung von Technik und Technologie und der damit engen Verbundenheit betrachtet (Kröll, 2007, S. 39).

Schneider wiederum bietet eine Auswahl von neun Methoden basierend auf einer Analyse „anhand aktueller Tendenzen in Wissenschaft und Praxis“ (Schneider, 2002, S. 87). Einen ähnlichen Ansatz verfolgen Haag et al., die eine Übersicht bestehender Technologiebewertungsmethoden geben, die sowohl eine vielzählige, literarische Nennung sowie gleichzeitige praktischen Anwendung haben (Haag et al., 2011, S. 324).

Gerpott hingegen untergliedert genannte Technologiebewertungsmethoden nach qualitativen und quantitativen Verfahren, weist aber auf eine simultane Anwendung mehrerer Methoden hin, um Nachteile einer Einzelmethode-Nutzung zu verhindern (Gerpott, 2005, S. 110-112).

Vorbach geht in seiner Übersicht an Bewertungsmethoden auf die unterschiedliche Komplexität und den Umfang der Methoden ein. Dabei unterscheidet er in Technologiebewertungsmethoden zur Grob- oder Feinbewertung und generellen Auswahlentscheidung von Technologien (Vorbach, 2014, S. 212).

Tabelle 4 zeigt eine Übersicht der genannten Technologiebewertungsmethoden der Autoren. Diese dient der späteren Selektion relevanter Methoden.

Pfeiffer & Weiß (1995)	VDI 3780 (2000)	Schneider (2002)	Gerpott (2005)	Haag et al. (2011)	Vorbach (2014)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• F&amp;E-Budget</li> <li>• Funktionalmarkt-Konzept</li> <li>• Kreativitätstechniken</li> <li>• Morphologischer Kasten</li> <li>• Ökologische Schraube</li> <li>• Patent-Portfolio</li> <li>• S-Kurven-Analyse</li> <li>• Suchfeldanalyse</li> <li>• Technologie-Indikatoren</li> <li>• Technologie-Listen</li> <li>• Technologieportfolio</li> <li>• Technologie-Programm-Portfolio</li> <li>• Technologische Analyse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brainstorming</li> <li>• Delphi-Studie</li> <li>• Historische Analogiebildung</li> <li>• Kosten-Nutzen-Analyse</li> <li>• Modellsimulation</li> <li>• Morphologische Analysen</li> <li>• Nutzwertanalyse</li> <li>• Relevanzbaumanalyse</li> <li>• Risikoanalyse</li> <li>• Szenarioanalyse</li> <li>• Trendextrapolation</li> <li>• Verflechtungsmatrix</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brainstorming</li> <li>• Cross-Impact-Analyse</li> <li>• Delphi-Methode</li> <li>• Lebenszyklus-Modelle</li> <li>• Patentanalyse</li> <li>• Portfolioanalyse</li> <li>• Relevanzbaumanalyse</li> <li>• Szenarioanalyse</li> <li>• Trendextrapolation</li> </ul>	<p><b>Quantitativ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kosten-Nutzen-Analyse</li> <li>• Modellsimulationen</li> <li>• Trendextrapolation</li> </ul> <p><b>Qualitativ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cross-Impact-Analyse</li> <li>• Delphi-Methode</li> <li>• Relevanzbaumanalyse</li> <li>• Szenario-Technik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argumentenbilanz</li> <li>• Armotisationsrechnung</li> <li>• Break-Even-Analyse</li> <li>• Checklisten</li> <li>• Entscheidungsbaumanalyse</li> <li>• Fair-Value-Ansatz</li> <li>• Kapitalwertmethode</li> <li>• Kosten-Nutzen-Analyse</li> <li>• Maschinenstudensatzrechnung</li> <li>• Nutzwertanalyse</li> <li>• Portfolioansätze</li> <li>• Realloptionsansatz</li> <li>• Rendite-kennzahlen</li> <li>• Total Cost of Ownership</li> <li>• Transaktionskostenansatz</li> <li>• Verfahren der Lizenzpreisbildung</li> </ul>	<p><b>Grobbewertung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Checklisten</li> <li>• Portfolio zur Abschätzung von Technologiepotenzial und technologischer Machbarkeit</li> <li>• S-Kurve zur Potenzialabschätzung einer Technologie</li> <li>• Technologielebenszyklus</li> </ul> <p><b>Feinbewertung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Delphi-Methode</li> <li>• Lead User Analyse</li> <li>• Patentanalyse</li> <li>• Publikationsanalyse</li> <li>• Quality Function Department</li> <li>• Technologiebenchmarking</li> <li>• Technologieportfolio nach Pfeiffer</li> <li>• Technologieprofil</li> <li>• Technologieroadmap</li> </ul> <p><b>Auswahlentscheidungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Argumentenbilanz</li> <li>• Nutzwertanalyse</li> <li>• Paarweiser Vergleich</li> <li>• Punktevergabe</li> </ul>

Tabelle 4: Übersicht der Technologiebewertungsmethoden (Eigene Darstellung)

Aus der Methoden-Übersicht in Tabelle 4 kann die Zitierhäufigkeit und auf dieser Basis die Relevanz der Technologiebewertungsmethoden in Literatur und Praxis abgeleitet werden. Dabei ist zu beachten, dass unterschiedliche Autoren differierende Benennungen haben oder Oberbegriffen zur Zusammenfassung bzw. Kategorisierung einer Methodenart nutzen. Nachfolgende Tabelle zeigt die Zitierhäufigkeit der genannten Methoden aus der Literatur (siehe Tabelle 5).

Bewertungsmethoden ● Nennung der Methode	Pfeiffer & Weiß (1995)	VDI 3780 (2000)	Schneider (2002)	Gerpott (2005)	Haag et al. (2011)	Vorbach (2014)
Argumentenbilanz					●	●
Amortisationsrechnung					●	
Brainstorming		●	●			
Break-Even-Analyse					●	
Checklisten	●				●	●
Cross-Impact-Analyse			●	●		
Delphi-Methode		●	●	●		
Entscheidungsbaumanalyse					●	
Fair-Value-Ansatz					●	
F&E-Budget	●					
Funktionsmarkt-Konzept	●					
Historische Analogiebildung		●				
Kapitalwertmethode					●	
Kosten-Nutzen-Analyse		●		●		
Kreativitätstechniken	●	●	●	●		●
Lead User Analyse						●
Lebenszyklus-Modelle			●			●
Maschinenstundensatzrechnung					●	
Modellsimulation		●		●		
Morphologischer Kasten	●		●			
Nutzwertanalyse			●		●	●
Ökologische Schauben	●					
Paarweiser Vergleich						●
Patentanalysen	●		●			●
Publikationsanalyse						●
Punktevergabe						●
Quality Function Department						●
Realoptionsansatz					●	
Relevanzbaumanalyse		●	●	●		
Renditeverfahren					●	
Risikoanalyse		●				
S-Kurven-Analyse	●					●
Suchfeldanalyse	●					
Szenarioanalyse		●	●	●		
Technologiebenchmarking						●
Technologieportfolio	●		●		●	●
Technologieprofil						●
Technologie-Programm-Portfolio	●					
Technologieroadmapping						●
Technologische Analyse	●					
Technologische Indikatoren	●					
Trendextrapolation		●	●	●		
Total Cost of Ownership					●	
Transaktionskostenansatz					●	
Verfahren der Lizenzpreisbildung					●	
Verflechtungsmatrix		●				

Tabelle 5: Zitierhäufigkeit der Technologiebewertungsmethoden (Eigene Darstellung)

Die Auswahl an relevanten Bewertungsmethoden der vorliegenden Arbeit sieht vor, dass die Zitierhäufigkeit mindestens drei entspricht. Dies lässt auf eine hohe Relevanz der Bewertungsmethode innerhalb des Technologiemanagements schließen, wobei auch von der Anwendung in der Praxis ausgegangen wird. Für die Nennung des Oberbegriffs Kreativitätstechniken wird stellvertretend die Methoden des Brainstormings gewählt, die in diese Kategorie fällt. Die folgenden neun Methoden werden ausgewählt und vorgestellt (siehe Tabelle 6).

<b>Ausgewählte Technologiebewertungsmethoden aus der Literatur</b>
Brainstorming (stellvertretend für die Kreativitätstechniken)
Delphi-Methode
Checklisten
Nutzwertanalyse
Patentanalyse
Relevanzbaumanalyse
Szenarioanalyse
Technologieportfolio
Trendextrapolation

*Tabelle 6: Relevante Technologiebewertungsmethoden im Rahmen der Forschung (Eigene Darstellung)*

### **3.2.2 Einzelmethode der Technologiebewertung**

Die Auswahl der Technologiebewertungsmethoden resultiert aus der Notwendigkeit die Vielzahl an Einzelmethode einzugrenzen. Sie kann nicht als absolut angesehen werden, da sie auf den gewählten Autoren basiert und demnach einem Grad an Subjektivität aufweist. Nachfolgend werden die neun relevanten Technologiebewertungsmethoden näher beschrieben.

#### **3.2.2.1 Brainstorming**

Das Brainstorming zählt zu den Kreativitätstechniken und dient der unstrukturierten Sammlung von Ideen und Lösungsvorschlägen für eine Problemstellung innerhalb von Gruppen (Gallupe et al., 1992, S. 352). Seinen Ursprung hat die qualitative Methode von Osborn in den 1940er-Jahren, der das Brainstorming als schnellen Weg zur Ideengenerierung beschreibt. Osborn geht davon aus, dass das Gehirn beim Denken in zwei Aktivitäten involviert ist. Zum einen dem Visualisieren, Kreieren und Generieren von Ideen, zum anderen in die juristische, vergleichende Analyse. Letzteres hindert jedoch die kreative Ideenfindung, weshalb er eine klare Trennung beider Aktivitäten vorschlägt. Demnach entstehen mehr Ideen, wenn die Teilnehmer innerhalb der Gruppe von der Evaluation der eigenen und fremden Ideen absehen. Dies geschieht in einer späteren Phase (Boddy, 2012, S. 7). Des Weiteren gilt: je größer die Anzahl der Teilnehmer, desto kleiner ihre Produktivität. Osborn schlägt deshalb eine maximale Gruppengröße von zwölf Personen vor (Gallupe et al., 1992, S. 351). Weitere Literatur erwähnt einen heterogenen Personenkreis von bis zu zehn Personen. Dabei äußern sich die

Teilnehmer spontan zu einer Fragestellung und erwähnen, was sie mit der Thematik assoziieren. Die Ideen werden protokolliert, um sie anschließend zu bewerten und weiterzuentwickeln (Kröll, 2007, S. 40). In den Grundzügen hat das Brainstorming vier Regeln. Erstens, während des Brainstormings entstandene Ideen sind nicht von den Beteiligten zu kritisieren. Zweitens, die Ideen sind zu verbalisieren, während, drittens, so viele Ideen wie möglich generiert werden. Viertens sollen die Beteiligten auf den entstandenen Ideen aufbauen und diese weiterentwickeln (Boddy, 2012, S. 8 f.).

Im Rahmen der Technologiebewertung findet das Brainstorming hauptsächlich Einsatz in der Technologiefolgenabschätzung. Ziel ist, durch die Interaktion der Teilnehmer „relevante Einflussbereiche für eine nähere Folgenanalyse des Technologieeinsatzes aufzudecken [...] und durch die Kombination von verschiedenen Ideen kurzfristige Technologie- und Zukunftsvisionen abzuleiten“ (Schneider, 2002, S. 94).

### **3.2.2.2 Checklisten**

Als pragmatische Methode zur Erfassung spezifischer Kriterien in Bezug auf eine bestimmte Thematik dienen Checklisten. Ihr Vorgehen umfasst die Festlegung von Entscheidungskriterien, die Zusammenstellung von Prüffragen und die letztendliche Aufstellung der Checkliste, um mit möglichst geringem Aufwand Handlungsempfehlungen abzuleiten. Die zu bewertenden Kriterien bzw. Faktoren können frei gewählt und zusammengesetzt werden. Checklisten zählen demnach zu den Methoden, die eine individuelle Modifizierung zulassen. Als Tool zur qualitativen Bestandsaufnahme können Technologien hinsichtlich der Kriterien und Prüffragen auf die Erfüllung dieser geprüft werden. Dies ermöglicht die Priorisierung und den Ausschluss von Technologien (Haag et al., 2011, S. 326).

Checklisten finden ihr Einsatzgebiet in der Technologie-Grobbewertung, wobei aus der Vielzahl potenzieller Technologien die gefiltert werden, die tatsächlich tauglich sind (Vorbach, 2014, S. 212). Ein Beispiel für die Checklisten Methode ist die Stärken-Schwächen-Checkliste als Teil der Stärken- und Schwächen-Profile von Technologien (Wolfrum, 1991, S. 181 f.). Demnach sind Checklisten eine Basismethode der Technologiefrüherkennung und haben ihren Vorteil in der Flexibilität und Anpassbarkeit an unternehmensindividuelle Bedingungen (Haag et al., 2011, S. 316).

### **3.2.2.3 Delphi-Methode**

Die Delphi-Methode kommt aus der Verteidigungsforschung und hat ihren Ursprung im Rahmen des „Project Delphi“, eine von der Air Force gesponserte Studie der Rand Corporation, die in den frühen 1950er-Jahren mit dem Ziel stattfindet, einen Konsens von Expertenmeinung durch den Einsatz von Fragebögen in Kombination mit kontrolliertem Meinungsfeedback zu erreichen. Um Delphi auch außerhalb der

Verteidigungsindustrie Bekanntheit zu verschaffen, veröffentlichen die Wissenschaftler Gordon & Helmer 1964 einen Report, der Delphi als Methode beschreibt, um u. a. langfristige technologische Trends und deren Auswirkungen auf Gesellschaft und Umwelt zu prognostizieren (Linstone & Turoff, 1975, S. 10).

Ein allgemeines Verständnis geben Linstone & Turoff, die Delphi als Methode zur Strukturierung von Gruppen-Kommunikationsprozessen beschreiben, die es ermöglicht, den Prozess so zu gestalten, dass eine Gruppe von Individuen als Ganzes mit einem komplexen Problem umgehen kann (Linstone & Turoff, 1975, S. 3). Innerhalb der Delphi-Methode werden Meinungen von Experten, Forschern oder Wissenschaftlern eingeholt und anderen Teilnehmern für Feedback vorgelegt, wodurch eine Art Dialog und ein Meinungskonsens zu einem bestimmten Thema entsteht (Fish & Busby, 2005, S. 239). Demnach ist die Methode ein systematisches und mehrstufiges Befragungsverfahren zur Ideenfindung und Zukunftsprognose. In einem iterativen Prozess werden die Umfrageergebnisse den Experten mehrmals zur erneuten Urteilsbildung vorgelegt, um durch Diskussion und Kommunikation, d. h. durch Rückkoppelung, das Urteil zu schärfen und Extremmeinungen der Experten begründen zu lassen (Wolfrum, 1991, S. 141 f.).

Grundgedanke der Delphi-Methode ist die Einschätzung aktueller Entwicklungen, die kollektiv geprüft werden, um daraus abgeleitet Maßnahmen umzusetzen, welche die Entwicklung fördern oder verhindern. So können die Identifikation und Analyse technologischer Entwicklungen stattfinden sowie Informationen im gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Kontext beurteilt werden (Linstone & Turoff, 1975, S. 10; Schneider, 2002, S. 96).

#### **3.2.2.4 Nutzwertanalyse**

Die Nutzwertanalyse ist eine Methode zur systematischen Bewertung und Auswahl von Handlungsalternativen mehrdimensionaler Zielsysteme (Zangemeister, 1973, S. 45). „Bei diesem Bewertungsverfahren werden eine definierte Anzahl an qualitativen Kriterien durch die subjektive Einschätzung von Experten quantifiziert und so miteinander vergleichbar gemacht“ (Haag et al., 2011, S. 319). Somit ist die Nutzwertanalyse ein Verfahren der Multikriterienbewertung.

Zu Beginn werden relevante Bewertungskriterien festgelegt und anschließend gewichtet, um die Wichtigkeit einzelner Kriterien zu verdeutlichen. Anschließend findet die Bewertung der Kriterien über subjektive Einschätzungen von Experten sowie die letztendliche Berechnung der Nutzwerte statt. Dies erfolgt über die Bestimmung der Teilnutzwerte, die durch die Multiplikation eines Erfüllungsgrades des Kriteriums mit dem Gewichtungsfaktor bestimmt werden. Die Teilnutzwerte werden anschließend je Alternative summiert, um den Gesamtnutzwert zu erhalten, der zur Bildung einer Rangfolge dient. Die Nutzwertanalyse gilt als Methode mit geringem Aufwand und

benötigt keine hohe Methodenkompetenz (Haag et al., 2011, S. 327 f.). Darüber hinaus hilft sie, Bewertungen hoher Komplexität zu strukturieren und eine rationale Bewertungsdiskussion zu ermöglichen (Kröll, 2007, S. 43).

### **3.2.2.5 Patentanalyse**

Die Patentanalyse, worunter auch Patentbeobachtungen fallen, ist eine der wichtigsten und legalen Methoden für Unternehmen und Einzelpersonen, technologische Entwicklungen frühzeitig zu erkennen (Bullinger, 1994, S. 174). Unter einem Patent wird eine „territorial, sachlich und zeitlich begrenzt geschützte Erfindung bezeichnet“ (Wolfrum, 1991, S. 127). Grundvoraussetzung der Patentierbarkeit sind die Neuheit, gewerbliche Anwendbarkeit und ausreichende Schöpfungshöhe des zu patentierenden Objekts (Wolfrum, 1991, S. 127).

Patentanalysen zählen zu den methodischen Vorgehen der Technologiefrüherkennung. Sie helfen bei der Identifikation von technologischen Konkurrenzaktivitäten, Technologieführern sowie neu eintretenden Wettbewerbern. Darüber hinaus bedienen sie eine Informationsfunktion über die Laufzeit von Schutzrechten und neuen technologischen Innovationen (Wolfrum, 1991, S. 128). Mit Patenten technologischer Lösungen werden folglich Informationen in Form von Offenlegungsschriften für Dritte zugänglich gemacht. Demnach können Patentanalysen helfen, zukünftige Technologiefelder aufzudecken und relevante Technologien zu identifizieren. Da die Anmeldung der Patente in der Regel vier bis sieben Jahre vor der Verwertung der Technologie auf dem Markt stattfindet, „kann in Abhängigkeit von der Branche aus dem Zeitpunkt der Patentanmeldung sowie der Kenntnis des technologischen Umfeldes auch auf den Verfügbarkeitszeitpunkt am Markt geschlossen werden“ (Specht & Mieke, 2004, S. 22). Darüber hinaus ermöglicht die Patentanalyse eine finanzielle Bewertung von Patentrechten und kann für die Konkurrenzanalyse herangezogen werden. Auch als Indikator für zukünftige technologische Trends und Entwicklungen ist die Methode sinnvoll, wobei Informationen der Patente gefiltert und verdichtet werden (Ensthaler & Strübbe, 2006, S. 63 f.). Der Erfolg einer Patentanalyse hängt von der Qualität der Patentdatenbank, der kompetenten Datenbanknutzung und der Branchenstruktur hinsichtlich des Schutzes von Innovationen ab (Gerpott, 2005, S. 107).

### **3.2.2.6 Relevanzbaumanalyse**

Die Relevanzbaumanalyse zählt zu den qualitativen Prognosetechniken (Wolfrum, 1991), die systematisch quantitative Informationen und Experteneinschätzungen integriert (Gerpott, 2005, S. 112). Dadurch ist es möglich, Vorhersagen über technologische Entwicklungen zu treffen, die zur Erreichung definierter Ziele benötigt werden. Mit der Relevanzbaumanalyse wird die Komplexität hierarchischer Strukturen

durch die geordnete Darstellung zur Beschreibung und Analyse von Problemstellungen minimiert (Wolfrum, 1991, S. 146).

Als quantitative Version eines klassischen Entscheidungsbaums steht an der Krone, d. h. hierarchischen Spitze, ein Ziel. Unterstützende Aktivitäten werden auf immer engeren, systemischen Ebenen und in zunehmender Ausführlichkeit in der Baumstruktur dargestellt. Diese grafentheoretische Baumstruktur zeigt den normativen Ansatz technologischer Prognosemethoden. Es werden die Handlungswege identifiziert, die zur Erreichung eines vorher definierten Ziels führen. Ausgangssituation im unternehmerischen Kontext sind bspw. die Unternehmensziele, die herangezogen werden, um technologische Entwicklungen und den damit verbundenen Handlungsbedarf vorauszusagen (Martin & Sharp, 1973, S. 356). Dem gegenüber stehen explorative Methoden, die auf Basis bekannter Erfahrungen der Vergangenheit Aussagen über zukünftige Entwicklungen generieren (Wolfrum, 1991, S. 138). Im Kontext der Technologiebewertung können so die Technologien oder technologischen Entwicklungen identifiziert werden, die weitreichende Veränderungen mit sich bringen. Die Handlungswege werden innerhalb der Methode durch ein numerisches Verfahren quantifiziert. Den Knotenpunkten wird ein numerischer Wert zugeordnet, der den Aufwand oder Nutzen repräsentiert. Die Knotenverbindungen erhalten Wahrscheinlichkeiten für deren Erfüllung. Durch die Quantifizierung wird die Relevanz des Handlungswegs bestimmt, jedoch ist dies nur mit empirisch gültigen Schätzwerten valide. Der Relevanzbaum visualisiert Zusammenhänge und Abhängigkeiten von Handlungsalternativen (Kröll, 2007, S. 41; Martin & Sharp, 1973, S. 356).

### **3.2.2.7 Szenarioanalyse**

Die Szenarioanalyse ist ein Instrument zur strategischen Planung und Entscheidungsfindung, basierend auf alternativen Zukunftsszenarien. Ein Szenario ist eine „in sich konsistente Beschreibung möglicher Zukunftszustände“ (Wolfrum, 1991, S. 166). Folglich geben Szenarien Aufschluss über zukünftige Entwicklungen und sind somit eine Methode der Technologiefolgenabschätzung (Bullinger, 1994, S. 54). Sie eignen sich jedoch auch für die Technologiefrüherkennung durch die Identifikation potenzieller, multipler, zukünftiger Entwicklungen. Die Szenarioanalyse ist somit phasenübergreifend und kann zur Früherkennung und Bewertung von Technologien herangezogen werden (Haag et al., 2011, S. 153 f.).

Die Analyse ist in der Lage, sowohl quantitative als auch qualitative Informationen einzubeziehen, um differierende Szenarien zu bilden (Wolfrum, 1991, S. 166). Diese können mit Hilfe des Szenariotrichters veranschaulicht werden. Der Eingang des Trichters zeigt die Gegenwart, wobei Entwicklungen im Lauf der Zeit komplexer und unsicherer werden. Innerhalb der Schnittfläche des Trichters werden die potenziellen

Szenarien abgebildet, deren Anzahl aufgrund von Störeinflüssen steigt, je weiter die Zeit voranschreitet (siehe Abbildung 9) (Geschka, 2006, S. 361).

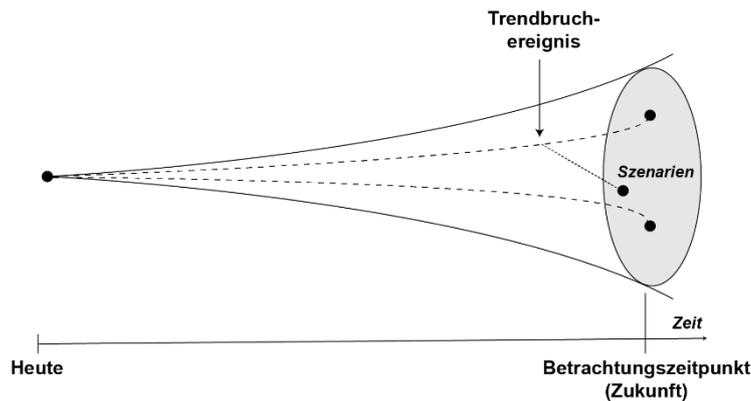


Abbildung 9: Denkmodell für Szenarien (In Anlehnung an Geschka 2006, S. 361)

In der Literatur wird empfohlen, neben je einem Szenario, das den optimistischen, pessimistischen und mittleren Entwicklungsverlauf zeigt, die Szenarien zu bilden, die am wahrscheinlichsten sind sowie die weitreichendsten Konsequenzen besitzen (Wolfrum, 1991, S. 167).

Der Prozess der Szenarioanalyse lässt sich in die Szenario-Vorbereitung und -Erstellung, bestehend aus der Szenariofeld-Analyse, -Prognostik und -Bildung sowie dem -Transfer unterteilen (Gausemeier et al., 1998, S. 116). Prinzipiell findet eine Unterscheidung in explorative und normative Szenariotechniken statt. Letzteres beschreibt Szenarien, die eine Antwort auf die Frage geben, wie die gewünschte Zukunft aussieht und erreicht wird. Das Szenario dient hier als Zielbildungsfunktion. Dem gegenüber stehen explorative Szenarien die untersuchen, wie eine potenzielle Zukunft ohne den Faktor der Wünschbarkeit aussieht. Somit haben explorative Szenarien eine Wissensfunktion (Koskow & Gaßner, 2008, S. 23 f.). Technologieszenarien „werden hauptsächlich für neue Technologien entwickelt, deren Anwendungen und Märkte sich noch nicht deutlich abzeichnen und für die unterschiedliche Weiterentwicklungsperspektiven bestehen“ (Geschka, 2006, S. 368).

### 3.2.2.8 Technologieportfolio

Eine der wichtigsten Methoden der strategischen Planung sind Portfolioanalysen. Ein Portfolio ist die grafische Visualisierung einer Matrix mit zwei Dimensionen (Bullinger, 1994, S. 144). Innerhalb eines Portfolios werden Technologien bspw. hinsichtlich unternehmensexterner, d. h. nicht beeinflussbarer, und unternehmensinterner, d. h. beeinflussbarer Kriterien eingeordnet. Neben der aktuellen Position wird auch das Soll-Portfolio ermittelt. Die Darstellung der Matrix zeigt die Kriterien auf zwei skalierten Achsen, wobei die Position einer Technologie über einen Kreis abgebildet wird, dessen Durchmesser Aussage über die Bedeutung gibt. Die Soll-Positionierung wird über einen

Pfeil visualisiert. Eine Unterteilung der Matrix mit horizontalen und vertikalen Linien, meist drei-mal-drei, aber auch vier-mal-vier oder zwei-mal-zwei, ermöglicht die Bildung sogenannter Normstrategien, die strategische Optionen bilden und je nach Analyse angepasst werden. Auf Basis reiner Marktportfolio-Methoden haben sich aufgrund der volatilen Entwicklung von Technologietrends neue Portfolios, sogenannte Technologieportfolios, entwickelt (Bullinger, 1994, S. 144 f.).

Mittlerweile existieren eine Vielzahl unterschiedlicher Portfolioansätze im Technologiemanagement, die zur Technologiebewertung herangezogen werden. Im Allgemeinen besitzen die Ansätze zwei gemeinsame Grundgedanken. Ersteres ist die Betrachtung unternehmensinterner Aspekte, die zum einen prüfen, wie gut sich eine Technologie mit dem Unternehmen deckt und zum anderen inwiefern die Technologie bestehende Kompetenzen ergänzt. Zweiteres umfasst die externe Perspektive, die Markt und Technologie in Zusammenhang bringt und den Beitrag der Technologie innerhalb des Markts misst. Hier ist auch die zukünftige Entwicklung relevant (Haag et al., 2011, S. 330 f.). Demnach werden unternehmensexterne und -interne Parameter innerhalb einer Matrix in Relation gesetzt, um Aussagen über zukünftige Entwicklungen der Technologie sowie die Position des Unternehmens hinsichtlich der Technologie zu beurteilen und Handlungsempfehlungen abzuleiten (Wolfrum, 1991, S. 199).

Einer der in der Literatur bekanntesten Ansätze ist das Technologieportfolio nach Pfeiffer, Metze, Schneider und Amler (1983) (Bullinger, 1994, S. 154; Haag et al., 2011, S. 331), welches eine Technologie anhand der Technologieattraktivität und Ressourcenstärke betrachtet. Als externe, unbeeinflussbare Größe beschreibt die Technologieattraktivität „wirtschaftliche und technische Vorteile, die durch Weiterentwicklungen auf diesem Technologiegebiet realisiert werden können“ (Wolfrum, 1991, S. 200). Die Ressourcenstärke als interne, beeinflussbare Größe befasst sich mit den Fähigkeiten innerhalb des technologischen Gebiets und der wirtschaftlichen Situation im Vergleich zur Konkurrenz (Wolfrum, 1991, S. 200). Abhängig von Branche und Unternehmen kann eine Bewertung der Kriterien vorgenommen werden. Hierfür wird eine nominale Skalierung von gering über mittel bis hoch verwendet (Bullinger, 1994, S. 158 f.). Die Einstufung der Technologien innerhalb des Portfolios basiert auf den Meinungen von Experten. Das Portfolio besitzt drei Bereiche, die den Technologien Normstrategien zuordnen. In Form einer Investitions- und Desinvestitionsstrategie kann unterschieden werden, ob eine Technologie ausgewählt oder verworfen wird. Fällt eine Technologie in den mittleren Bereich, wird individuell und selektiv entschieden (siehe Abbildung 10) (Wolfrum, 1991, S. 200).

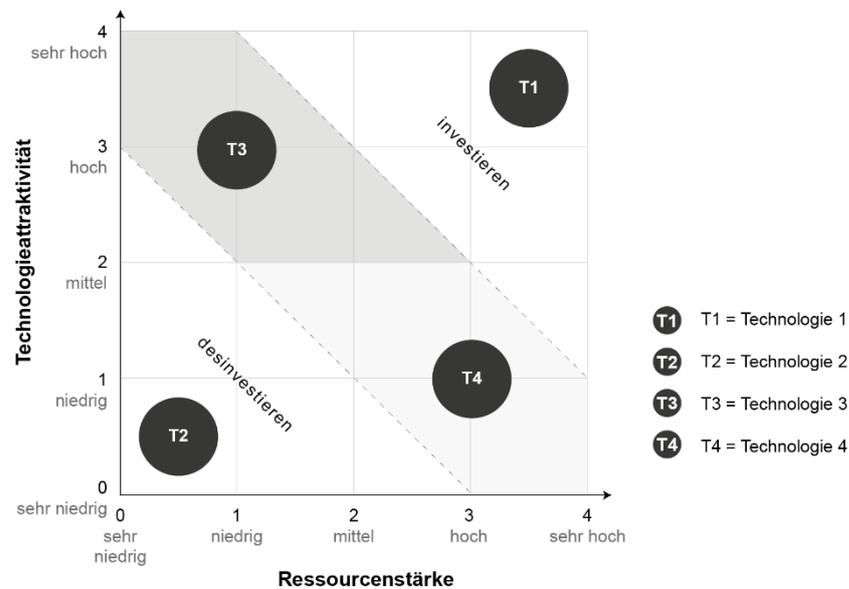


Abbildung 10: Technologieportfolio nach Pfeiffer et al. (In Anlehnung an Haag et al. 2011, S. 334)

Prinzipiell gibt das Technologieportfolio Aufschluss über die technologische Position eines Unternehmens sowie technologische Entwicklungen in der Industrie. Neben Bewertungsgrößen werden nach Pfeiffer et al. Bewertungsergebnisse in das Portfolio übertragen, um bei der Entscheidungsfindung und Identifikation von Handlungsempfehlungen zu unterstützen (Bullinger, 1994, S. 154-166). Nachfolgend wird die Vorgehensweise zur Erstellung des Portfolios beschrieben (Hahn, 2006, S. 227 f.):

- **Umfeldanalyse:** Erster Schritt ist die Bestimmung der Grundbedingungen für die Bewertung der Technologie sowie die Strategieformulierung.
- **Identifikation der relevanten Technologien:** Nachfolgend findet die Identifikation der Technologien sowie deren strategische Bedeutung für das Unternehmen statt.
- **Bewertung der ausgewählten Technologien:** Darauf folgt die Bewertung der Technologien hinsichtlich der zwei Dimensionen Technologieattraktivität und Ressourcenstärke. Ersteres kann anhand des Weiterentwicklungspotenzials, der Akzeptanz oder Kompatibilität der Technologie stattfinden. Die Ressourcenstärke wird über den Beherrschungsgrad und die Reaktionsgeschwindigkeit innerhalb des Unternehmens bewertet. Somit wird die aktuelle, technologische Situation, d. h. die Ist-Situation, des Unternehmens dargestellt.
- **Transformation des Ist-Zustands in die Zukunft:** Im finalen Schritt findet ein Vergleich mit potenziellen, zukünftigen Substitutionstechnologien oder ergänzenden Technologien statt. Die zukünftige Position wird in das Portfolio übertragen.

### **3.2.2.9 Trendextrapolation**

Die Trendextrapolation zählt zu den quantitativen Technologiebewertungsmethoden und sagt mit Zeitreihedaten zukünftige Entwicklungen voraus (Gerpott, 2005, S. 110). Sie kommt vermehrt innerhalb der Technologiefolgenabschätzung zum Einsatz (Bullinger, 1994, S. 56), kann jedoch auch in der Technologiefrüherkennung dazu dienen, aus Entwicklungen technologische Auswirkungen zu identifizieren. Der dafür benötigte Aufwand ist hoch, ermöglicht jedoch Aussagen für einen Zeitraum von bis zu 15 Jahren zu treffen (Wellensiek et al., 2011, S. 158). Basierend auf mathematisch-statistischen Analysen wird eine Zeitreihe analysiert und als mathematische Funktion der Zeit abgebildet. Je mehr historische Daten zur Verfügung stehen, desto genauer und glaubhafter die Extrapolation. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass vergangene Bedingungen auch in der Zukunft weiterhin existieren (Nutt et al., 1976, S. 72). Demnach wird die bestehende Zeitreihe als beständig und wiederkehrend angesehen und einer geringen Anzahl an Einflussfaktoren ausgesetzt, um zukünftige Entwicklungen anzunehmen (Kröll, 2007, S. 40). Im Kontext der Technologiebewertung können Entwicklungen technologischer Leistungsindikatoren wie der Wirkungsgrad oder die Kapazitäten vorausgesagt werden (Schneider, 2002, S. 100).

## **3.3 Integrative Vorgehensmodelle der Technologiebewertung**

Neben den Einzelmethoden gibt es eine Reihe integrativer Vorgehensmodelle, die für eine ganzheitliche, systematische Technologiebewertung geeignet sind. Für den weiteren Verlauf der Arbeit werden ausgewählte Ansätze vorgestellt und hinsichtlich ihres Vorgehens betrachtet, um auf dessen Basis die Entwicklung eines integrativen Technologiebewertungsmodells zu ermöglichen. Die Auswahl der Ansätze basiert auf der praktischen Durchführbarkeit und den integrierten Vorgehensschritten, die für das später entwickelte Technologiebewertungsmodell essenziell sind.

### **3.3.1 Ansatz nach Geldermann & Rentz**

Geldermann & Rentz zeigen in ihrem Ansatz die Notwendigkeit einer ganzheitlichen Bewertung von Investitionsprojekten, die neben technischen und ökonomischen Aspekten, v. a. auch ökologische Auswirkungen integrieren. Aus diesem Grund führen die Autoren einen Ansatz zur integrierten Technikbewertung ein, welcher Methoden eines multikriteriellen Entscheidungsunterstützungssystems berücksichtigt (Geldermann & Rentz, 2001, S. 445). Die Methoden strukturieren den Prozess der integrierten Technikbewertung und ermöglichen die simultane Beachtung mehrerer Ziele, die teilweise in konfliktärer Beziehung stehen, um die optimale Lösung in Form eines Kompromisses zu finden (Geldermann, 2018, S. 1203).

Das Vorgehen nach Geldermann & Rentz lässt eine Grobgliederung in vier Schritte zu, die technische, ökologische und wirtschaftliche Aspekte einer Technologie untersuchen, um die beste, verfügbare Technologie zu identifizieren. Innerhalb des ersten Schritts, des First Screenings (dt. erste Überprüfung), wird der Untersuchungsraum erweitert bzw. eingeschränkt sowie relevante Stoff- und Energieströme der zu bewertenden Technologien ermittelt. Anschließend werden im zweiten Schritt relevante Daten gesammelt sowie die Stoff- und Energieströme der Technologien modelliert, um anschließend im dritten Schritt, der Kennzahlenbildung, Wirkungspotenziale im Rahmen von Ökobilanzen zu berechnen. Darüber hinaus werden die technischen und ökonomischen Kennzahlen kalkuliert. Innerhalb des vierten Schritts, der Entscheidungsunterstützung, werden die gewonnenen Daten aufbereitet, die Kennzahlen gewichtet, mit Hilfe der multikriteriellen Bewertung ausgewertet und interpretiert (siehe Abbildung 11) (Geldermann, 2018, S. 1203).

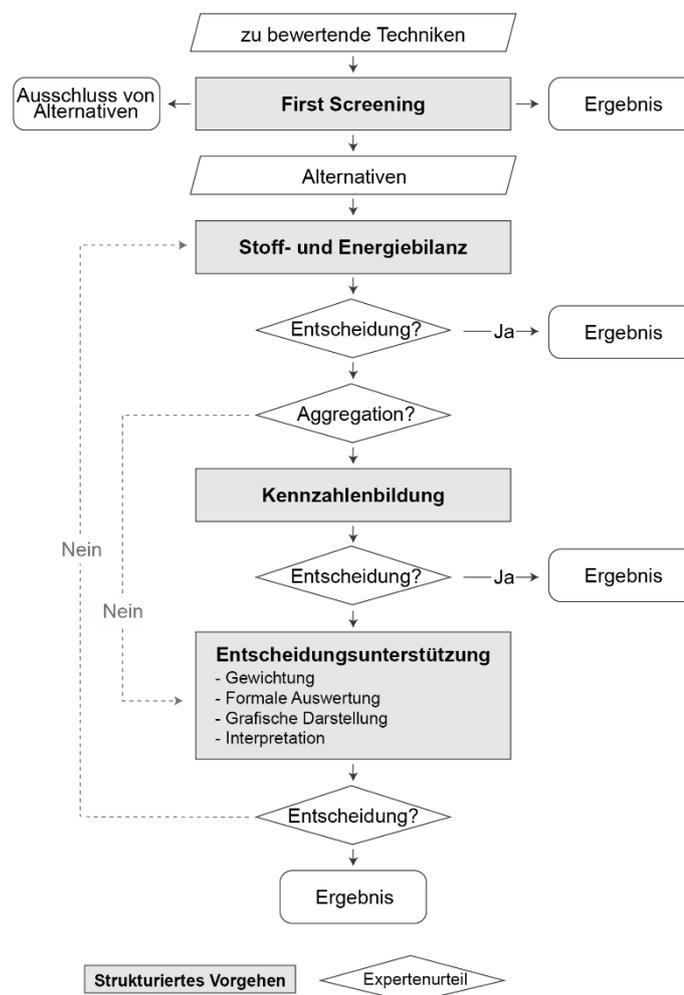


Abbildung 11: Ansatz nach Geldermann & Rentz (In Anlehnung an Geldermann 2018, S. 1197)

Das Ablaufschema der Technikbewertung nach Geldermann & Rentz ist generisch und kann auf den spezifischen Anwendungsfall sowie die Anforderungen des Unternehmens angepasst werden (Geldermann, 2018, S. 1197).

### 3.3.2 Ansatz nach Hieronymus, Tintelnot & von Wichert-Nick

Der Ansatz nach Hieronymus et al. zeigt einen Prozess der technologischen Entscheidungsfindung und Technologiebewertung. Die einzelnen Phasen bauen aufeinander auf und stehen in einer Wechselwirkung. Grundgedanke ist die Anpassung bzw. Erweiterung der Technologiestrategie basierend auf einem gegebenen Handlungsbedarf (Hieronymus et al., 1996, S. 26 f. zitiert nach Schneider, 2002, S. 31). Demnach besteht der erste Schritt des Vorgehensmodells auf der Feststellung eines Handlungsbedarfs durch bspw. die Technologieführerkennung. Darauf folgt die Analyse- und Prognosephase bestehend aus der Konkurrenzanalyse, der Bedarfsanalyse und -prognose und der Technologieprognose. Ziel ist es, die technologischen Chancen, Risiken und marktbezogenen Informationen in Form von Kundenbedürfnissen und Entwicklungspotenzialen aufzudecken. Die gewonnenen Informationen werden anschließend in Form von technologischen Entscheidungsalternativen in ein Technologieportfolio übertragen, um diese anhand von Ist- und Soll-Positionierungen zu bewerten und im finalen Schritt die Technologieentscheidung zu treffen (siehe Abbildung 12) (Hieronymus et al., 1996, S. 26-28 zitiert nach Schneider, 2002, S. 31-33).

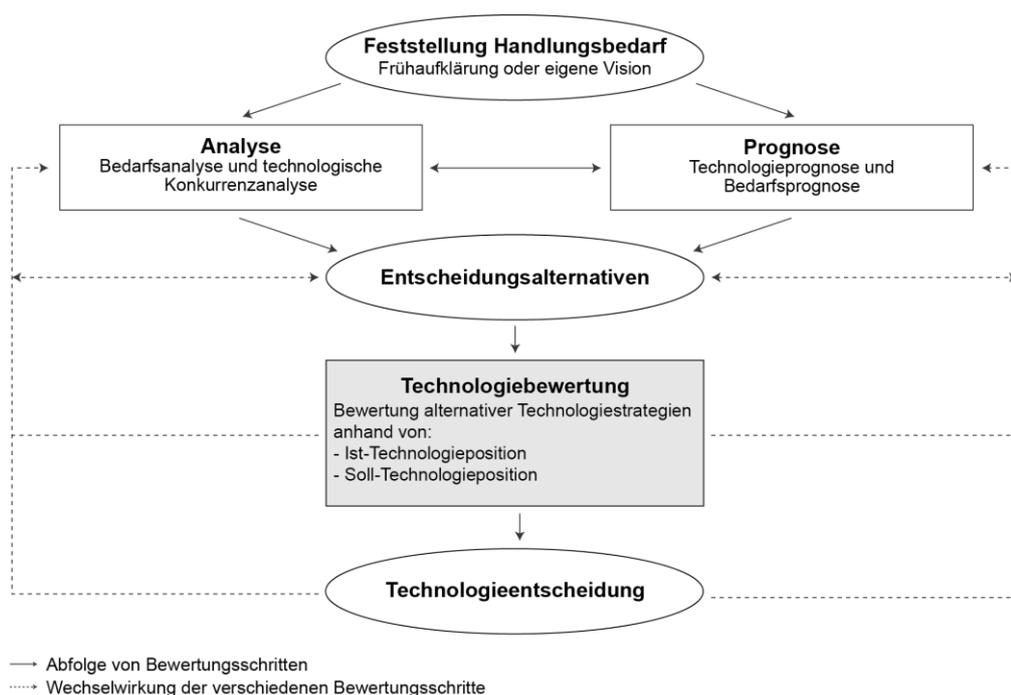


Abbildung 12: Ansatz nach Hieronymus, Tintelnot & von Wichert-Nick (In Anlehnung an Hieronymus, Tintelnot & von Wichert-Nick 1996, S. 27 zitiert nach Schneider 2022, S. 31)

Hieronymus et al. zeigen durch die Rückkopplung des Vorgehens, dass die Technologiebewertung ein kontinuierlicher Prozess ist. Die ersten drei Schritte dienen der Vorbereitung der eigentlichen Technologiebewertung und bestehen aus der Sammlung entscheidungsrelevanter Informationen. Diese fungieren bei der Bewertung als Entscheidungskriterien. Die technologischen Lösungsalternativen werden anhand der Kriterien durch eine Ist- und Soll-Positionierung verglichen. Basierend darauf können

Technologieentscheidungen sowie die Ausrichtung der Technologiestrategie bestimmt werden (Hieronymus et al., 1996, S. 28 zitiert nach Schneider, 2002, S. 32). Technologische, Markt- sowie Wettbewerbsinformationen werden bei der Technologiebewertung nach Hieronymus et al. beachtet. Somit wird der Technologieeinsatz gezielt, strategisch und systematisch geplant.

### 3.3.3 Ansatz nach Hall

Innerhalb des Ansatzes nach Hall ist die Technologiebewertung ganzheitlich zu verstehen. Dabei wird die Technologie über den gesamten Produktlebenszyklus als Sach- oder Handlungssystem betrachtet. Neben dem Vergleich der Technologien, wird eine Sichtweise des Markts sowie ein Horizont über Technik und Wirtschaft hinaus inkludiert (Hall, 2002, S. 9).

Der Aufbau des Bewertungsmodells nach Hall lässt sich in zwei Phasen untergliedern, die Exploration und Bewertung. In der Exploration steht die Datensammlung von Kundenanforderungen und Konkurrenzaktivitäten im Vordergrund. Auch die Beschreibung der Technologie ist Bestandteil dieser Phase. Somit können die Analyse und Datenerhebung der Exploration in die Nachfrage- und Angebotsseite unterschieden werden und bilden die Grundlage für eine fundierte Bewertung, welche die zweite Phase des Ansatzes darstellt. Diese beschäftigt sich mit der Auswertung der Informationen der Exploration und visualisiert sie zur Interpretation. Hauptbestandteil dieser Phase ist eine Matrix, welche die Kundenanforderungen mit den Charakteristika der Technologie vergleicht und letztendlich als abstrahiertes Ergebnis, innerhalb eines Portfolios zur technologischen Realisierung, darstellt (siehe Abbildung 13) (Hall, 2002, S. 63-68).

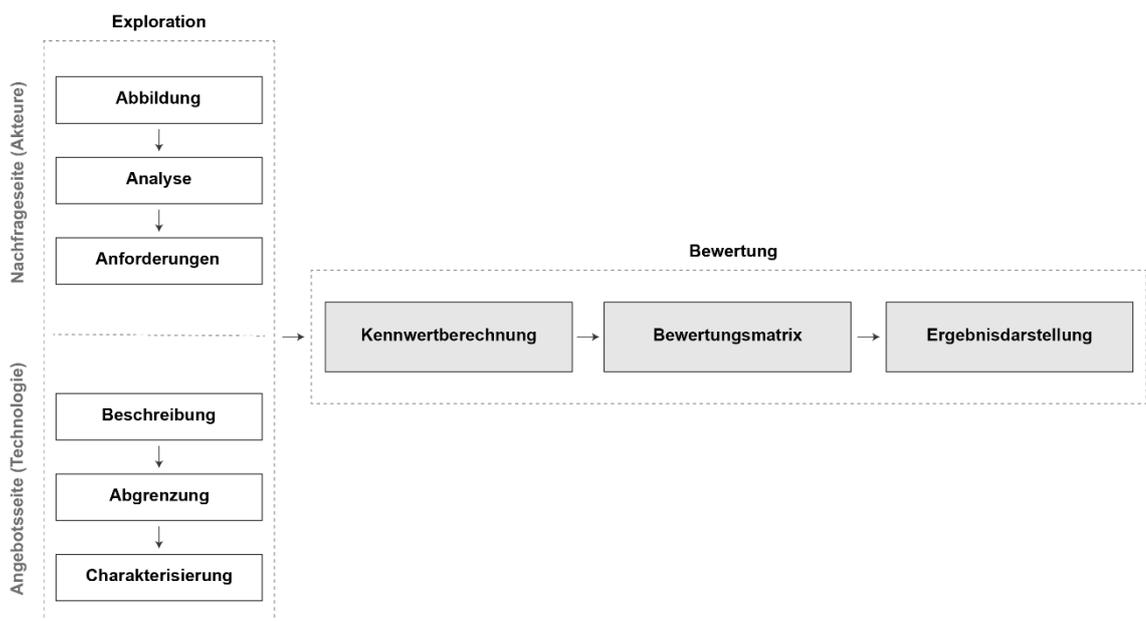


Abbildung 13: Ansatz nach Hall (In Anlehnung an Hall, 2002, S. 63)

Als Bestandteil der Bewertung setzt die Matrix die Kundenanforderungen und Technologiecharakteristika in einen qualitativen Zusammenhang und ermöglicht eine Bewertung. Der damit geschaffene, skalierte Maßstab, ist die Basis für den Beitrag der Technologiemerkmale zum Gesamtnutzen der Technologie sowie die Erfüllung von Marktanforderungen (Hall, 2002, S. 63 f.).

Zur Bewertung zieht Hall unterschiedliche Kriterienbereiche für eine umfassende Technologiebewertung mit ein. Dazu zählen die Struktur, der Prozess, die Wirtschaftlichkeit, Umwelt und Gesellschaft. Der Strukturaspekt dient der Beschreibung technischer und physikalischer Eigenschaften der Technologie für eine Abgrenzung zu vor- und nachgelagerten Systemkomponenten. Der Prozessaspekt beinhaltet Merkmale, die mit der Verwendung der Technologie zusammenhängen. Dazu zählen die Flexibilität, Produktivität und Integration in der Wertschöpfungskette. Mit der Wirtschaftlichkeit werden alle monetären Aspekte der Technologie beschrieben wie bspw. Auswirkungen auf die Kosten- und Gewinnentwicklungen. Innerhalb der Umweltaspekte geht es um die Wirkung der Technologie auf die ökologische Nachhaltigkeit, wobei sowohl die Verwendung von Ressourcen als auch die Auswirkungen auf das Ökosystem beschrieben werden. Die Aspekte der Gesellschaft zeigen die Auswirkungen der Technologie auf die Gesellschaft. Hierbei stehen Merkmale wie Wohlstand, Sicherheit und Gesundheit im Vordergrund (Hall, 2002, S. 38 f.).

#### **3.3.4 Ansatz nach Kröll**

Der Ansatz nach Kröll kann bereits frühzeitig im Produktentstehungsprozess zur ganzheitlichen Planung des Technologieeinsatzes verwendet werden. Er bewertet den technologischen Reifegrad für die Serienentwicklung sowie den technologischen Nutzen für Unternehmen und Kunden (Kröll, 2007, S. 19-22). Das Vorgehensmodell der Technologiebewertung basiert auf fünf Phasen. Zu Beginn wird die Produktfunktion analysiert, erfasst und beschrieben. Anschließend findet äquivalent eine Beschreibung der Technologie innerhalb eines Beschreibungsmodells statt, gefolgt von der Abbildung der Technologiealternativen in Technologiemoellen. Innerhalb des Modells werden Kriterien definiert, die Bewertung durchgeführt und die Ergebnisse zu einer multikausalen Aussage zusammengefasst, die letztendlich interpretiert wird. Als finaler Schritt folgt die Realisierung der Technologie innerhalb eines Produkts (siehe Abbildung 14) (Kröll, 2007, S. 69-71).

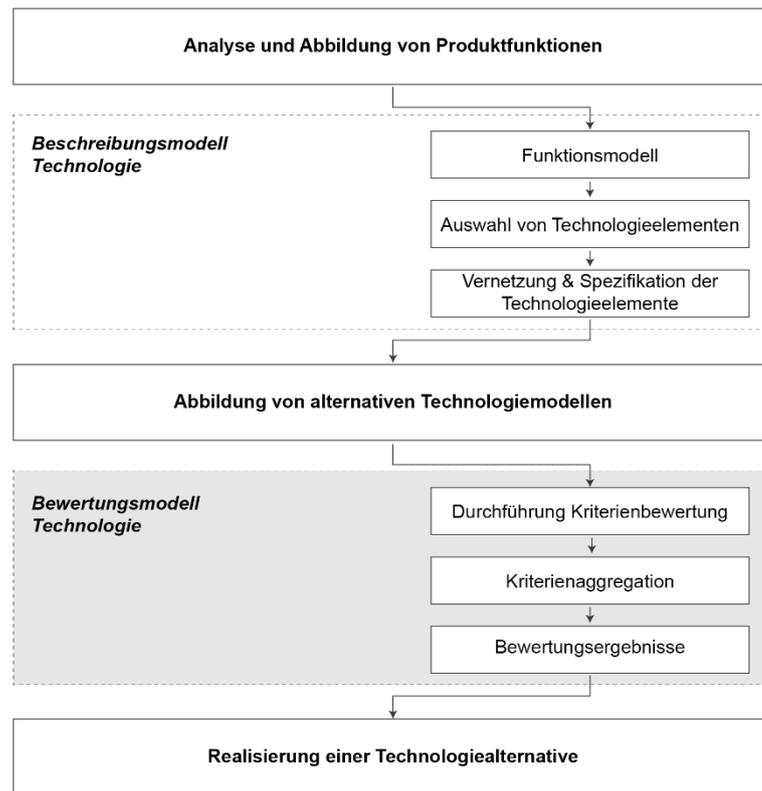


Abbildung 14: Ansatz nach Kröll (In Anlehnung an Kröll 2007, S. 69)

Der Ansatz nach Kröll basiert auf Wahrscheinlichkeiten zur Beschreibung der Ausprägungen der Bewertungskriterien, die mit Hilfe von Transformationsfunktionen normiert werden. Dadurch können sowohl qualitative als auch quantitative Bewertungsgrößen einbezogen werden (Kröll, 2007, S. 141). Durch eine Kriterienaggregation werden die Daten verdichtet, um anschließend eine Interpretation der Ergebnisse vorzunehmen. Letztendlich werden die Technologien über ein Entscheidungsverfahren mit multidimensionaler Bewertung hinsichtlich Kosten, Qualität, Flexibilität und technologischem Reifegrad gegenübergestellt (Kröll, 2007, S. 71).

Mit dem Ansatz nach Kröll können Technologieentscheidungen im Kontext einer ergebnisorientierten Produktentwicklung ermöglicht werden. Auch wenn der Ansatz ursprünglich aus der Elektronik-Industrie stammt, ist er aufgrund seines generischen und abstrakten Aufbaus auf andere Industrien anwendbar (Kröll, 2007, S. 141 f.).

### 3.4 Verwandte Ansätze der Technologiebewertung

Eng verbunden mit den integrativen Vorgehensmodellen der Technologiebewertung sind Ansätze des Technologiemonitorings und der Digitalen Transformation. Im folgenden Kapitel werden daher artverwandte, methodische Vorgehen zur Einführung digitaler Technologien betrachtet. Die Auswahl der Ansätze begründet sich in dem komparablen, methodischen Vorgehen zu den integrativen Ansätzen der Technologiebewertung.

### 3.4.1 Ansätze des Technologiemonitorings

Das Technologiemonitoring bildet die Basis strategischer Technologieentscheidungen (Lang-Koetz, 2013, S. 61). Darüber hinaus ist es die Grundlage für die globale Überwachung technologischer Entwicklungen (Ashton et al., 1991, S. 95). Relevante Technologien in festgelegten und nicht festgelegten Technologiefeldern werden über das Technologiemonitoring identifiziert, bewertet und beobachtet (Lang-Koetz, 2013, S. 61). Aufgrund des engen Zusammenhangs des Technologiemonitorings mit der Technologiebewertung werden nachfolgend zwei Ansätze näher beschrieben.

#### 3.4.1.1 Ansatz nach Ashton, Kinzey & Gunn

Ashton et al. gehen davon aus, dass der zunehmend globale Charakter von Wissenschaft und Technologie spezielle Monitoring-Programme benötigt, die relevante Informationen überwachen (Ashton et al., 1991, S. 91). In diesem Kontext sprechen sie dem internationalen Technologiemonitoring drei wesentliche Ziele zu: die Identifikation wissenschaftlicher und technologischer Ereignisse im globalen Umfeld, die Umsetzung spezifischer Technologien zur Nutzung ihrer potenziellen Vorteile sowie die Beobachtung unternehmerischer Konkurrenzaktivitäten zur eigenen, vorteiligen Nutzung. Um diese Ziele zu verfolgen, benötigt es nach Ashton et al. eine strukturierte Methode zur Überwachung der Entwicklung von Technologien. Die von den Autoren entwickelte Methode des Technologiemonitorings ist in sechs Schritte untergliedert, die nachfolgend näher beschrieben werden (Ashton et al., 1991, S. 95-104).

- **Prüfung vorhandener Informationsressourcen:** Startpunkt des Monitorings ist die Sammlung bereits vorhandener Informationen, bspw. durch die Befragung der Mitarbeitenden über die der aktuelle Informationslage hinsichtlich einer bestimmten Thematik.
- **Entwicklung oder Verfeinerung der Monitoring-Aktivitäten:** Basierend auf dem Informationsbedarf des ersten Schritts werden die Monitoring-Aktivitäten festgelegt.
- **Beschaffung und Prüfung des Quellmaterials:** Das Monitoring-Programm übernimmt die Aufgabe des Screenings aller Materialien, wobei unwichtige Daten und Informationen aussortiert werden.
- **Analyse und Interpretation der gewählten Informationen:** Das Monitoring-Programm analysiert das Informationsmaterial durch Zusammenfassungen technischer Ereignisse oder Themenanalysen.
- **Ergebnisse an Akteure weiterleiten:** Die Ergebnisse werden an die zuständigen Personen weitergeleitet. Hierfür können Briefings, technische Berichte, Newsletter oder andre Formate verwendet werden.

- **Informationen für Entscheidungen anwenden:** Die Ergebnisse werden herangezogen, um relevante technologische Entscheidungen zu beeinflussen.

**Kritische Würdigung:** Ashton et al. untergliedern die einzelnen Schritte des Technologiemonitorings. Sie geben Methoden für den Prozess zur Hand und wenden diesen anschließend an einem Fallbeispiel an. Jedoch geben die Autoren innerhalb der Prozessbeschreibung keinerlei literarische Angaben, die das Vorgehen sowie die konkrete Anwendung der Methoden begründen. Es findet zudem keine kritische Auseinandersetzung mit dem Ansatz durch die Autoren statt. Darüber hinaus ist v. a. der erste Schritt des Vorgehens mit einem hohen Aufwand verbunden.

#### 3.4.1.2 Ansatz nach Lang-Koetz

Lang-Koetz beschreibt im Kontext des Technologiemonitorings einen allgemeinen, vierphasigen Aufbau zur Identifikation und Bewertung relevanter Technologien. Dieser setzt sich zusammen aus nachfolgenden Schritten (Lang-Koetz, 2013, S. 61-63).

- **Technologieidentifikation:** Relevante Technologie- oder Anwendungsfelder werden identifiziert, bspw. durch die Betrachtung bestehender Kompetenzen und technologischer Möglichkeiten des Unternehmens.
- **Informationssammlung:** Relevante Technologie- oder Anwendungsfelder werden durch die Verwendung formeller und informeller Informationsquellen analysiert.
- **Technologiebewertung:** Relevante Technologie- oder Anwendungsfelder werden durch die Verwendung gängiger Methoden, wie bspw. der Delphi-Methode oder Nutzwertanalyse, bewertet.
- **Kommunikation:** Die Ergebnisse des Technologiemonitorings werden an relevante Akteure kommuniziert.

**Kritische Würdigung:** Lang-Koetz gibt mit seinem Ansatz ein generisches und allgemeingültiges Vorgehensmodell, ähnlich der integrativen Vorgehensmodelle der Technologiebewertung, vor. Die Vorgabe spezifischer Technologiebewertungsmethoden innerhalb des dritten Schritts sind von Vorteil. Kritisch zu betrachten ist jedoch die wissenschaftliche Basis des Ansatzes, da dieser auf einer Studie des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO basiert.

#### 3.4.2 Ansätze der Digitalen Transformation

„Digitale Technologien haben [...] die Weichen für die digitale Transformation in allen gesellschaftlichen Bereichen gestellt“ (Oswald et al., 2018, S. 12). Demnach begünstigt die Einführung digitaler Technologie die Digitale Transformation (Grivas & Graf, 2020, S. 144). Für Unternehmen bedeutet dies v. a. ein Wandel bestehender Geschäfts-

modelle. In der Literatur existieren verschieden Vorgehensmodelle der Digitalen Transformation für Unternehmen, wovon nachfolgend zwei Ansätze vorgestellt werden.

### 3.4.2.1 Ansatz nach Schallmo

Der Ansatz nach Schallmo bietet eine „Roadmap für die Digitale Transformation von Geschäftsmodellen“ (Schallmo, 2019, S. 23). Die Roadmap besteht aus fünf Phasen, die im Folgenden beschrieben sind (Schallmo, 2019, S. 23 f.).

- **Digitale Realität:** Es erfolgt die Darstellung des bestehenden Geschäftsmodells, die Analyse der Wertschöpfungskette, dessen Akteure sowie der Kundenanforderungen.
- **Digitale Ambition:** Basierend auf der Digitalen Realität werden Ziele für die Digitale Transformation gebildet. Diese beziehen sich auf Zeit, Finanzen, Raum und Qualität und werden, sowie die Geschäftsmodell-Dimensionen<sup>1</sup>, priorisiert.
- **Digitale Potenziale:** Best Practices und Enabler der Digitalen Transformation werden als Basis für die Definition des zukünftigen Geschäftsmodells erhoben. Für jedes Geschäftsmodell-Element werden Optionen abgeleitet und diese logisch kombiniert.
- **Digitaler Fit:** Beim Digitalen Fit erfolgt die Bewertung der vorher definierten Optionen zur Gestaltung des digitalen Geschäftsmodells. Wichtig ist die Passung mit dem bestehenden Geschäftsmodell, die Bedienung der Kundenanforderungen und das Erreichen der Ziele. Die Kombinationen werden priorisiert.
- **Digitale Implementierung:** Abschließend folgen die Finalisierung und Implementierung des neuen digitalen Geschäftsmodells, d. h. der Kombinationen, die weiterverfolgt werden. Darüber hinaus werden digitale Kundenerfahrungen und Wertschöpfungsnetzwerke gestaltet sowie benötigte Ressourcen und Fähigkeiten zur Digitalen Implementierung berücksichtigt.

**Kritische Würdigung:** Schallmos Roadmap fundiert auf einer ausgereiften, wissenschaftlichen Basis durch die Analyse bestehender Ansätze. Darüber hinaus findet eine Beschreibung der einzelnen Schritte des Vorgehensmodells in Kurzform und anschließender, detaillierter Ausführung statt, was die praktische Anwendbarkeit des Ansatzes gewährleistet. Für die vorliegende Arbeit äußert sich Kritik in Form der Eignung für das zu entwickelnde Technologiebewertungsmodell, wobei der Ansatz lediglich auf theoretischer Basis Einzug finden kann.

---

<sup>1</sup> Weiterführende Literatur über die Geschäftsmodell-Dimensionen findet sich in Schallmo, 2019: Jetzt digital transformieren: So gelingt die erfolgreiche Digitale Transformation Ihres Geschäftsmodells, S. 6

### 3.4.2.2 Ansatz nach Rieke & Sardoux Klasen

Der Ansatz nach Rieke & Sardoux Klasen bildet ein Vorgehensmodell für kleine und mittlere Unternehmen, dessen Ziel es ist, digitale, technologische Trends hinsichtlich ihrer Potenziale für das Unternehmen zu bewerten (Rieke & Sardoux Klasen, 2019, S. 100). Das Modell besteht aus drei Phasen, die nachfolgend näher betrachtet werden (Rieke & Sardoux Klasen, 2019, S. 100-106).

- **Kennenlernen der Technologie:** Im ersten Schritt wird die Technologie in Workshops, Weiterbildungen oder Seminaren näher betrachtet. Ziel ist die Sammlung möglichst vieler Informationen durch ein iteratives Vorgehen, um diese im nächsten Schritt zu bewerten. Zur strukturierten Vorgehensweise können die Dimensionen Business Case, Nachhaltigkeit im Sinne einer langfristigen Implementierung, Technologie und Mitarbeitende betrachtet werden.
- **Potenzialbewertung:** Die Potenzialbewertung umfasst sowohl die Bewertung des Potenzials der Technologie als auch das Potenzial des Unternehmens. Ersteres betrachtet die Technologie hinsichtlich des Mehrwerts für die Digitale Transformation des Geschäftsmodells. Das Potenzial des Unternehmens bezieht sich auf die Sichtweise des Unternehmens und inwiefern die digitale Technologie zur Digitalen Transformation des Geschäftsmodells beiträgt. In diesem Schritt wird eine Einzelbewertung der Technologie mit entsprechenden Technologiebewertungsmethoden vorgenommen.
- **Geschäftsmodellreflexion und -adaption:** Innerhalb der letzten Phase wird das bestehende Geschäftsmodell im Kontext der potenziellen Technologieeinführung betrachtet und das neue Geschäftsmodell entwickelt. Hierbei wird empfohlen, auf Methoden von Schallmos Phasen der Digitalen Realität und den Digitalen Fit (siehe Kapitel 3.4.2.1) zurückzugreifen sowie das Design Thinking als Analysemethode der Kundenanforderungen zu verwenden.

Rieke & Sardoux Klasen beschreiben drei weitere Phasen: die Umsetzung, Einführung und Kontrolle sowie den Support der Technologie. Dabei stehen Make-or-Buy-Entscheidungen sowie die Entwicklung im Vordergrund, gefolgt von der Aufnahme des Betriebs der Technologie und einem kontinuierlichen Monitoring zur Erfolgssicherung (Rieke & Sardoux Klasen, 2019, S. 106).

**Kritische Würdigung:** Rieke & Sardoux Klasen bieten mit ihrem Vorgehensmodell einen Ansatz für die integrative Potenzialbewertung neuer Technologien. Ähnlich des Ansatzes nach Lang-Koetz, ist die wissenschaftliche Basis kritisch zu hinterfragen bzw. als unwissenschaftlich zu bewerten. Zwei der drei näher beschriebenen Ansätze sind Veröffentlichungen des Fraunhofer Instituts.

## 4 Ableitung des Handlungsbedarfs

Das folgende Kapitel dient der Ableitung des Handlungsbedarfs für den weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit. Es erfolgt eine kritische Bewertung der Einzelmethoden und integrativen Vorgehensmodelle der Technologiebewertung anhand bestehender Erkenntnisse aus der Literatur. Anschließend findet die Evaluation der Technologiebewertungsmethoden im Rahmen der Forschung mit Hilfe eines Methodenportfolios statt. Die daraus resultierenden Defizite und Schwachstellen bestehender Methoden zeigen die bestehende Forschungslücke hinsichtlich einer nachhaltigkeitsorientierten Technologiebewertung auf. Die verwandten Ansätze der Technologiebewertung finden keinen Einzug in das nachfolgende Kapitel, da sich der bestehende Handlungsbedarf auf die konkreten Methoden innerhalb der Technologiebewertung bezieht.

### 4.1 Kritik

In der Literatur werden die Stärken und Schwächen der Einzelmethoden kritisch diskutiert. Die integrativen Vorgehensmodelle der Technologiebewertung sind hingegen kaum bewertet und werden deshalb in Bezug auf den Optimierungsbedarf evaluiert.

#### 4.1.1 Kritik der Einzelmethoden der Technologiebewertung

**Brainstorming:** Technologiebewertungen und die Anforderungen daran unterliegen einer hohen Komplexität. Das Brainstorming stellt eine einfache Möglichkeit zur kreativen Ideenfindung dar, besitzt jedoch aufgrund dieser Einfachheit Defizite in der Auswertung von Bewertungsergebnissen. Das methodische Vorgehen besitzt keine Operationalisierungselemente sowie eine strukturierte Bewertungssystematik. Zudem ist die Auswertung der Ideen dem Moderator überlassen, was zu einer hohen Subjektivität der Bewertungsergebnisse führen kann (Schneider, 2002, S. 93). In der Literatur herrscht darüber hinaus die Diskussion, ob tatsächlich die Quantität der generierten Ideen auf die Qualität schließen lässt, oder ob die Unterdrückung der Kritik in der Ideenfindung die Qualität beeinflusst (Goldenberg & Wiley, 2011, S. 113).

**Checklisten:** Aufgrund der individuellen Kriterienbestimmung sind Checklisten eine einfache und schnelle Methode zur Technologiebewertung. Dennoch bestehen zwei erhebliche Kritikpunkte bei alleiniger Anwendung der Methode, d. h. nicht als Ergänzung anderer Bewertungsmethoden. Ersteres ist die undefinierte Anzahl an Kriterien, die für eine valide Entscheidung benötigt werden. Zweiteres ist „auf die umstrittene Wirkungsrichtung vieler Kriterien auch untereinander zurückzuführen“ (Haag et al., 2011, S. 326). Daneben bieten Checklisten zwar die Möglichkeit, aus einer Vielzahl an Technologien eine Vorauswahl zu treffen (Vorbach, 2014, S. 212), allerdings sind sie für eine detaillierte Bewertung alternativer Technologien nicht geeignet.

**Delphi-Methode:** Mit der Delphi-Methode können kollektive Expertenmeinungen über Technologien und ihre zukünftigen Entwicklungen gesammelt, verarbeitet und bewertet werden (Fish & Busby, 2005, S. 239). Die iterative Methode hat eine Konsensorientierung, wobei genau hier die Grenze des methodischen Vorgehens besteht. Durch die Notwendigkeit der Begründung abweichender Meinung existiert ein indirekter Konformitätsdruck, was zu suboptimalen Ergebnissen führen kann. Dies wird verstärkt durch die sensible Fragestellung, die das Ergebnis bestimmt. Die Delphi-Methode besitzt wesentliche methodische und wissenschaftliche Defizite. Darüber hinaus ist die Anwendung des Verfahrens mit hohen Kosten und einem hohen Zeitaufwand verbunden (Wolfrum, 1991, S. 144). Weiterhin determinieren die Einschätzungen der Experten das Ergebnis, was zu einer hohen Subjektivität führt. Folglich können einzelne Experten die Ergebnisse dominieren oder konstruktive Ergänzungen von anderen Experten schmälern (Corsten et al., 2016, S. 225).

**Nutzwertanalyse:** Die Nutzwertanalyse ist ein Instrument zur Abwägung von Handlungsalternativen, welche die Analyseelemente einer multikriteriellen Bewertung inkludiert. Allerdings erweisen sich die quantitativen Ergebnisse bei qualitativer Anwendung der Methode aus mathematischer, mess- und entscheidungstheoretischer Sicht teilweise als unverlässlich (Kröll, 2007, S. 43). Darüber hinaus ist die Analyse einer hohen Subjektivität ausgesetzt, v. a. bei der Bewertungskriteriengewichtung (Haag et al., 2011, S. 329). Dies kann zu einer erheblichen Beeinflussung der Bewertungsergebnisse führen. Ferner ist zu erklären, dass durch die Addition der gewichteten Bewertungskriterien aus ordinalskalierten, kardinalskalierte Werte errechnet werden, die einen Vergleich zulassen, was im Grundgedanken einen unzulässigen Skalenbruch darstellt (Corsten et al., 2016, S. 312).

**Patentanalyse:** Innerhalb der Technologiefrüherkennung ist die Patentanalyse eine Möglichkeit, potenzielle technologische Handlungsfelder zu identifizieren (Bullinger, 1994, S. 174). Dennoch bestehen einige Schwachstellen hinsichtlich der Aussagefähigkeit aufgrund unterschiedlicher, internationaler Patentgesetzgebungen, wobei eine hohe Komplexität und Heterogenität innerhalb des Patentwesens vorherrscht. Darüber hinaus verfolgen viele Unternehmen Geheimhaltungsstrategien, um patentierfähige, technologische Innovationen zu schützen. Kleine und mittlere Unternehmen verzichten zudem oft auf Patentierungen, da sie bspw. nicht das nötige technisch-wissenschaftliche Personal besitzen (Wolfrum, 1991, S. 131 f.). Ferner stellen technologische Innovationen, die nicht patentfähig sind, eine Herausforderung dar. Abgesehen davon ist fragwürdig, ob bestimmte Analyseelemente wie die Zitatanalyse ausreichen, um eine kleine Verbesserung von einer wirtschaftlich wertvollen Innovation zu differenzieren (Kleinknecht et al., 2002, S. 112).

**Relevanzbaumanalyse:** Die Relevanzbaumanalyse ist als entscheidungs- und grafentheoretische Methode geeignet, um Problemsituationen zu strukturieren sowie zukünftige Technologiefelder zu identifizieren. Ähnlich der Nutzwertanalyse ist die Relevanzbaumanalyse jedoch einer hohen Subjektivität durch Einbezug von Expertenmeinungen und bei der Vergabe der Kennzahlen ausgesetzt (Wolfrum, 1991, S. 146-149). Darüber hinaus sind die hierarchisch hohen Ziele rein hypothetisch und besitzen eine große Abhängigkeit zum jeweiligen Stand der technologischen Entwicklung (Corsten et al., 2016, S. 237).

**Szenarioanalyse:** Die Szenarioanalyse kann sowohl qualitative als auch quantitative Daten zur Zukunftsprognose verarbeiten, wobei eine ausreichende Menge dieser Voraussetzung ist (Wolfrum, 1991, S. 167). Hierin besteht ein wesentlicher Kritikpunkt des methodischen Vorgehens. Die Informationsbasis ist entscheidend für die Qualität der Ergebnisse, ebenso ist es die Methodenkompetenz und die persönlichen Fähigkeiten der durchführenden Person (Wellensiek et al., 2011, S. 155). Diese braucht sowohl Kreativität als auch Intuition aufgrund des spekulativen Charakters der Szenarioanalyse (Wolfrum, 1991, S. 167). Darüber hinaus erfordert die Analyse hohe personelle, zeitliche und finanzielle Aufwände (Wellensiek et al., 2011, S. 155).

**Technologieportfolio:** Technologieportfolios besitzen dedizierte Vorgehensschritte und unterstützen die strategische Entscheidungsfindung. Anwendung finden sie in der Technologiefrüherkennung und -planung, wenn Daten verdichtet oder Teilinformationen zu aussagefähigen Visualisierungen zusammengeführt werden (Haag et al., 2011, S. 337). Ein wesentlicher Kritikpunkt der Analyse besteht in der Zweidimensionalität, bei der eine übersimplifizierte Informationsverdichtung stattfindet und Technologieaspekte unzureichend situationsspezifisch dargestellt werden (Gerpott, 2005, S. 164). Um dem entgegenzuwirken, ist eine Anpassung der Bewertungskriterien auf die spezifische Unternehmenssituation notwendig (Haag et al., 2011, S. 337). Des Weiteren basiert die Analyse auf technologischen Konzepten wie dem Technologielebenszyklus, deren Allgemeingültigkeit zweifelhaft sind (Gerpott, 2005, S. 164). Die Betrachtung des Technologieportfolios nach Pfeiffer et al. weist zudem weitere, kritische Aspekte auf. Die Subkriterien zur Unterteilung der zwei Hauptdimensionen der Matrix sind nur vage beschrieben (Gerpott, 2005, S. 164). Darüber hinaus wird die Technologiedimension ausschließlich in einem isolierten Rahmen betrachtet (Wolfrum, 1991, S. 203). Weitere Kritik äußert sich in der unzureichenden Hilfestellung bzw. ungenauen Aussagen hinsichtlich der „Abgrenzung der Technologien, der Wahl des Zeithorizonts, der Wahl von Gewichtungsfaktoren für die Subkriterien, der Wahl von Algorithmen zur Aggregation der Subkriterien einer Matrixachse zu einem Hauptdimensionswert [und] der inhaltlichen Ausgestaltung der Normstrategien“ (Gerpott, 2005, S. 165). Letzteres steht in starker Abhängigkeit zu den Dimensionen des Portfolios. Auch wenn die

Normstrategien Handlungsempfehlungen ermöglichen, geben Pfeiffer et al. keinerlei Angaben darüber, wie die letztendliche Technologiestrategie aussieht. Die Verarbeitung und Interpretation der Informationen ist v. a. bei großen Unternehmen, aufgrund der Heterogenität der Technologielandschaft, schwierig (Wolfrum, 1991, S. 203 f.).

**Trendextrapolation:** Die Trendextrapolation verwendet quantitative Daten zur Vorhersage zukünftiger, technologischer Entwicklungen (Gerpott, 2005, S. 110). Dabei ist die Extrapolation auf Basis von statisch angenommen Zukunftswerten kritisch zu hinterfragen. Technologische Entwicklungen besitzen heutzutage eine zunehmende Dynamik, die durch eine Unvorhersehbarkeit durch radikale Entwicklungen bestimmt ist. Die Trendextrapolation ist als rein quantitatives Verfahren aufgrund fehlender, qualitativer Analyseelemente als unzureichendes Prognoseverfahren zu bewerten (Wolfrum, 1991, S. 139). Zudem ist der Kontext der Anwendung der Trendextrapolation entscheidend, um Unsicherheiten gering zu halten (Wellensiek et al., 2011, S. 158).

#### **4.1.2 Kritik der integrativen Vorgehensmodelle der Technologiebewertung**

Äquivalent zu den Einzelmethoden werden im Folgenden die integrativen Vorgehensmodelle der Technologiebewertung kritisch betrachtet.

##### **Ansatz nach Geldermann & Rentz**

Geldermann & Rentz verfolgen einen Ansatz, der technische, ökonomische sowie ökologische Aspekte in die Technologiebewertung integriert (Geldermann, 2018, S. 1197). Basierend auf gewichteten Bewertungskriterien findet eine multikriterielle Auswertung für eine strukturierte und fundierte Technologieentscheidung statt. Die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass es keine universell-gültige Methode zur Kriterienbewertung gibt, weshalb „jede Gewichtung subjektiv und auf die untersuchten Alternativen beschränkt bleiben“ (Geldermann & Rentz, 2001, S. 449). Die Anwendung des Ansatzes nach Geldermann & Rentz erfordert die genaue Bewertung aller Kriterien, was v. a. bei neuartigen, innovativen Technologien eine Herausforderung darstellt. Als Rückschluss müssen Annahmen getroffen werden, die eine unquantifizierbare Veränderung bzw. Abweichung des realen Zustands mit sich bringt. Letztendlich sehen Geldermann & Rentz weiteren Forschungsbedarf in ihrem Ansatz hinsichtlich Gruppenentscheidungen durch das Einbeziehen von Expertenmeinungen (Geldermann & Rentz, 2001, S. 449 f.).

##### **Ansatz nach Hieronymus, Tintelnot & von Wichert-Nick**

Hieronymus et al. sehen in ihrem Ansatz den Grund für die Technologiebewertung als Resultat einer Veränderung oder Erweiterung der bestehenden Technologiestrategie in Unternehmen (Hieronymus et al., 1996, S. 27 f. zitiert nach Schneider, 2002, S. 31 f.). Die Bewertung der Technologien erfolgt über ein Technologieportfolio, wobei relevante

Ergebnisse direkt Einfluss in die strategische Planung des Technologieeinsatzes finden. Die Betrachtung der Kritik des Technologieportfolios (siehe Kapitel 4.1.1) zeigt, dass die Entscheidungsfindung bei strategischer Technologieplanung einzig und alleine auf Basis eines Technologieportfolios unzureichend ist. Schwachstellen des Technologieportfolios wirken sich auf die strategische Technologieplanung aus. Darüber hinaus ist die Vorgehensweise innerhalb der einzelnen Schritte ungeklärt. Diese müssen operationalisiert und methodisch ausgestaltet werden (Hieronymus et al., 1996, S. 28 zitiert nach Schneider, 2002, S. 32 f.).

### **Ansatz nach Hall**

Der Ansatz nach Hall besitzt einen ganzheitlichen Charakter und beleuchtet Technologien hinsichtlich ihrer Struktur, dem Prozess, der Wirtschaftlichkeit, Umwelt und Gesellschaft. Es bleibt jedoch unklar, wie diese Dimensionen gewichtet werden und wie das Ergebnis der Technologiebewertung die strategische Technologieplanung beeinflusst. Der Autor nennt deshalb die Verknüpfung des Bewertungsverfahrens mit Normstrategien als zwingend notwendigen, weiteren Forschungsbedarf. Auch die praktische Anwendung des Ansatzes stellt einen Kritikpunkt dar, da dieser bisher lediglich an einer empirischen Studie durchgeführt ist. Es besteht demnach ein potenzieller Handlungsbedarf in Form von einer Modifizierung des Modells basierend auf Erkenntnissen der Praxis (Hall, 2002, S. 124 f.). Zudem wird die zukünftige Entwicklung der Technologien sowie der langfristige Technologieeinsatz und dessen Ausrichtung nur bedingt betrachtet.

### **Ansatz nach Kröll**

Die Technologiebewertungsmethode nach Kröll stammt ursprünglich aus der Produktentwicklung. Technologien werden als Technologiemodelle nach qualitativen und monetären Aspekten sowie der Flexibilität und dem technologischen Reifegrad innerhalb der Produktentstehung bewertet. Das Produkt selbst wird als Funktionsmodell dargestellt. Anhand funktionaler Anforderungen des Produkts können die Technologien analysiert werden, was bei der Entscheidungsfindung unterstützt. Kröll weist bei seinem Ansatz auf das Verbesserungspotenzial durch die Verfeinerung des Bewertungsprozesses hin, einer Erweiterung der Bewertungskriterien und -merkmale der Technologiealternativen und einer Systematisierung des Modells mit einer Software (Kröll, 2007, S. 141-143).

## **4.2 Evaluation der Technologiebewertungsmethoden**

Neben der allgemeinen Methodenkritik werden die untersuchten Technologiebewertungsmethoden und integrativen Vorgehensmodelle im Kontext der vorliegenden Arbeit evaluiert. Einen Überblick hinsichtlich der Methodenausrichtung, des benötigten

Aufwands bei Anwendung der Methoden und des Informationsgehalts der Ergebnisse zeigt Abbildung 15. Ziel ist es, die drei Bewertungsmerkmale in eine Relation zu setzen, um zu zeigen, welche Methoden einen geringen Aufwand benötigen, jedoch ein valides Ergebnis innerhalb der Technologiebewertung erzielen oder welche Methoden sich trotz hohen Aufwands lohnen. Die Relevanz der Methodenausrichtung wird deutlich durch die Notwendigkeit der Verarbeitung qualitativer und quantitativer Daten für die Bewertung innovativer Technologien. Die Evaluation findet anhand literarischer Angaben sowie einem interpretativen Ansatz basierend auf bereits erarbeiteten Informationen und der Methodenkritik statt.

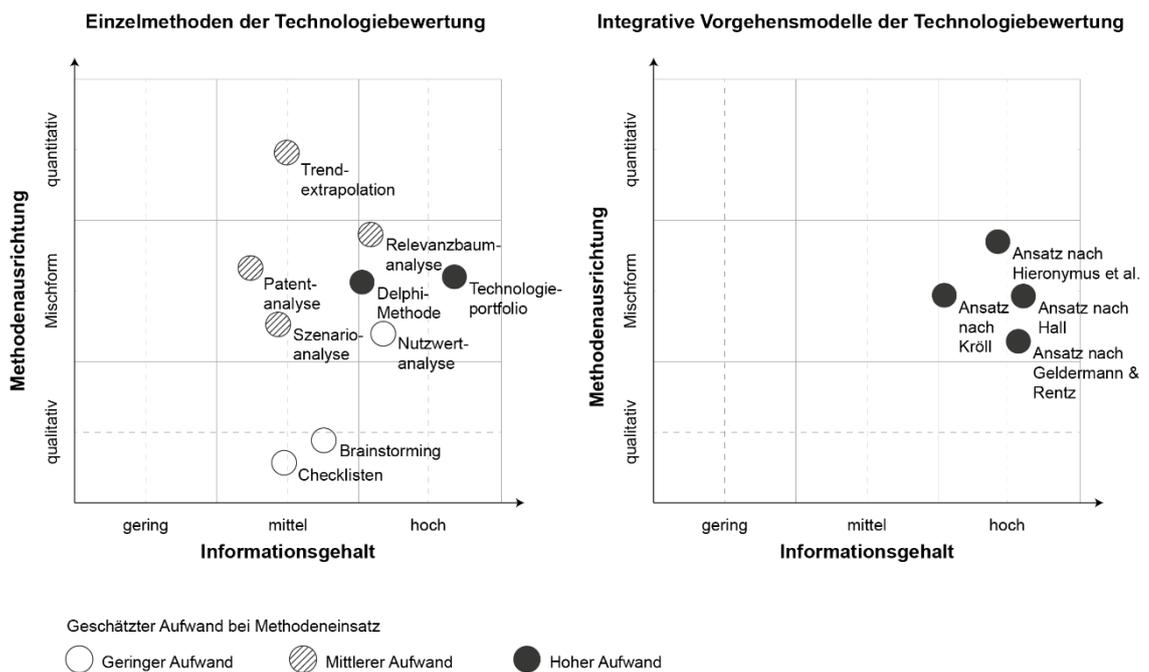


Abbildung 15: Methoden nach Informationsgehalt und Methodenausrichtung (Eigene Darstellung)

Es wird ersichtlich, dass es sich bei den Bewertungsansätzen um eine Methodenausrichtung in Mischform handelt, die somit für die Technologiebewertung digitaler Technologietrends geeignet sind. Informationsgehalt sowie Aufwand variieren. Im Kontext der vorliegenden Arbeit sind v. a. die Methoden relevant, die einen hohen Informationsgehalt haben. Dazu zählen neben der Nutzwert- und Relevanzbaumanalyse auch das Technologieportfolio, die Delphi-Methode sowie alle untersuchten integrativen Vorgehensmodelle der Technologiebewertung. Hinsichtlich des Aufwands sticht v. a. die Nutzwertanalyse positiv heraus, die trotz eines niedrigen Aufwands einen hohen Informationsgehalt gewährleistet.

Um eine genauere Aussage über die Methoden und Ansätze der Technologiebewertung treffen zu können, werden diese hinsichtlich weiterer Bewertungsmerkmale untersucht. Die für den Vergleich zugrunde gelegten Kriterien sind so gewählt, dass einem Methodeneinsatz im strategischen Technologiemanagement unter Berücksichtigung der

Problemstellung und Zielsetzung entsprechend Rechnung getragen werden kann. Die konsultierten Bewertungsmerkmale werden nachfolgend vorgestellt.

- **Systematik:** Strukturiertes Konzept, Datenintegration
- **Bewertungsart:** Qualitativ, quantitativ, multikriterielle Analyse
- **Phase:** Definition und Strukturierung, Früherkennung, Folgenabschätzung, Bewertung von Technologien
- **Methodenkompetenz:** Niedrig, mittel, hoch
- **Nachhaltigkeitsbezug:** Ausprägung vorhanden, d. h. Integration der ökologischen, ökonomischen und bzw. oder sozialen Nachhaltigkeit

Das Bewertungsmerkmal der **Systematik** setzt sich zum einen aus der Bewertung hinsichtlich des strukturierten Vorgehens innerhalb des methodischen Konzepts zusammen. Zum anderen wird die Datenintegration betrachtet, d. h. inwieweit das methodische Konzept die zielgerichtete Datenverarbeitung der gesammelten Informationen ermöglicht. Dies ist erforderlich für die Auswertung digitaler Technologien.

Die **Bewertungsart** untersucht die Integration qualitativer und quantitativer Analyseelemente innerhalb des Bewertungsverfahrens. Eine Kombination beider Elemente bei der Verarbeitung von Bewertungsinformationen ermöglicht den Ausgleich von Schwachstellen einer einseitigen Bewertung. Darüber hinaus sagt das Kriterium der multikriteriellen Analyse aus, ob vielseitige Bewertungskriterien bzw. -dimensionen möglich sind, um eine mehrdimensionale und strukturierte Analyse von Technologien bspw. über gewichtete Kriterien zu ermöglichen. Die Kriterienausprägungen sind wichtig, um reliable Technologiebewertungsergebnisse zu gewährleisten.

Die **Phase** als Bewertungsmerkmal zeigt klassische Schritte des Technologiemanagements auf und dient der Einordnung des methodischen Konzepts hinsichtlich seines Umfangs. Die Definition und Strukturierung des Problems beschäftigt sich mit dem zu untersuchenden Gegenstand und legt in Grundzügen fest, was als Ergebnis auftreten kann. Die Früherkennung sagt aus, ob das methodische Konzept eine frühzeitige Erfassung von Anzeichen für technologische Entwicklungen integriert. Die Folgenabschätzung betrachtet die potenziellen Folgen, die durch den Einsatz der Technologie entstehen. Bei der Bewertung wiederum handelt es sich um eine Gegenüberstellung der Technologien, die analysiert, evaluiert und interpretiert werden.

Das Bewertungsmerkmal **Methodenkompetenz** dient der Einordnung des methodischen Konzepts hinsichtlich der zur Umsetzung benötigten fachlichen oder technischen Fähigkeit. Eine hohe Methodenkompetenz ist automatisch mit einem hohen Fachwissen verbunden, das vorher erlernt werden muss, um eine erfolgreiche Anwendung der Bewertungsmethode zu gewährleisten.

Abschließend wird innerhalb des Bewertungskriteriums des **Nachhaltigkeitsbezugs** untersucht, inwiefern das methodische Konzept zur Technologiebewertung Aspekte der Nachhaltigkeit in Form von Ökologie, Ökonomie und Sozialem betrachtet. Dieses Bewertungsmerkmal ist zwingend notwendig, um den Aspekt der nachhaltigen Unternehmensziele in der Technologiebewertung zu integrieren.

Nachfolgende Tabelle zeigt die Bewertung der methodischen Ansätze anhand der definierten Bewertungsmerkmale in einem Methodenportfolio (siehe Tabelle 7).

<b>Legende</b> ○ nicht erfüllt ● kontextbezogen: kann, muss aber nicht ● erfüllt	Systematik		Bewertungsart			Phase				Methodenkompetenz			Nachhaltigkeitsbezug
	Strukturiertes Konzept	Datenintegration	Qualitativ	Quantitativ	Multikriterielle Analyse	Definition und Strukturierung	Früherkennung	Folgenabschätzung	Bewertung	Niedrig	Mittel	Hoch	Ausprägung vorhanden
Brainstorming	○	○	●	○	○	●	○	●	○	●	○	○	○
Checklisten	●	●	●	○	○	●	●	○	●	●	○	○	○
Delphi-Methode	●	●	●	●	○	●	●	●	●	○	●	○	○
Nutzwertanalyse	●	●	●	●	●	○	○	○	●	●	○	○	○
Patentanalyse	●	●	●	●	○	●	●	○	○	○	●	○	○
Relevanzbaumanalyse	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	○	○
Szenarioanalyse	●	●	●	●	○	●	●	●	●	○	●	○	○
Technologieportfolio	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	○	○
Trendextrapolation	○	●		●	○	○	●	●		○	●	○	○
Ansatz nach Geldermann & Rentz	●	●	●	●	●	●	○	○	●	○	○	●	●
Ansatz nach Hieronymus et al.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	●	○
Ansatz nach Hall	●	●	●	●	●	●	○	●	●	○	○	●	●
Ansatz nach Kröll	●	●	●	●	●	●	○	●	●	○	○	●	○

Tabelle 7: Methodenportfolio der Technologiebewertungsmethoden (Eigene Darstellung)

**Systematik:** Innerhalb der Bewertung der Systematik wird deutlich, dass die Bewertungsmethoden überwiegend eine strukturierte Vorgehensweise beinhalten sowie in der Lage sind, erfasste technologiespezifische Daten zu verarbeiten. Ausnahme hierbei ist das Brainstorming.

**Bewertungsart:** Die Bewertungsart zeigt, dass die untersuchten Methoden, ausgeschlossen das Brainstorming und die Trendextrapolation, sowohl qualitative als auch quantitative Analyseelemente verwenden. Darüber hinaus fokussieren sich v. a. die integrativen Vorgehensmodelle der Technologiebewertung, die Nutzwert- und Relevanzbaumanalyse sowie das Technologieportfolio auf eine multikriterielle Bewertung, wodurch eine Vielzahl an Aspekten beachtet werden. Sowohl eine

Kombination der Analyseelemente sowie die Integration einer multikriteriellen Bewertung haben demnach in den untersuchten Bewertungsmethoden eine hohe Relevanz.

**Phase:** Die Bewertungsmethoden betrachten überwiegend die Definition und Strukturierung der Problemstellung, die Früherkennung, die Folgenabschätzung mit Annahmen über die zukünftige Entwicklung sowie die tatsächliche Bewertung der Technologien. Die Verfahren eignen sich daher für die Auswahl alternativer Technologien in Entscheidungsfindungsprozessen. Eine besondere Ausnahme stellt die Nutzwertanalyse dar, die als einzige Methode ausschließlich die Technologiebewertung zum Inhalt hat.

**Methodenkompetenz:** Die benötigte Methodenkompetenz zur Umsetzung der Bewertungsmethoden variiert. Das Brainstorming, die Checklisten und die Nutzwertanalyse erfordern durch die Einfachheit der Methoden eine geringe Methodenkompetenz. Eine hohe Methodenkompetenz hingegen bedürfen die integrativen Vorgehensmodelle der Technologiebewertung, da eine Vielzahl unterschiedlicher Analysen kombiniert und in Abfolge durchgeführt werden. Eine adäquate Bewertung von Technologien muss anhand einer Methode geschehen, die unter komplexen Ausgangssituationen die optimale Auswahl von Technologien ermöglicht. Die Methodenkompetenz ist demnach ggf. zu erlernen.

**Nachhaltigkeitsbezug:** Der Nachhaltigkeitsbezug zeigt die mangelnde Integration der Nachhaltigkeit in vorherrschenden Technologiebewertungsmethoden. Zwar beziehen einige Methoden die Umwelt mit ein, wie bspw. die Szenario- oder Portfolioanalyse, jedoch nicht in Bezug auf ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeit. Ausschließlich zwei der integrativen Vorgehensmodelle der Technologiebewertung beschäftigen sich mit der Nachhaltigkeit, wobei Geldermann & Rentz lediglich die ökologische Nachhaltigkeit zum Inhalt haben. Hall verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz, der alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit beachtet. Die obigen Bewertungsmethoden können Bewertungskriterien der Nachhaltigkeit inkludieren, schreiben dies jedoch nicht vor. Daraus resultiert ein großer Handlungsbedarf innerhalb der Nachhaltigkeitsbewertung von Technologien.

### 4.3 Definition des Handlungsbedarfs

Die Methodenkritik sowie Evaluation der Bewertungsmethoden im Methodenportfolio zeigt, dass im Kontext der vorliegenden Arbeit keine optimale Technologiebewertungsmethode existiert. Neben dem Aspekt der ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbewertung von Technologien innerhalb von Unternehmen ist nicht zu identifizieren, zu welchem Zeitpunkt welche Methode am sinnvollsten eingesetzt wird.

Aus diesem Grund ist eine Kombination der verschiedenen Methoden und Ansätze hinsichtlich eines optimierten Bewertungsmodells zu empfehlen, auf dessen Basis digitale Technologien bewertet und verglichen werden können. Dieses dient als Grundlage für Technologieentscheidungen und soll den Aspekt der Nachhaltigkeit bzw. den Beitrag der digitalen Technologien zur Erreichung nachhaltiger Unternehmensziele in den Fokus stellen.

Vor diesem Hintergrund kann aus der Analyse des Methodenportfolios und den Anforderungen an das Modell zur nachhaltig-digitalen Technologiebewertung folgender Handlungsbedarf definiert werden (siehe Tabelle 8).

Handlungsbedarf	Beschreibung	Ergebnis & Fragestellung
<b>Bewertungsmodell mit adäquaten Analyseelementen</b>	Entwicklung eines strukturierten Bewertungsmodells zur Technologiebewertung für den Einsatz in Unternehmen mit passenden Analyseelementen aus dem Methodenportfolio.	Methode, Modell bzw. Matrix erstellen  → <i>Wie sieht ein nachhaltigkeitsorientiertes Technologiebewertungsmodell aus?</i>
<b>Bearbeitung einer komplexen Problemstellung mit eindeutigen Ergebnis</b>	Ermöglichung der Bearbeitung einer komplexen Problemstellung, d. h. der Nachhaltigkeitsbewertung von Technologien. Erarbeitung eines eindeutigen und validen Ergebnisses mit Hilfe der Technologiebewertung.	Anforderungen und Ergebnis des Bewertungsmodells definieren  → <i>Wie sieht die Ausgangssituation zur Anwendung des Modells aus, welche Anforderungen muss es erfüllen und wie werden eindeutige Ergebnisse gewonnen?</i>
<b>Multikriterielle Bewertung</b>	Systematische Bewertung der Technologien anhand diverser, im Vorhinein definierter Kriterien zur Erfüllung der Anforderung einer mehrdimensionalen Entscheidung.	Bewertungskriterien festlegen  → <i>Wie sehen potenzielle Bewertungskriterien hinsichtlich der Technologie und des Unternehmens aus?</i>
<b>Integration der Nachhaltigkeitsbewertung</b>	Nachvollziehbare Bewertung des Beitrags der Technologien zur Erreichung und Unterstützung der nachhaltigen Unternehmensziele.	Nachhaltige Unternehmensziele integrieren  → <i>Wie kann die Nachhaltigkeitsbewertung der Technologien in das Bewertungsmodell integriert werden?</i>
<b>Bestimmung der zukünftigen Entwicklung</b>	Integration von Elementen bzw. Methoden der Technologiefolgenabschätzung, um zukünftige Entwicklungen der Technologie und dessen Einsatz zu identifizieren.	Zukünftige Entwicklungen der Technologien bestimmen  → <i>Wie sieht eine Zukunftsbewertung der Technologien aus?</i>

Tabelle 8: Handlungsbedarf der nachhaltigkeitsorientierten Technologiebewertung (Eigene Darstellung)

## 5 Entwicklung des Technologiebewertungsmodells

Die Entwicklung des Bewertungsmodells digitaler Technologien zur Unterstützung nachhaltiger Unternehmensziele basiert auf dem abgeleiteten Handlungsbedarf. Die Technologiebewertung im Rahmen der vorliegenden Arbeit unterstützt unternehmensbezogene, systematische Technologieentscheidungen. Dabei liegt der Fokus auf digitalen Technologietrends, die auf einen Wettbewerbsvorteil abzielen.

Die Relevanz einer zeitgemäßen Technologiebewertungsmethode im Unternehmenskontext, verbunden mit dem Aspekt der Nachhaltigkeit, wird ersichtlich angesichts der wachsenden ökologischen, ökonomischen und sozialen Herausforderungen, die einen globalen Wandel forcieren. Durch nachhaltigkeitsorientierte Innovationsansätze, die technologische Entwicklungen inkludieren, besitzen Unternehmen neue Handlungsfelder (Hansen et al., 2022, S. 2). Eine Bewertung der Technologien unter Beachtung des Nachhaltigkeitspotenzials ist daher unerlässlich.

### 5.1 Anforderungsdefinition

Um eine hohe Qualität und praktische Anwendbarkeit sicherzustellen, findet nachfolgend die Anforderungsdefinition an das zu entwickelnde Technologiebewertungsmodell statt. Hierfür werden Gütekriterien der qualitativen und quantitativen Forschung herangezogen. Erstere dienen dazu, die Qualität der Forschung einzuschätzen, das wissenschaftliche Vorgehen abzusichern sowie die Grundprinzipien der Wissenschaftlichkeit zu gewährleisten (Gläser-Zikuda, 2015, S. 115). Quantitative Kriterien stammen aus der experimentell-statistischen und hypothesenprüfenden Forschung. Sie dienen ebenfalls der Überprüfung der Qualität der Forschung, jedoch ausgehend von quantitativen Analysen (Bryman et al., 2007, S. 261 f.; Steinke, 2004, S. 184).

Im Kontext der vorliegenden Arbeit ist der Transfer der Gütekriterien auf das zu entwickelnde Technologiebewertungsmodell als sinnvoll zu erachten, da so die Qualität sowie das damit verbundene methodische Vorgehen sichergestellt werden. In diesem Kontext sind nachfolgend sowohl methoden- als auch ergebnisbezogene Gütekriterien des Technologiebewertungsmodells zu definieren. Neben den in der Literatur erwähnten Gütekriterien der qualitativen und quantitativen Forschung werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit eigene, ergänzende Gütekriterien entwickelt, um die praktische Anwendbarkeit des methodischen Vorgehens zu gewährleisten. Die Gütekriterien sind mit einer Leitfrage versehen, die bei Durchführung des Bewertungsmodells zu beantworten ist, um ein valides Ergebnis zu erhalten.

### 5.1.1 Ergebnisbezogene Gütekriterien

**Glaubwürdigkeit (qualitativ):** Die Ergebnisse, die bei Durchführung des Technologiebewertungsmodells erzielt werden, sind plausibel und vertrauenswürdig. Die Datenerhebung, Analyse und Ergebnisse sind aufeinander abgestimmt und in ihrem Umfang angemessen (Leininger, 1994, S. 105; Stenfors et al., 2020, S. 598). Subjektive Bewertungen werden vermieden (Bryman et al., 2007, S. 266). Die Leitfrage lautet: „Sind die Ergebnisse der Bewertung mit dem Technologiebewertungsmodell glaubwürdig?“

**Bestätigbarkeit (qualitativ):** Die erhobenen Daten und gewonnenen Ergebnisse durch die Technologiebewertung besitzen eine Verbindung (Leininger, 1994, S. 105; Stenfors et al., 2020, S. 598). Dies ist möglich, indem Schlussfolgerungen und Interpretationen hinsichtlich der Technologien von der durchführenden Person offen dargelegt werden und sich auf die vorher gewonnenen Daten beziehen (Cope, 2014, S. 89). Die Leitfrage der Bestätigbarkeit lautet: „Inkludiert das Ergebnis des Technologiebewertungsmodells eine fundierte Datenbasis auf Grundlage dessen klare Ergebnisse erzielt werden?“

**Verlässlichkeit (qualitativ):** Die Bewertung unter gleichen bzw. ähnlichen Bedingungen ist reproduzierbar, d. h. Informationen über die Vorgehensschritte der Technologiebewertung sind ausführlich genug, um es einer dritten Person zu ermöglichen, die Bewertung erneut durchzuführen (Stenfors et al., 2020, S. 598). Die Daten bei Durchführung der Bewertung sind beständig und Entscheidungswege werden beschrieben (Cope, 2014, S. 89). Die zu beantwortende Leitfrage ist: „Sind die erhobenen Daten konsistent und gewonnene Ergebnisse durch das Technologiebewertungsmodell für dritte Personen nachvollziehbar dargestellt?“

**Objektivität (quantitativ):** Durch das Technologiebewertungsmodell ist eine hohe Objektivität in der Ausführung, Auswertung und Interpretation der Ergebnisse gewährleistet. Demnach ist die Datenerhebung replizierbar, die anschließende Aufbereitung der Daten vollständig und die Interpretation nachvollziehbar (Schneijderberg et al., 2022, S. 49). Die Leitfrage lautet: „Gewährleistet das Technologiebewertungsmodell eine Technologiebewertung mit objektiven Bewertungsergebnissen?“

**Validität (quantitativ):** Die Ergebnisse des Technologiebewertungsmodells entsprechen dem Zielsystem und ermöglichen es, anhand der Evaluation der Technologien Handlungsentscheidungen zu treffen (Schneijderberg et al., 2022, S. 49). Demnach lautet die Leitfrage: „Ist mit dem Technologiebewertungsmodell das Ergebnis gemessen worden, das ursprünglich gemessen werden sollte?“

**Eindeutigkeit (forschungsbezogen):** Das Bewertungsergebnis ist eindeutig und liefert Erkenntnisse zur Unterstützung der Entscheidungsfindung einer Technologie-

entscheidung. Die Leitfrage lautet: „Zeigt die Bewertung ein klares und eindeutiges Ergebnis für eine fundierte Technologieentscheidung?“

### 5.1.2 Methodenbezogene Gütekriterien

**Übertragbarkeit (qualitativ):** Das Technologiebewertungsmodell kann auf einen anderen Kontext oder innerhalb eines anderen Umfelds angewendet werden (Stenfors et al., 2020, S. 598). Die damit verbundene Leitfrage lautet: „Ist das Technologiebewertungsmodell übertragbar, generalisierbar und allgemeingültig?“

**Einfachheit (forschungsbezogen):** Die Anwendung des Technologiebewertungsmodells ist bei mittlerer bis geringer Methodenkompetenz anwendbar. Demnach lautet die Formulierung der Leitfrage: „Ermöglicht das Technologiebewertungsmodell eine unkomplizierte Anwendung?“

**Praktikabilität (forschungsbezogen):** Innerhalb des Technologiebewertungsmodells werden unternehmensbezogene Technologien evaluiert. Das Modell ist industrieunabhängig und teamübergreifend nutzbar. Die Leitfrage lautet: „Ist das Technologiebewertungsmodell auf eine Anwendung in der Praxis ausgelegt?“

## 5.2 Grundkonzept

Innerhalb des Technologiemanagements existieren vor- und nachgelagerte Prozessschritte, die bei der Technologiebewertung zu beachten sind. Aus den integrativen und verwandten Ansätzen der Technologiebewertung (siehe Kapitel 3.4 und Kapitel 3.4) kann eine Verallgemeinerung der Vorgehensweisen stattfinden (siehe Tabelle 9).

Integrative Technologiebewertung	Literatur	Vorgehensschritt	Kapitel
<b>Schritt 1: Handlungsbedarf</b>	Geldermann & Rentz	Zu bewertende Technologien	Kapitel 3.3.1
	Hieronimus et al.	Feststellung Handlungsbedarf	Kapitel 3.3.2
	Kröll	Planung des Technologieeinsatzes	Kapitel 3.3.4
	Lang-Koetz	Identifikation relevanter Technologie	Kapitel 3.4.1.2
	Schallmo	Digitale Transformation	Kapitel 3.4.2.1
	Rieke & Sardoux Klasen	Technologische Trends bewerten	Kapitel 3.4.2.2
<b>Schritt 2: Informationssammlung / Technologien kennenlernen</b>	Geldermann & Rentz	First Screening	Kapitel 3.3.1
	Hieronimus et al.	Analyse und Prognose	Kapitel 3.3.2
	Hall	Exploration	Kapitel 3.3.3
	Kröll	Beschreibungsmodell Technologie	Kapitel 3.3.4
	Ashton et al.	Prüfung der Informationsressourcen	Kapitel 3.4.1.1
	Lang-Koetz	Informationssammlung	Kapitel 3.4.1.2
	Schallmo	Digitale Realität	Kapitel 3.4.2.1
	Rieke & Sardoux Klasen	Kennenlernen der Technologie	Kapitel 3.4.2.2
<b>Schritt 3: Technologiebewertung</b>	Geldermann & Rentz	Entscheidungsunterstützung	Kapitel 3.3.1
	Hieronimus et al.	Technologiebewertung	Kapitel 3.3.2
	Hall	Bewertungsmatrix	Kapitel 3.3.3
	Kröll	Kriterienbewertung & -aggregation	Kapitel 3.3.4
	Ashton et al.	Analyse & Interpretation der Informationen	Kapitel 3.4.1.1
	Lang-Koetz	Technologiebewertung	Kapitel 3.4.1.2
	Schallmo	Digitaler Fit	Kapitel 3.4.2.1
	Rieke & Sardoux Klasen	Potenzialbewertung	Kapitel 3.4.2.2

<b>Schritt 4: Technologieentscheidung</b>	Geldermann & Rentz	Ergebnis	Kapitel 3.3.1
	Hieronymus et al.	Technologieentscheidung	Kapitel 3.3.2
	Hall	Ergebnisdarstellung	Kapitel 3.3.3
	Kröll	Bewertungsergebnisse	Kapitel 3.3.4
	Ashton et al.	Ergebnisse an Akteure weiterleiten	Kapitel 3.4.2.1
	Lang-Koetz	Kommunikation	Kapitel 3.4.1.2
	Schallmo	Digitale Implementierung	Kapitel 3.4.2.1
	Rieke & Sardoux Klasen	Geschäftsmodellreflexion und -adaption	Kapitel 3.4.2.2

Tabelle 9: Allgemeiner Ablauf der integrativen Technologiebewertung (Eigene Darstellung)

Zu Beginn besteht ein konkreter Handlungsbedarf, der sich bspw. durch die Identifikation alternativer Technologien ergibt. Um die Technologien bewerten zu können, findet jedoch erst eine Sammlung relevanter Informationen und Daten statt. Anschließend kann die eigentliche Technologiebewertung durchgeführt werden. Je nach Ansatz werden unterschiedliche Methoden herangezogen, wobei multikriterielle Bewertungen und Portfolioansätze als gängige Methode Anwendung finden. Abschließend erfolgen die Technologieentscheidung und Implementierung der Technologie.

Auf dieser Basis wird das integrative Technologiebewertungsmodell, bestehend aus vier Schritten, eingeführt (siehe Abbildung 16).

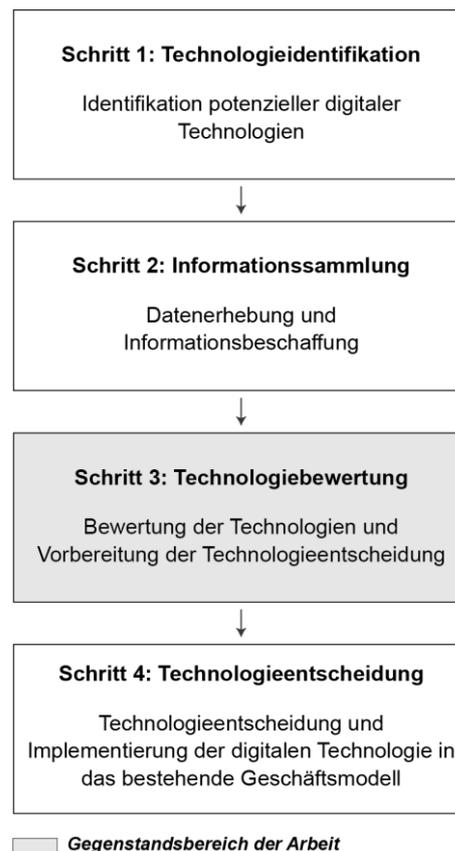


Abbildung 16: Integratives Technologiebewertungsmodell (Eigene Darstellung)

Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf dem dritten Schritt, der Technologiebewertung. Das Verständnis der vorliegenden Arbeit beinhaltet, dass eine isolierte Betrachtung von Digitalisierung und Nachhaltigkeit für ein strategisches und zukunftsgerichtetes

Unternehmen unzureichend ist. Die Konvergenz beider Disziplinen wird als entscheidender Erfolgsfaktor gesehen. Innerhalb des integrativen Technologiebewertungsmodells wird daher für den Vorgehensschritt der Technologiebewertung eine nachhaltigkeitsorientierte Technologiebewertungsmatrix, im folgenden Verlauf der Arbeit *naTech* genannt, konzipiert. Diese dient der Evaluation digitaler Technologien. Als Entscheidungsgrundlage und wichtigster Aspekt für oder gegen eine Technologie gilt die Nachhaltigkeit, d. h. der Beitrag der Technologie zur Unterstützung der nachhaltigen Unternehmensziele.

Ziel der *naTech* ist es, Unternehmen die Entwicklung zu einem hohen Digitalisierungs- und Nachhaltigkeitsgrad zu ermöglichen. Unternehmen, als Anwender der *naTech*, streben ein digital-nachhaltiges Geschäftsmodell an (Griese et al., 2018, S. 16), um einen Wettbewerbsvorsprung zu erzielen. Die Bewertungsmatrix ist auf den Einsatz im unternehmerischen Umfeld ausgelegt und unterstützt Technologieentscheidungen. Durch ein systematisches Vorgehen und eindeutige Bewertungsergebnisse ist es Aufgabe der *naTech*, die mit Technologieentscheidungen verbundenen Unsicherheiten zu reduzieren. Ausgangspunkt sind definierte Nachhaltigkeitsziele, die durch die Anwendung digitaler Technologien effizienter erreicht werden. Folglich wird die Bereitschaft des Unternehmens zur Implementierung digitaler Technologien, ebenso wie die vorherige Definition der Nachhaltigkeitsziele, als Voraussetzung angenommen.

Die Erreichung valider Ergebnisse innerhalb des integrativen Technologiebewertungsmodells, welche die *naTech* inkludiert, wird durch den Einsatz geeigneter Analyseelemente des Methodenportfolios sowie eigens entwickelten Methodenbausteinen gewährleistet. Die Schritte bauen aufeinander auf und können iterativ bearbeitet werden. Nachfolgend findet eine konzeptionelle Beschreibung der einzelnen Prozessschritte statt.

### **5.2.1 Schritt 1: Technologieidentifikation**

#### *Identifikation potenzieller digitaler Technologien*

Ausgangspunkt des integrativen Vorgehensmodells bildet die Technologieidentifikation (siehe Kapitel 3.3.1 und Kapitel 3.3.2), die sich aus der Technologiefrüherkennung und Trendforschung ergibt. Unternehmen identifizieren digitale Technologien, deren Potenziale v. a. in Bezug auf die Nachhaltigkeit näher zu bewerten sind. Dieser Handlungsbedarf bildet die Basis der integrativen Technologiebewertung. Ziel dieses Schritts ist eine Liste potenzieller, digitaler Technologien, die anschließend näher betrachtet werden.

## 5.2.2 Schritt 2: Informationssammlung

### *Datenerhebung und Informationsbeschaffung*

Angelehnt an Rieke & Sardoux Klasens Phase „Kennenlernen der Technologie“ (siehe Kapitel 3.4.2.2), Lang-Koetz Beschreibung der „Informationssammlung“ (siehe Kapitel 3.4.1.2) und Ashton et al. mit der „Beschaffung und Prüfung des Quellmaterials“ (siehe Kapitel 3.4.1.1), werden im zweiten Schritt des integrativen Vorgehensmodells relevante Informationen und Daten über die digitalen Technologien gesammelt, analysiert und sortiert. Da sie die Basis der Technologiebewertung bilden, ist eine möglichst präzise, verständliche und fundierte Recherche notwendig. Hierfür können definierte Dimensionen für eine strukturierte Vorgehensweise sowie Workshops, Weiterbildungen und Seminare neben einer Sekundärrecherche herangezogen werden. Relevante Informationen betreffen nicht ausschließlich die digitalen Technologien, sondern sind angelehnt an Geldermann & Rentz ebenso nachhaltigkeitsbezogene Aspekte (siehe Kapitel 3.3.1), jedoch mit Ausweitung der Nachhaltigkeit neben der ökologischen auf die soziale und ökonomische Dimension.

Zudem sollte, angelehnt an Schallmo (siehe Kapitel 3.4.2.1), das bestehende Geschäftsmodell sowie Ressourcen und Fähigkeiten innerhalb des Unternehmens zur Implementierung der Technologie berücksichtigt werden, um bei der Technologiebewertung den technologischen Fit mit dem Unternehmen bewerten zu können. Darüber hinaus sind ebenso wirtschaftliche Aspekte angelehnt an Geldermann & Rentz (siehe Kapitel 3.3.1), zu beachten. Ziel der Informationssammlung ist eine fundierte Datenbasis über die Technologien, die bei der Technologiebewertung herangezogen werden kann.

## 5.2.3 Schritt 3: Technologiebewertung

### *Bewertung der Technologien und Vorbereitung der Technologieentscheidung*

Der dritte Schritt des integrativen Vorgehensmodells umfasst die Technologiebewertung und stellt den wesentlichen Gegenstand der Forschung dar. Angelehnt an den Ansätzen nach Geldermann & Rentz sowie Rieke & Sardoux Klasen (siehe Kapitel 3.3.1 und 3.4.2.2), erfolgt eine Potenzialbewertung der Technologien innerhalb der *naTech*.

Diese greift auf eine multikriterielle Bewertung zurück, anhand dessen das Technologie-, Nachhaltigkeits- und Unternehmenspotenzial als Bewertungsdimensionen der digitalen Technologien bestimmt werden. Die Bewertungskriterien der einzelnen Dimensionen werden vorgegeben, können jedoch in Absprache mit den Interessensgruppen bei Anwendung der *naTech* dynamisch erweitert werden.

Basierend auf der Methodenkritik, den Ergebnissen des Methodenportfolios sowie der Beachtung der multikriteriellen Bewertung, d. h. des MADM-Verfahrens, wird innerhalb der *naTech* auf eine Nutzwertanalyse zurückgegriffen. Die Nutzwertanalyse ist die

einzigste Methode, die sowohl qualitative als auch quantitative Analyseelemente integriert und in der Lage ist, multikriterielle Entscheidungen zu treffen, dabei jedoch eine geringe Methodenkompetenz erfordert. Dies stellt einen der wichtigsten Anwendungspunkte der *naTech* dar, damit eine einfache Integration der Matrix in der Praxis gewährleistet wird. Darüber hinaus ist die Nutzwertanalyse zudem das einzige methodische Vorgehen, das ausschließlich die Technologiebewertung betrachtet (siehe Kapitel 4.2). Die gewonnenen Ergebnisse der Nutzwertanalyse werden anschließend in ein Technologieportfolio übertragen. Dieses Vorgehen ist eine bewährte Methode aus der Literatur, wobei die aus der Nutzwertanalyse berechneten Ausprägungen mit den Kriteriengewichtungen die Position der Technologie innerhalb des Portfolios bestimmen (Bullinger, 1994, S. 166; Haag et al., 2011, S. 319 & 322). Demnach werden die einzelnen Bewertungsdimensionen hinsichtlich gewichteter Bewertungskriterien betrachtet, zusammengefasst und relativiert, um das Dimensionspotenzial zu identifizieren. Der Übertrag in ein Handlungsportfolio ist angelehnt an das Technologieportfolio nach Pfeiffer et al. und unterstützt die Technologieentscheidung, indem die aktuelle Positionierung einer Technologie hinsichtlich der Potenzialdimensionen aufgezeigt wird. Ziel der Technologiebewertung ist die Potenzialbestimmung alternativer Technologien auf Basis dessen die Technologieentscheidung getroffen wird.

#### **5.2.4 Schritt 4: Technologieentscheidung**

*Technologieentscheidung und Implementierung der digitalen Technologie in das bestehende Geschäftsmodell*

Den finalen Schritt bildet die Auswahl der Technologie basierend auf dem Technologieportfolio, wobei das Nachhaltigkeitspotenzial ausschlaggebend ist. Schließlich folgen die Beschaffung und Implementierung der gewählten Technologie. Angelehnt an den Ansatz nach Kröll entspricht dies der Realisierung der Technologiealternative (siehe Kapitel 3.3.4). Ist die Technologie erfolgreich eingeführt, erfolgt angelehnt an Rieke & Sardoux Klassen sowie Ashton et al. (siehe Kapitel 3.4.2.2 und Kapitel 3.4.1.1), das kontinuierliche Monitoring des Nachhaltigkeits- und Erfolgsbeitrags der Technologie.

### **5.3 Nachhaltigkeitsorientierte Technologiebewertungsmatrix**

Die *naTech* ist Bestandteil des dritten Prozessschritts des integrativen Vorgehensmodells der Technologiebewertung und zentraler Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Nachfolgendes Kapitel stellt eine detaillierte Beschreibung des dritten Schritts dar und legt den Fokus auf die Technologiebewertung mit Hilfe der *naTech*. Diese analysiert das Technologie-, Nachhaltigkeits- und Unternehmenspotenzial als Dimensionspotenziale alternativer, digitaler Technologien, um

anschließend mit Hilfe eines Handlungsportfolios Handlungsempfehlungen abzuleiten und zukunftsichere Technologieentscheidungen zu treffen.

Die drei zu bewertenden Dimensionen sind aus gewichteten Bewertungskriterien zusammengestellt und so gewählt, dass differenzierte Aussagen über das technologische Potenzial, aber auch das Unternehmen und dessen Möglichkeiten zur Umsetzung der Technologie sowie das Potenzial der Technologie zur Unterstützung nachhaltiger Unternehmensziele getätigt werden können. Dabei untersucht das Technologiepotenzial grundlegende Aspekte der Technologie wie bspw. funktionale Charakteristika. Zur Bewertung des Nachhaltigkeitspotenzials findet ein Abgleich der Technologien mit den SDGs statt, die über die Gewichtung der Bewertungskriterien seitens des Unternehmens die nachhaltigen Unternehmensziele widerspiegeln. Das Unternehmenspotenzial bewertet, inwieweit das Unternehmen die Möglichkeit besitzt, die Technologien tatsächlich umzusetzen.

Die *naTech* findet Orientierung im Prinzip der Multi-Attribut-Ansätze der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung, welche die gleichzeitige Bewertung einer definierten Menge an Alternativen mit Hilfe einer Vielzahl gewichteter Kriterien zum Inhalt hat (siehe Kapitel 3.1.2). Begründet wird dies durch die Anforderung an die entwickelte Methode zur systematischen und objektiven Bewertung von Technologien anhand einer Vielzahl von Kriterien. Die Bewertungskriterien bilden das Grundgerüst der Bewertung und sind zu definieren, aufbereiten und gewichten. Im Anschluss findet die multikriterielle Bewertung statt, welche angelehnt an der Nutzwertanalyse die Dimensionspotenziale je Technologie bestimmt. Darauf basierend können die Bewertungsergebnisse in ein Handlungsportfolio, orientiert am Technologieportfolio nach Pfeiffer et al., übertragen werden, um Handlungsempfehlungen abzuleiten. Durch die beschriebene Konzeption der *naTech* wird gewährleistet, dass die Technologiebewertung digitaler Technologien systematisch und objektiv mit einer Vielzahl an relevanten Kriterien stattfindet.

### **5.3.1 Definition der Bewertungskriterien**

Bewertungskriterien dienen als Mittel zur Umsetzung der Anforderungen einer Bewertung und sind qualitativ oder quantitativ. Ihre Bewertung kann sowohl objektiv als auch subjektiv stattfinden. Somit sind sie in der Lage, die gewonnenen Ergebnisse mit der gesetzten Zielsetzung in Einklang zu bringen (Wartzack, 2021b, S. 310).

In der Literatur existieren im Rahmen der Technologiebewertung eine Vielzahl relevanter Bewertungskriterien. Die Wahl der Kriterien ist aufgrund der Vielfalt mit einer hohen Komplexität verbunden und abhängig von dem zu untersuchenden Gegenstand und der betrachteten Aggregationsebene (Kleinknecht et al., 2002, S. 119). Im Kontext der vorliegenden Arbeit wird zur Vereinfachung der Anwendung der *naTech* deshalb ein definierter Bewertungskriterienkatalog vorgegeben, der unternehmens- sowie

situationsspezifisch erweitert werden kann. Basierend auf den ausgewählten Kriterienklassen und Bewertungskriterien der Literatur (siehe Anhang 2) findet die Selektion relevanter Bewertungskriterien innerhalb der Potenzialdimensionen statt. Ausnahme hierbei bildet die Dimension des Nachhaltigkeitspotenzials.

Die Kriterien bilden den Bewertungsrahmen, der die Sicherung der Ergebnisse hinsichtlich der vorgegebenen Zielsetzung gewährleistet. Um die Objektivität, Vergleichbarkeit und Nachvollziehbarkeit der Bewertungskriterien sicherzustellen, unterliegen diese gewissen Voraussetzungen. Dazu zählen die Vermeidung von sich überschneidenden, widersprüchlichen und gegenläufigen Bewertungskriterien (Breiing & Knosala, 1997, S. 42 f.). Für den Kontext der vorliegenden Arbeit werden die Anforderungen an die Kriterien im Rahmen der *naTech* erweitert. Die Kriterien haben Folgendes zu beachten:

- **Eindeutig:** Die Formulierung der Bewertungskriterien ist eindeutig und präzise.
- **Dimensionsspezifisch:** Die Bewertungskriterien sind für jede Potenzialdimension einzeln zu erarbeiten und nachvollziehbar dazustellen.
- **Feingranular:** Die Bewertungskriterien sind feingranular und verständlich definiert, um die Bewertungsdimensionen klar voneinander zu trennen.
- **Gewichtet:** Die Gewichtung der Bewertungskriterien ist möglich.

#### 5.3.1.1 Bestimmung der Bewertungskriterien

Die Bewertungskriterien bilden die Basis der fundierten Technologiebewertung innerhalb der *naTech*. Sie haben den definierten Anforderungen Folge zu leisten und werden zur Bestimmung der Dimensionspotenziale herangezogen. Übergeordnet stehen die drei Dimensionen des Technologie-, Nachhaltigkeits- und Unternehmenspotenzials, die je durch spezifische Bewertungskriterien, ähnlich eines hierarchischen Konstrukts, aufgegliedert sind. Für die Anwendung der *naTech* wird ein Kriterienkatalog für die einzelnen Potenzialdimensionen vorgegeben, um die komplexe Wahl der Bewertungskriterien zu vereinfachen (Kleinknecht et al., 2002, S. 119). Abbildung 17 zeigt die grundlegende Zusammensetzung der Bewertungskriterien der *naTech*.

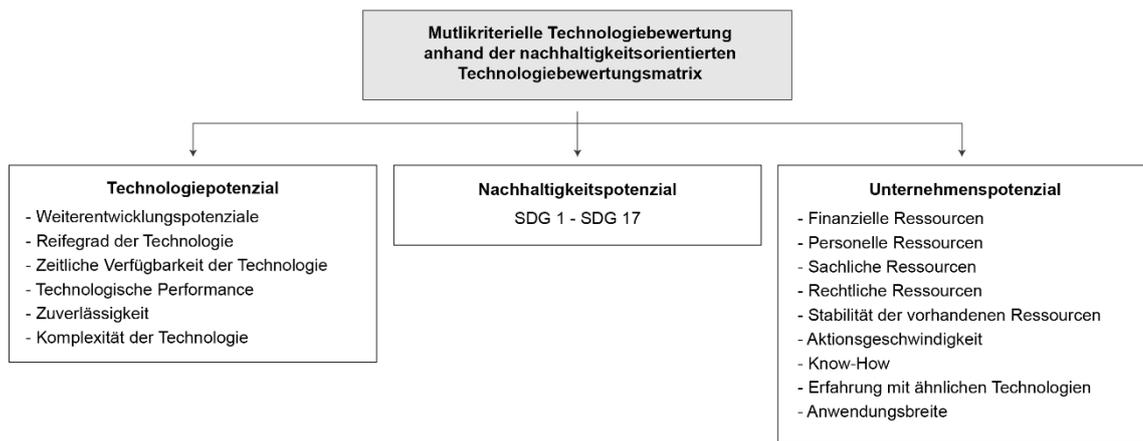


Abbildung 17: Bewertungskriterien der naTech (Eigene Darstellung)

### Bewertungskriterien des Technologiepotenzials

Es existiert eine Vielzahl an Kriterien für die Bewertung von Technologien. Anhang 2 zeigt eine Auswahl von Kriterienklassen und Einzelkriterien der Technologiebewertung innerhalb der Literatur. Sie bilden die Basis für die Bewertungskriterienauswahl des Technologiepotenzials. Innerhalb dieser Dimension werden grundlegende Charakteristika der Technologie untersucht. Diese sind funktional und befassen sich mit spezifischen Attributen der Technologie. Da sich im späteren Verlauf auf das Technologieportfolio nach Pfeiffer et al. bezogen wird, werden Bewertungskriterien der Technologieattraktivität herangezogen und um weitere, in der Literatur genannte Kriterien, ergänzt. Die Bewertungskriterien des Technologiepotenzials sind unternehmensagnostisch, d. h. generisch und unternehmensunspezifisch. Somit wird eine objektive Bewertung der Technologien hinsichtlich des Technologiepotenzials gewährleistet, die industrieunabhängig zum Einsatz kommen kann (siehe Tabelle 10).

Potenzialdimension	Bewertungskriterien
<b>Technologiepotenzial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weiterentwicklungspotenziale → <i>Umfang der technologischen Weiterentwicklungsmöglichkeiten, bspw. durch Leistungssteigerung oder Kostenreduktion</i></li> <li>• Reifegrad der Technologie → <i>Technologische Reife zur wirtschaftlichen Anwendbarkeit der Technologie</i></li> <li>• Zeitliche Verfügbarkeit der Technologie → <i>Verfügbarkeit der Technologie generell und situationsbezogen, bspw. die Sicherung des Zugriffs auf die Technologie zu einem bestimmten Zeitpunkt</i></li> <li>• Technologische Performance → <i>Abgleich Nutzen und Aufwand bei Implementierung der Technologie</i></li> <li>• Zuverlässigkeit → <i>Ausmaß der allgemeinen Verlässlichkeit der Technologie hinsichtlich der Funktionalität</i></li> <li>• Komplexität der Technologie → <i>Höhe des Schwierigkeitsgrads der Technologie, bspw. hinsichtlich des Verständnisses, das für die Umsetzung der Technologie benötigt wird. Eine hohe Bewertung ist gleichzusetzen mit einem geringen Schwierigkeitsgrad</i></li> </ul>

Tabelle 10: Bewertungskriterien des Technologiepotenzials (Eigene Darstellung)

## Bewertungskriterien des Nachhaltigkeitspotenzials

Ziel der Bewertung des Nachhaltigkeitspotenzials ist es, Technologien hinsichtlich ihres Beitrags zur Erreichung nachhaltiger Unternehmensziele zu untersuchen. Demnach müssen die nachhaltigen Unternehmensziele mit den zu evaluierenden Technologien abgeglichen werden. Im Rahmen der *naTech* werden hierfür die SDGs, als transnational und global geltende Nachhaltigkeitsziele herangezogen. Dies begründet sich darin, dass heutzutage die nachhaltigen Unternehmensziele meist an den SDGs orientiert sind (Holtmann et al., 2022, S. 141). Dementsprechend dienen die 17 SDGs als Bewertungskriterien des Nachhaltigkeitspotenzials, die unabhängig von Industrie und Unternehmensgröße angewendet werden können.

Die Evaluation des Nachhaltigkeitspotenzials beinhaltet zum einen die Betrachtung der Relevanz der SDGs für das Unternehmen. Dies spiegelt die Sichtweise der nachhaltigen Unternehmensziele wider und wird über die Gewichtung der Bewertungskriterien abgebildet. Zum anderen wird über die Potenzialabschätzung der Bewertungskriterien festgelegt, inwiefern die Technologien zur Erreichung bestimmter SDGs beitragen. So kann die Höhe des Nachhaltigkeitspotenzials der Technologie und dessen Beitrag zur Erreichung der nachhaltigen Unternehmensziele evaluiert werden. Nachfolgend ist die Auflistung der SDGs als Bewertungskriterien in der Dimension des Nachhaltigkeitspotenzials zu finden (siehe Tabelle 11).

Dimension	Bewertungskriterien
Nachhaltigkeitspotenzial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SDG 1: Keine Armut</li> <li>• SDG 2: Kein Hunger</li> <li>• SDG 3: Gesundheit und Wohlergehen</li> <li>• SDG 4: Hochwertige Bildung</li> <li>• SDG 5: Geschlechtergleichheit</li> <li>• SDG 6: Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen</li> <li>• SDG 7: Bezahlbare und saubere Energie</li> <li>• SDG 8: Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum</li> <li>• SDG 9: Industrie, Innovation und Infrastruktur</li> <li>• SDG 10: Weniger Ungleichheiten</li> <li>• SDG 11: Nachhaltige Städte und Gemeinden</li> <li>• SDG 12: Nachhaltige/r Konsum und Produktion</li> <li>• SDG 13: Maßnahmen zum Klimaschutz</li> <li>• SDG 14: Leben unter Wasser</li> <li>• SDG 15: Leben an Land</li> <li>• SDG 16: Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen</li> <li>• SDG 17: Partnerschaften zur Erreichung der Ziele</li> </ul> <p>→ <i>Beeinflussung und Auswirkung auf SDG 1 bis SDG 17 durch die Technologie</i></p>

*Tabelle 11: Bewertungskriterien des Nachhaltigkeitspotenzials (Eigene Darstellung mit direkt zitierten Inhalten nach Vereinte Nationen 2022, Abschnitt 3)*

## Bewertungskriterien des Unternehmenspotenzials

Die Dimension des Unternehmenspotenzials untersucht, inwieweit das Unternehmen das Potenzial besitzt, die Technologien umzusetzen. Die Kriterien orientieren sich an der Dimension der Ressourcenstärke und der Technologieattraktivität des

Technologieportfolios nach Pfeiffer et al. Sie sind unternehmensabhängig und stellen somit beeinflussbare Größen dar. Die Bewertungskriterien des Unternehmenspotenzials umfassen technische, wirtschaftliche, personelle und rechtliche Kriterien zur Realisierbarkeit der Technologie (siehe Tabelle 12).

Dimension	Bewertungskriterien
<b>Unternehmenspotenzial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finanzielle Ressourcen</li> <li>• Personelle Ressourcen</li> <li>• Sachliche Ressourcen</li> <li>➔ <i>Verfügbarkeit von finanziellen, personellen und sachlichen Ressourcen zur Implementierung der Technologie</i></li>   <li>• Rechtliche Ressourcen</li> <li>➔ <i>Verfügbarkeit von rechtlichen Ressourcen, um Technologie rechtlich zu schützen und Wettbewerbsvorsprung zu halten</i></li>   <li>• Stabilität der vorhandenen Ressourcen</li> <li>➔ <i>Kontinuierliche Verfügbarkeit der vorhandenen Ressourcen bei Implementierung der Technologie</i></li>   <li>• Aktionsgeschwindigkeit</li> <li>➔ <i>Reaktionsgeschwindigkeit verglichen zur Konkurrenz, um Weiterentwicklungspotenzial der Technologie auszuschöpfen</i></li>   <li>• Know-How</li> <li>➔ <i>Verfügbares, technologisches Wissen zur Implementierung der Technologie</i></li>   <li>• Erfahrung mit ähnlichen Technologien</li> <li>➔ <i>Umfang technologischer Erfahrung innerhalb des Unternehmens mit ähnlichen, technologischen Fachbereichen</i></li>   <li>• Anwendungsbreite</li> <li>➔ <i>Anzahl potenzieller Einsatzbereiche der Technologie im Unternehmen</i></li>   <li>• Akzeptanz der Technologie im Unternehmen</li> <li>➔ <i>Höhe der Akzeptanz der Technologie im Unternehmen</i></li>   <li>• Kompatibilität mit anderen Technologien</li> <li>➔ <i>Anzahl potenzieller, positiver und negativer Auswirkungen mit bestehenden Systemen im Unternehmen</i></li> </ul>

Tabelle 12: Bewertungskriterien des Unternehmenspotenzials (Eigene Darstellung)

### 5.3.1.2 Gewichtung der Bewertungskriterien

Die festgelegten Bewertungskriterien sind als generischer Kriterienkatalog bei der Durchführung der *naTech* zu beachten und unterliegen der Notwendigkeit einer Gewichtung hinsichtlich ihrer Relevanz. Diese ergibt sich aus der Wichtigkeit der Kriterien für das Unternehmen und dessen Interessensgruppen.

Im Kontext der Nutzwertanalyse wird eine Gewichtung vorgeschlagen, bei der die Summe der Kriteriengewichtungen 100 ergibt (Haag et al., 2011, S. 328). Von dieser wird sich im Rahmen der vorliegenden Arbeit bewusst distanziert und stattdessen auf eine Gewichtung anhand des Skalenniveaus einer Ordinalskala zurückgegriffen, die mit vier Skalenpunkten die Präferenz bzw. Relevanz des Kriteriums für das Unternehmen über die Gewichtung ( $c_i$ ) verdeutlicht. Dabei bewertet das Unternehmen ein Kriterium

als *unwichtig*, *wichtig* oder *sehr wichtig*. Eine Bewertung mit null ist für Kriterien vorgesehen, die *außerhalb des Geltungsbereichs* liegen, d. h. keinerlei Relevanz für das Unternehmen haben. Eine solche Gewichtung dient Kriterien, die keinen Einfluss auf die Bewertung haben (siehe Tabelle 13).

Gewichtung der Bewertungskriterien ( $c_i$ )	Beschreibung
0	Eine Bewertung mit 0 steht für außerhalb des Geltungsbereichs
1	Eine Bewertung mit 1 steht für unwichtig
2	Eine Bewertung mit 2 steht für wichtig
3	Eine Bewertung mit 3 steht für sehr wichtig

Tabelle 13: Skalenniveau der Bewertungskriteriengewichtung (Eigene Darstellung)

Für die Durchführung der Bewertung werden ausschließlich die Kriterien, die eine Gewichtung von eins bis drei erhalten, in die Berechnung der Dimensionspotenziale einbezogen. Kriterien mit einer Gewichtung von null bleiben bei der Bewertung ungeachtet. Demnach ist die Anzahl der Kriterien je Potenzialdimension dynamisch und abhängig von der Gewichtung der Kriterien.

Zusammenfassend bilden die Definition der Kriterien und dessen Gewichtung den Bewertungsrahmen, der als Basis der nachfolgenden Bewertung dient.

### 5.3.2 Durchführung der Bewertung

Basierend auf dem Bewertungsrahmen findet die Technologiebewertung mit Hilfe der *naTech* statt, um systematische und aussagekräftige Bewertungsergebnisse zu ermöglichen. Die Nutzwertanalyse bietet sich aufgrund ihrer einfachen Anwendung und des hohen Informationsgehalts an. Als methodisches Vorgehen der multikriteriellen Bewertung können so sowohl technologische, als auch nachhaltigkeits- und unternehmensbezogene Kriterien Einzug in die Bewertung finden.

Konkret werden die gewichteten und bewerteten Kriterien durch die Addition der Produkte der kriterienspezifischen Gewichtung und dessen Potenzialbewertung zu Dimensionspotenzialen, d. h. zu einem Technologie-, Nachhaltigkeits- und Unternehmenspotenzial je Technologie zusammengefasst, relativiert und anschließend in ein Handlungsportfolio übertragen.

Die Bewertung der Kriterien findet, wie auch die Gewichtung der Bewertungskriterien, über eine Ordinalskala statt. Mit sechs Skalenpunkte ist diese geeignet, um genaue Informationen über die Technologien darzustellen (Haag et al., 2011, S. 329). Demnach wird der Erfüllungsgrad eines Kriteriums durch die Technologie als *sehr schlecht*, *schlecht*, *gut* oder *sehr gut* bewertet. Darüber hinaus kann sich eine Technologie ebenfalls *neutral* oder *hinderlich* gegenüber einem Kriterium verhalten. Eine *neutrale* Bewertung wird über eine eins abgebildet, wobei angenommen wird, dass eine *sehr schlechte* Erfüllung eines Bewertungskriteriums immerhin mit der Mühe zur Erfüllung

diesem zusammenhängt und somit bessergestellt als eine *neutrale* Bewertung ist. Wird ein Kriterium mit *hinderlich* bewertet, dann bedeutet dies, dass die Technologie negative Auswirkungen auf das Kriterium besitzt.

Mit dem vorgegeben Skalenniveau zur Potenzialabschätzung ist eine detaillierte Möglichkeit zur Bewertung der Technologien gegeben. Die verwendete Likert-Skala ermöglicht eine aussagekräftige Potenzialabschätzung, wie gut eine Technologie das zu bewertende Kriterium beeinflusst. Es wird bewusst von negativen Potenzialwerten abgesehen, da keine Hierarchie in der negativen Bewertung ermöglicht werden soll. Wird eine Technologie innerhalb eines Kriteriums als *hinderlich* bewertet, so ist dies immer grundsätzlich als negativ zu interpretieren, ohne eine Unterteilung zu welchem Grad bzw. wie stark die Technologie das Kriterium negativ beeinflusst. Dadurch wird verhindert, zwischen einer stark und weniger stark hinderlichen Technologie zu wählen.

Für jede Technologie wird demnach eine Potenzialabschätzung mit Potenzialwerten ( $k_{ij}$ ) der Bewertungskriterien durchgeführt (siehe Tabelle 14).

Potenzialwerte zur Bewertung der Kriterien ( $k_{ij}$ )	Beschreibung
0	Eine Bewertung mit 0 steht für hinderlich
1	Eine Bewertung mit 1 steht für neutral
2	Eine Bewertung mit 2 steht für sehr schlecht
3	Eine Bewertung mit 3 steht für schlecht
4	Eine Bewertung mit 4 steht für gut
5	Eine Bewertung mit 5 steht für sehr gut

Tabelle 14: Skalenniveau der Potenzialbewertung (Eigene Darstellung)

Zur Vereinfachung der Anwendung der *naTech* in der Praxis wird ein Ansatz impliziert, bei dem die Potenzialwerte ( $k_{ij}$ ) des Technologiepotenzials für die digitalen Technologien bereits industriespezifisch erarbeitet sind und Unternehmen beim Einsatz der *naTech* vorausgefüllt zur Verfügung gestellt werden. Unternehmen können dann die Gewichtung ( $c_i$ ) der Bewertungskriterien unternehmensindividuell anpassen. Dies trifft auch auf die Bewertung des Nachhaltigkeitspotenzials der Technologien zu, bei dem die Potenzialwerte ( $k_{ij}$ ) hinsichtlich der Bewertungskriterien extern zur Verfügung gestellt werden, um den unternehmensinternen Aufwand bei der Verwendung der *naTech* gering zu halten. Die daraus resultierenden Vorteile sind eine hohe Objektivität, eine einfache Anwendung sowie eine hohe Zeitersparnis.

Innerhalb der *naTech* werden die Technologien mit den gewichteten Bewertungskriterien mit Hilfe einer einheitlichen Matrix gegenübergestellt und bewertet. Dies stellt die *naTech* dar (siehe Tabelle 15).

Nachhaltigkeitsorientierte Technologiebewertungsmatrix (naTech)							
Potenzialwerte	Gewichtung	Gewichtung ( $c_i$ )	Technologie 1	Technologie 2	...	...	Technologie $j$
0: hinderlich 1: neutral 2: sehr schlecht 3: schlecht 4: gut 5: sehr gut	0: außerhalb des Geltungsbereichs 1: unwichtig 2: neutral 3: wichtig						
<b>Technologiepotenzial (<math>T_i</math>)</b>							
Weiterentwicklungspotenzial		1	2	$k_{ij}$	...	...	...
Reifegrad der Technologie		3	3	...	...	...	...
Zeitliche Verfügbarkeit der Technologie		2	4	...	...	...	...
Technologische Performance		...	...	...	...	...	...
Zuverlässigkeit der Technologie		...	...	...	...	...	...
Komplexität der Technologie		...	...	...	...	...	...
<b>Technologiepotenzial</b>							
$P_{T,j} = \sum_{i=1}^{n_T} c_i * k_{ij}$			$P_{T,j}$	...	...	...	...
<b>Relativiertes Technologiepotenzial</b>							
$R_{T,j} = \frac{P_{T,j}}{n_T}$			$R_{T,j}$	...	...	...	...
<b>Nachhaltigkeitspotenzial (<math>N_i</math>)</b>							
SDG 1: Keine Armut		...	...	...	...	...	...
SDG 2: Kein Hunger		...	...	...	...	...	...
SDG 3: Gesundheit und Wohlergehen		...	...	...	...	...	...
SDG 4: Hochwertige Bildung		...	...	...	...	...	...
SDG 5: Geschlechtergleichheit		...	...	...	...	...	...
SDG 6: Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen		...	...	...	...	...	...
SDG 7: Bezahlbare und saubere Energie		...	...	...	...	...	...
SDG 8: Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum		...	...	...	...	...	...
SDG 9: Industrie, Innovation und Infrastruktur		...	...	...	...	...	...
SDG 10: Weniger Ungleichheiten		...	...	...	...	...	...
SDG 11: Nachhaltige Städte und Gemeinden		...	...	...	...	...	...
SDG 12: Nachhaltige/r Konsum und Produktion		...	...	...	...	...	...
SDG 13: Maßnahmen zum Klimaschutz		...	...	...	...	...	...
SDG 14: Leben unter Wasser		...	...	...	...	...	...
SDG 15: Leben an Land		...	...	...	...	...	...
SDG 16: Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen		...	...	...	...	...	...
SDG 17: Partnerschaften zur Erreichung der Ziele		...	...	...	...	...	...
<b>Nachhaltigkeitspotenzial</b>			$P_{N,j}$	...	...	...	...
<b>Relativiertes Nachhaltigkeitspotenzial</b>			$R_{N,j}$	...	...	...	...
<b>Unternehmenspotenzial (<math>U_i</math>)</b>							
Finanzielle Ressourcen		...	...	...	...	...	...
Personelle Ressourcen		...	...	...	...	...	...
Sachliche Ressourcen		...	...	...	...	...	...
Rechtliche Ressourcen		...	...	...	...	...	...
Stabilität der vorhandenen Ressourcen		...	...	...	...	...	...
Aktionsgeschwindigkeit		...	...	...	...	...	...
Know-How		...	...	...	...	...	...
Erfahrung mit ähnlichen Technologien		...	...	...	...	...	...
Anwendungsbreite		...	...	...	...	...	...

Akzeptanz der Technologie im Unternehmen	...	...	...	...	...	...
Kompatibilität mit anderen Technologien	...	...	...	...	...	...
<b>Unternehmenspotenzial</b>		$P_{U,j}$	...	...	...	...
<b>Relativiertes Unternehmenspotenzial</b>		$R_{U,j}$	...	...	...	...

Tabelle 15: Nachhaltigkeitsorientierte Technologiebewertungsmatrix (Eigene Darstellung)

Die Potenzialbewertung findet über eine Multiplikation der kriterienspezifischen Gewichtung ( $c_i$ ) mit den in den Zellen eingetragenen kriterienspezifischen Potenzialwerten ( $k_{ij}$ ) statt. Die Potenzialwerte selbst basieren auf der Informationssammlung über die Technologien innerhalb des zweiten Schritts des integrativen Technologiebewertungsmodells und der Einschätzung des Unternehmens innerhalb des Unternehmenspotenzials. Über die einzelnen Dimensionspotenziale können die Technologien pro Dimension verglichen und priorisiert werden. Die Anzahl der Bewertungskriterien variiert dabei je Dimension. Nachfolgende Rechenschritte sind zur Berechnung der Dimensionspotenziale notwendig (siehe Formel 1, Formel 2, Formel 3).

$$P_{T,j} = \sum_{i=1}^{n_T} c_i * k_{ij}$$

Formel 1: Technologiepotenzial je Technologie (Eigene Darstellung)

$$P_{N,j} = \sum_{i=1}^{n_N} c_i * k_{ij}$$

Formel 2: Nachhaltigkeitspotenzial je Technologie (Eigene Darstellung)

$$P_{U,j} = \sum_{i=1}^{n_U} c_i * k_{ij}$$

Formel 3: Unternehmenspotenzial je Technologie (Eigene Darstellung)

$c_i$	Gewichtungsfaktor je Kriterium (0 – 3)
$i$	Zeilennummer
$j$	Spaltennummer
$k_{ij}$	Potenzialwert je Technologie und Kriterium (1 – 5)
$n$	Anzahl der Bewertungskriterien je Potenzialdimension
$n_N$	Anzahl der Bewertungskriterien des Nachhaltigkeitspotenzials
$n_T$	Anzahl der Bewertungskriterien des Technologiepotenzials
$n_U$	Anzahl der Bewertungskriterien des Unternehmenspotenzials
$N$	Nachhaltigkeitspotenzial
$P_{N,j}$	Nachhaltigkeitspotenzial je Technologie
$P_{T,j}$	Technologiepotenzial je Technologie
$P_{U,j}$	Unternehmenspotenzial je Technologie
$T$	Technologiepotenzial
$U$	Unternehmenspotenzial

Aufgrund der unterschiedlichen Anzahl an Bewertungskriterien je Potenzialdimension spielt die Relativierung der Dimensionspotenziale eine wichtige Rolle, um ein valides Ergebnis der Bewertung zu gewährleisten und die einzelnen Dimensionspotenziale vergleichen und in ein Handlungsportfolio übertragen zu können. Zur Relativierung wird beispielhaft der Rechenweg für das Technologiepotenzial aufgezeigt. Dieser muss analog für das Unternehmens- und Nachhaltigkeitspotenzial ausgeführt werden (siehe Formel 4).

$$R_{T,j} = \frac{P_{T,j}}{n_T}$$

$R_{T,j}$  Relativiertes Technologiepotenzial je Technologie

$P_{T,j}$  Technologiepotenzial je Technologie

$n_T$  Anzahl der Bewertungskriterien des Technologiepotenzials

Formel 4: Relativierung des Technologiepotenzials (Eigene Darstellung)

Die Berechnung des relativierten Dimensionspotenzials ergibt ein Ergebnis zwischen null und 15. Dies erklärt sich durch die Multiplikation der maximalen Gewichtung eines Bewertungskriteriums (*sehr wichtig* = „3“) mit der maximalen Potenzialbewertung (*sehr gut* = „5“). Addiert man die Produkte aller gewichteten und bewerteten Kriterien innerhalb einer Dimension, ergibt sich das Dimensionspotenzial. Die Division des Dimensionspotenzials durch die Anzahl der Bewertungskriterien der Dimension zeigt, dass das maximale, relativierte Dimensionspotenzial 15 beträgt. Die Rechnung wird beispielhaft am Technologiepotenzial aufgezeigt (siehe Tabelle 16).

Nachhaltigkeitsorientierte Technologiebewertungsmatrix (naTech)							
Potenzialwerte	Gewichtung	Gewichtung ( $c_i$ )	Technologie 1	Technologie 2	...	...	Technologie j
0: hinderlich 1: neutral 2: sehr schlecht 3: schlecht 4: gut 5: sehr gut	0: außerhalb des Geltungsbereichs 1: unwichtig 2: neutral 3: wichtig						
<b>Technologiepotenzial (<math>T_i</math>) – Anzahl der Bewertungskriterien <math>n_T=6</math></b>							
Weiterentwicklungspotenzial	1	2	5	...	...	...	
Anwendungsbreite	3	3	4	...	...	...	
Akzeptanz der Technologie im Unternehmen	2	4	1	...	...	...	
Kompatibilität mit anderen Technologien	3	1	5	...	...	...	
Zeitliche Verfügbarkeit der Technologie	2	5	3	...	...	...	
Technologische Performance	2	4	2	...	...	...	
<b>Technologiepotenzial</b>		40	44		...	...	
<b>Relativiertes Technologiepotenzial</b>		<b>40/6 = 6,7</b>	<b>44/6 = 7,4</b>		...	...	

Tabelle 16: Beispielhafte Berechnung des relativierten Technologiepotenzials (Eigene Darstellung)

Zusammenfassend werden innerhalb der multikriteriellen Bewertung basierend auf dem Bewertungsrahmen der *naTech* relativierte Dimensionspotenziale gebildet, um eine

Aussage über die Priorisierung der Technologien für das Unternehmen innerhalb der einzelnen Dimensionen zu treffen. Somit entsteht das Bewertungsergebnis der *naTech*.

### 5.3.3 Ableitung der Handlungsempfehlung

Basierend auf der *naTech* und den gewonnenen Bewertungsergebnissen kann nun abschließend im dritten Schritt des integrativen Bewertungsmodells die Handlungsempfehlung hinsichtlich einer Technologie abgeleitet werden. Zur Unterstützung der Entscheidung und strategischen Planung wird auf eine visuelle Darstellung der Bewertungsergebnisse zurückgegriffen. Hierfür eignet sich ein Handlungsportfolio, angelehnt an das Technologieportfolio nach Pfeiffer et al. (siehe Kapitel 3.2.2.8), als bewährte Methode zur Visualisierung der in einer Nutzwertanalyse gewonnen Ergebnisse (Bullinger, 1994, S. 166; Haag et al., 2011, S. 319 & 322).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist eine Anpassung des Technologieportfolios nach Pfeiffer et al. notwendig. Das Grundgerüst des Technologieportfolios kann herangezogen werden. Dieses ist jedoch hinsichtlich der *naTech* zu adaptieren. Nachfolgend werden die Anpassungen kurz beschrieben.

**Abweichende Achsen:** Anders als das Technologieportfolio nach Pfeiffer et al., dass über zwei Achsen eine Bewertung der Technologien zulässt, sind im Rahmen der *naTech* drei Dimensionen, das Technologie-, Nachhaltigkeits- und Unternehmenspotenzial, zu beachten. Aus diesem Grund findet eine Anpassung der Achsen statt. Angelehnt an die Cluster-Bildung des Digitalisierungs- und Nachhaltigkeitsgrads von Unternehmen nach Griese et al. (siehe Kapitel 2.3.1), beinhaltet das Handlungsportfolio der *naTech* auf der vertikalen Achse das Nachhaltigkeitspotenzial und auf der Horizontalen das Technologiepotenzial. Das Unternehmenspotenzial wird über den Kreisdurchmesser der Technologien visualisiert, wobei ein großer Durchmesser mit einem hohen Unternehmenspotenzial gleichzusetzen ist.

**Abweichende Skalen:** Die Vier-Punkte-Skala des Technologieportfolios nach Pfeiffer et al. ermöglicht die Aufstellung einer Vier-mal-vier-Matrix innerhalb des Portfolios und der Zuordnung der einzelnen Quadranten zu jeweiligen Normstrategien. Dies ist auch für die *naTech* sinnvoll, allerdings kann die Bewertung Ergebnisse auf einer Skala von null bis 15 annehmen. Folglich wird auf den Grundaufbau der Matrix nach Pfeiffer et al. zurückgegriffen, dieser jedoch durch das Skalenniveau der *naTech* erweitert. Der Maßstab des Portfolios entspricht dann dem relativierten Dimensionspotenzial.

**Sonder- bzw. Randfälle:** Pfeiffer et al. geben in ihrem Technologieportfolio Normstrategien an. Technologien können hier bspw. eine hohe Technologieattraktivität haben, jedoch eine geringe Ressourcenstärke. Damit fallen sie in den Bereich des Desinvestierens, da ein hoher Investitionseinsatz nötig ist, um die Ressourcenposition

zu optimieren, was als sinnfrei erachtet wird (Baum et al., 2008, S. 266). Die Interpretation der Normstrategien ist eindeutig und lässt wenig Spielraum. Aufgrund der abweichenden Achsen des Handlungsportfolios der *naTech* unterscheidet sich dies maßgeblich vom Technologieportfolio nach Pfeiffer et al. Es liegt eine differierende Interpretation, basierend auf den drei Potenzialdimensionen der *naTech*, vor. Demnach sind innerhalb des Handlungsportfolios der *naTech* Entscheidungen nur möglich, wenn ein eindeutiges Ergebnis vorliegt, damit der Nachhaltigkeitsgedanke der *naTech*, dessen eigentliche Zielsetzung, nicht verfehlt wird. Vor diesem Hintergrund werden die Bereiche der Normstrategien klarer getrennt. Die Anpassung der Normstrategien erfolgt über die Anpassung der Matrix des Portfolios, wobei die Quadranten neu zu den Normstrategien zugeordnet werden. Zur eindeutigen Interpretation der Ergebnisse werden die Grenzpunkte der Normstrategien gedrückt, d. h. zu kleineren Werten innerhalb der Matrix verschoben. Randfälle, bspw. dass eine Technologie mit hohem Nachhaltigkeits- und kleinem Technologiepotenzial schon in den Bereich des selektiven Vorgehens fällt, können so vermieden werden. Die Normstrategien des Handlungsportfolios der *naTech* sagen aus, ob eine Technologie aussortiert, abgewägt oder selektiert wird (siehe Abbildung 18). Somit werden zu erreichende Anspruchsniveaus für die einzelnen Dimensionen festgelegt (siehe Kapitel 3.1.1).

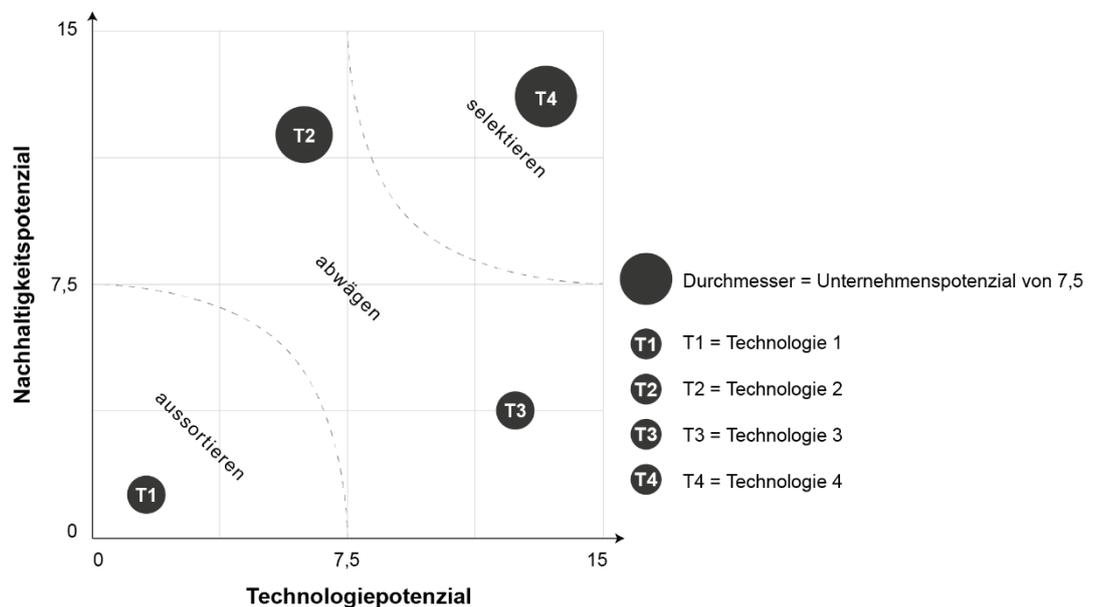


Abbildung 18: Handlungsportfolio der *naTech* (Eigene Darstellung)

Die Normstrategien sind als richtungsweisende Verhaltensrichtlinien zu verstehen, die situationsspezifisch angepasst und in Handlungsempfehlungen übertragen werden. Sie helfen Unternehmen, konkrete Entscheidungen über die Technologieauswahl zu treffen. Nachfolgend findet eine Beschreibung der Normstrategien der *naTech* statt.

## Aussortieren

Technologien, die in diesen Bereich fallen, können jeweils ein Nachhaltigkeits- und Technologiepotenzial von maximal 7,5 annehmen, jedoch nicht gleichzeitig. Dies bringt beide Potenziale in einen Zusammenhang und zeigt, dass ein hohes Dimensionspotenzial mit einem anderen, kleinen Dimensionspotenzial einhergehen kann. Technologien, die in den Bereich des Aussortierens fallen, besitzen ein vergleichsweise geringes Nachhaltigkeits- und Technologiepotenzial. Sie leisten weder einen hohen Beitrag zu Erreichung der nachhaltigen Unternehmensziele noch sind sie aus technologischer Sichtweise zielführend. Aus diesem Grund sind Technologien in diesem Bereich für das Unternehmen unattraktiv.

Ein Beispiel hierfür ist Technologie 1. Die Interpretation des Handlungsportfolios zeigt, dass das Unternehmenspotenzial zu gering ist, um die Technologie erfolgreich umzusetzen. Darüber hinaus sind das Technologie- sowie Nachhaltigkeitspotenzial sehr klein, d. h. eine Implementierung der Technologie führt zu keinem langfristigen Vorteil zur Unterstützung der nachhaltigen Unternehmensziele (siehe Abbildung 19).

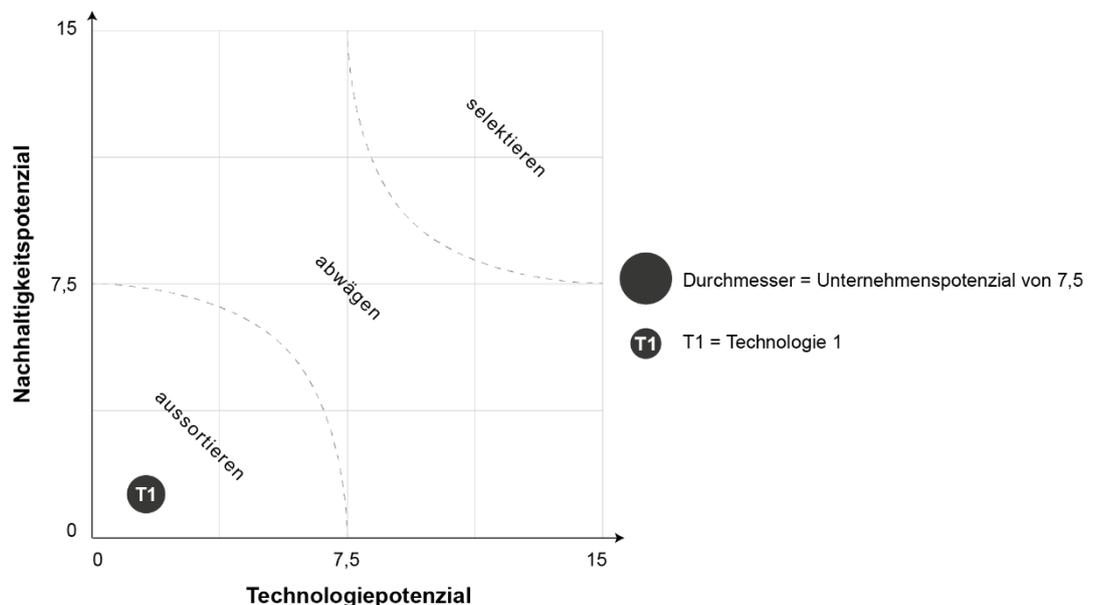


Abbildung 19: Normstrategie „Aussortieren“ des Handlungsportfolios der naTech (Eigene Darstellung)

## Abwägen

Innerhalb des Bereichs des Abwägens muss eine Differenzierung zwischen Technologien, die ein hohes bzw. niedriges Nachhaltigkeitspotenzial oder hohes bzw. niedriges Technologiepotenzial besitzen, stattfinden. Da die *naTech* in erster Linie auf eine erfolgreiche Unterstützung der nachhaltigen Unternehmensziele durch die Technologie ausgelegt ist, sind Technologien, die ein hohes Nachhaltigkeits- und geringes Technologiepotenzial besitzen, vom Unternehmen als tendenziell gut zu bewerten. Eine Implementierung ist demnach sinnvoll, hängt jedoch vom

entsprechenden Unternehmenspotenzial ab. Ist dieses niedrig, ist ein interner Mehraufwand notwendig, was gegen die Technologie spricht und anders herum. Im Fall eines geringen Nachhaltigkeits- und hohen Technologiepotenzials ist zu betrachten, ob die Technologie einen Vorteil für die Digitalstrategie oder technologischen Ziele des Unternehmens bietet. Ein Beitrag zu den nachhaltigen Unternehmenszielen ist jedoch nicht gewährleistet, womit die Technologie als tendenziell schlecht im Rahmen der *naTech* bewertet wird. Von einer Selektion wird abgeraten.

Ein Beispiel in diesem Bereich ist Technologie 2, die ein hohes Nachhaltigkeits- und Unternehmenspotenzial besitzt. Auch wenn das Technologiepotenzial nur mittelmäßig ist, wird die Technologie als gut bewertet, d. h. das Unternehmen besitzt die Ressourcen und die Technologie das Nachhaltigkeitspotenzial, die nachhaltigen Unternehmensziele zu fördern. Aus diesem Grund ist die Implementierung der Technologie sinnvoll. Ein weiteres Beispiel für diesen Bereich ist Technologie 3, die ein vergleichsweise geringes Unternehmenspotenzial besitzt. Im Gegensatz zum Nachhaltigkeitspotenzial ist das Technologiepotenzial hoch. Dennoch leistet die Technologie einen zu geringen Beitrag zu Erreichung der nachhaltigen Unternehmensziele und wird im Rahmen der *naTech* für Unternehmen als unattraktiv eingestuft (siehe Abbildung 20).

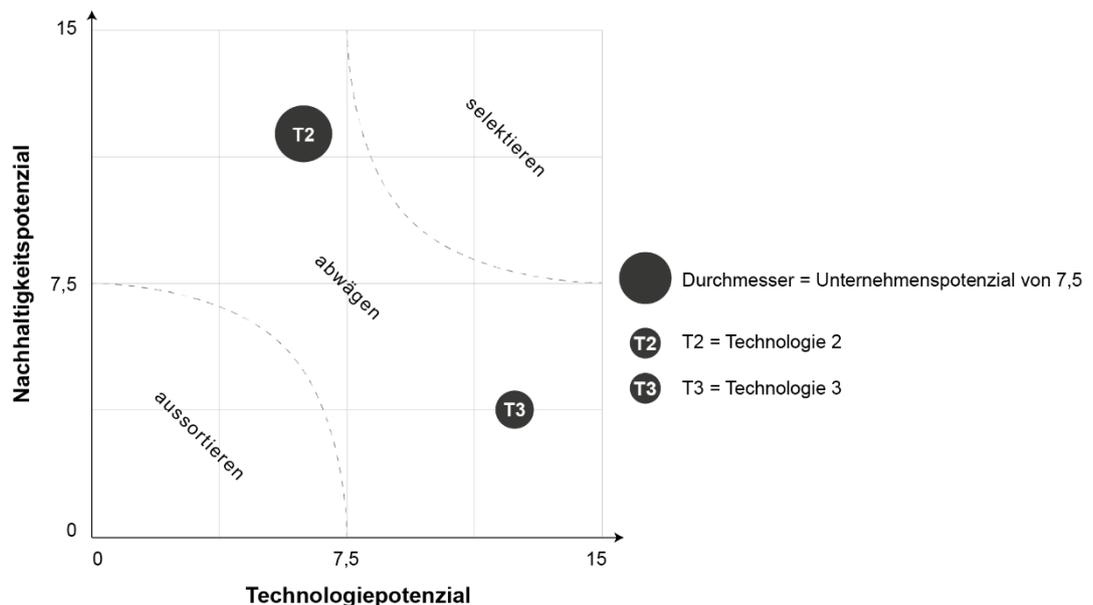


Abbildung 20: Normstrategie „Abwägen“ des Handlungsportfolios der *naTech* (Eigene Darstellung)

## Selektieren

Technologien, die in den Bereich des Selektierens fallen, besitzen ein Nachhaltigkeits- und Technologiepotenzial über 7,5. Verglichen mit den anderen zwei Normstrategien können Technologien im Bereich des Selektierens die höchsten Werte innerhalb des Nachhaltigkeits- und Technologiepotenzials annehmen. Dies bedeutet, dass Technologien die in diesen Bereich fallen, eine hohe Attraktivität für das Unternehmen besitzen. Die Implementierung von diesen Technologien ist sinnvoll und wird als sehr

gut bewertet. Die Prüfung des Unternehmenspotenzials zeigt, ob ausreichend interne Ressourcen vorhanden sind. Der Mehraufwand zur Implementierung der Technologien bei unzureichendem Unternehmenspotenzial lohnt sich dennoch.

Ein Beispiel für diesen Bereich zeigt Technologie 4. Sie besitzt ein hohes Nachhaltigkeits- und Technologiepotenzial sowie ein mittelmäßiges Unternehmenspotenzial. Trotz des mit der Implementierung der Technologie verbundenen Mehraufwands für das Unternehmen, bleibt Technologie 4 die beste Wahl verglichen zu Technologie 1, Technologie 2 und Technologie 3 (siehe Abbildung 21).

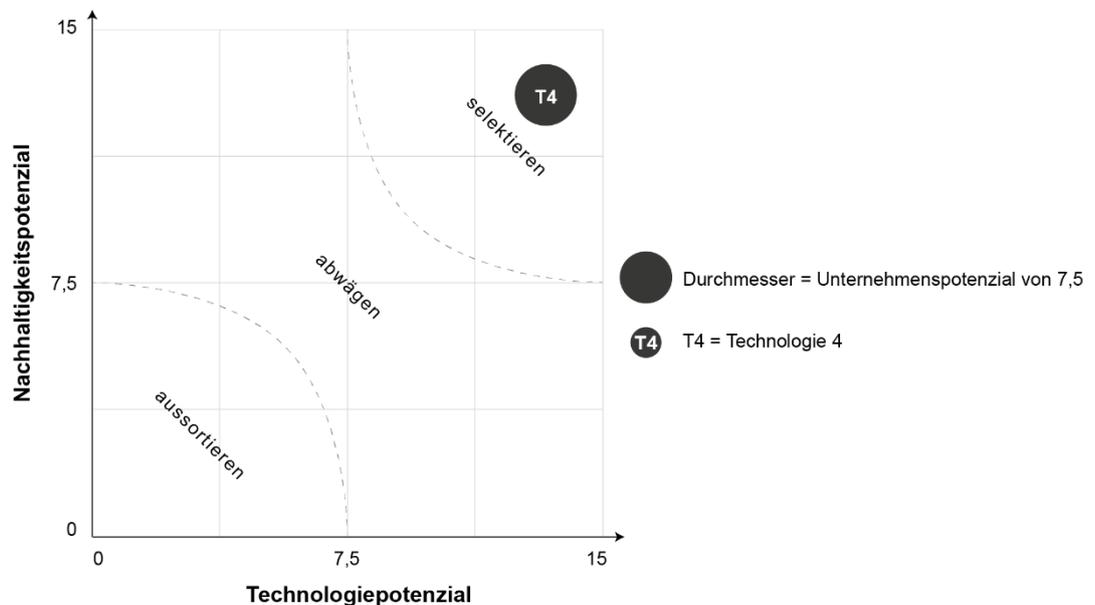


Abbildung 21: Normstrategie „Selektieren“ des Handlungsportfolios der naTech (Eigene Darstellung)

### 5.3.4 Überblick und Zusammenfassung

Eine abschließende Zusammenfassung der Vorgehensweise der multikriteriellen Bewertung der *naTech* zeigt Abbildung 22. Dabei wird ersichtlich, dass die *naTech* alle wesentlichen Grundsteine besitzt, die bei der Anwendung einer praxisorientierten, nachhaltigkeitsbezogenen Technologiebewertung relevant sind.

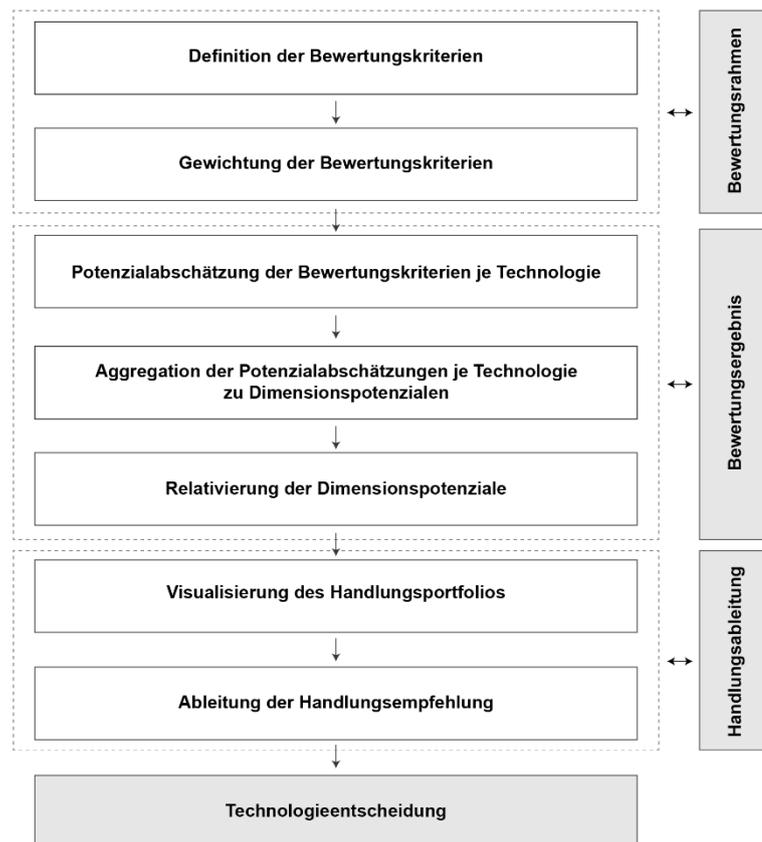


Abbildung 22: Überblick der Vorgehensweise der naTech (Eigene Darstellung)

Die Definition der Bewertungskriterien je Potenzialdimensionen ermöglicht neben einer nachhaltigkeitsorientierten Bewertung die Integration relevanter, interner Faktoren des Unternehmens, bspw. Ressourcen und Fähigkeiten, sowie Informationen über die Technologien selbst. Die Gewichtung der Bewertungskriterien spiegelt die Interessen des Unternehmens wider und findet je Potenzialdimension statt. Anschließend folgt die multikriterielle Bewertung. Innerhalb des Technologie- und Nachhaltigkeitspotenzials werden Rechercheaufwände der Informationssammlung über die Technologien gering gehalten, indem die Potenzialabschätzung bereits vorausgefüllt, industriespezifisch zur Verfügung gestellt wird. Ausnahme stellt die Potenzialabschätzung des Unternehmenspotenzials dar. Diese muss vom Unternehmen definiert werden. Mit der Relativierung der Dimensionspotenziale werden die Potenzialdimensionen vergleichbar. Das abschließende Handlungsportfolio der *naTech* visualisiert die gewonnen Erkenntnisse aus der Potenzialbewertung und hilft Entscheidungsträgern bei der Auswahl von Technologien. Demnach werden die Bewertungsergebnisse mit Hilfe des Handlungsportfolios in Handlungsempfehlungen durch die Normstrategien überführt, um eine fundierte Technologieentscheidung zu treffen.

Abschließend zeigt der Abgleich des Handlungsbedarfs (siehe Kapitel 4.3) mit dem integrativen Technologiebewertungsmodell, dass dieser erfüllt ist. Ausnahme ist die Bestimmung des Zukunftspotenzials der Technologien (siehe Tabelle 17).

Handlungsbedarf	Beschreibung	Ergebnis
✓ <b>Bewertungsmodell mit adäquaten Analyseelementen</b>	Entwicklung eines strukturierten Bewertungsmodells zur Technologiebewertung für den Einsatz in Unternehmen mit passenden Analyseelementen aus dem Methodenportfolio.	Definition des integrativen Bewertungsmodells inklusive der <i>naTech</i> mit Analyseelementen der Nutzwertanalyse und dem Technologieportfolio.
✓ <b>Bearbeitung einer komplexen Problemstellung mit eindeutigem Ergebnis</b>	Ermöglichung der Bearbeitung einer komplexen Problemstellung, d. h. der Nachhaltigkeitsbewertung von Technologien. Erarbeitung eines eindeutigen und validen Ergebnisses mit Hilfe der Technologiebewertung.	Problemstellung ist definiert als die fehlende Nachhaltigkeitsbewertung von Technologien. Ziel ist die Unterstützung der nachhaltigen Unternehmensziele durch digitale Technologien, was durch die Bewertung der Technologien mit Hilfe der <i>naTech</i> untersucht werden kann.
✓ <b>Multikriterielle Bewertung</b>	Systematische Bewertung der Technologien anhand diverser, im Vorhinein definierter Kriterien zur Erfüllung der Anforderung einer mehrdimensionalen Entscheidung.	Festlegung der Bewertungskriterien je Potenzialdimension, teilweise vorausgefüllt von externer Quelle bewertet, um Aufwand bei Anwendung für das Unternehmen gering zu halten.
✓ <b>Integration der Nachhaltigkeitsbewertung</b>	Nachvollziehbare Bewertung des Beitrags der Technologien zur Erreichung und Unterstützung der nachhaltigen Unternehmensziele.	Verwendung der SDGs als Bewertungskriterien, Gewichtung seitens des Unternehmens spiegelt nachhaltige Unternehmensziele wider.
✗ <b>Bestimmung der zukünftigen Entwicklung</b>	Integration von Elementen bzw. Methoden der Technologiefolgenabschätzung, um zukünftige Entwicklungen der Technologie und dessen Einsatz zu identifizieren.	Bestimmung des Zukunftspotenzials sowie Eintragung in das Handlungsportfolio zur Entscheidungsunterstützung.

Tabelle 17: Abgleich des Handlungsbedarfs mit dem Bewertungsmodell (Eigene Darstellung)

## 6 Bestimmung des Zukunftspotenzials

Um die Lücke des Handlungsbedarfs hinsichtlich des Zukunftspotenzials zu schließen, wird im folgenden Kapitel Fokus auf die Bestimmung der zukünftigen Entwicklung von Technologien innerhalb der *naTech* gelegt.

Bisher spiegelt die Bewertung der Technologien innerhalb der *naTech* den gegenwärtigen Zeitpunkt bei Durchführung der Matrix wider. Dies bedeutet, dass die Technologien zum aktuellen Zeitpunkt hinsichtlich ihres gegenwärtigen Potenzials betrachtet werden. Nicht beachtet wird dabei jedoch, wie sich die Technologien zukünftig entwickeln. Dieser Faktor beeinflusst die Technologiebewertung und -entscheidung jedoch maßgeblich. Das Zukunftspotenzial hilft, die zukünftige Entwicklung der Technologien zu bestimmen. Ziel ist es, die Technologie auszuwählen, die nicht nur kurz-, sondern langfristig einen strategischen Vorteil zur Unterstützung der nachhaltigen Unternehmensziele bietet.

Aus diesem Grund wird, basierend auf der Vorgehensweise der *naTech*, eine einfache, schnell anwendbare und praxisorientierte Methode zur Bestimmung des Zukunftspotenzials vorgestellt. Die bereits bekannten Potenzialdimensionen der *naTech* dienen als Grundlage, wobei alle Vorgehensschritte aus Kapitel 5.3.2 erneut durchlaufen werden, jedoch unter Berücksichtigung eines vorher definierten, zukünftigen Zeithorizonts. Dieser ist angelehnt an Schallmo & Lohse, vom Unternehmen in Abhängigkeit von der Industrie und den Unternehmensumständen zu definieren und unternehmensindividuell (Schallmo & Lohse, 2020, S. 92).

Die definierten Bewertungskriterien des gegenwärtigen Zeitpunkts werden je Potenzialdimension gewichtet und je Technologie bewertet, jedoch mit Beachtung des definierten Zeithorizonts von bspw. fünf Jahren. Somit wird das Zukunftspotenzial innerhalb der Potenzialdimensionen bestimmt. Äquivalent zur gegenwärtigen *naTech* kann die Potenzialabschätzung des Technologie- und Nachhaltigkeitspotenzials bereits vorab extern zur Verfügung gestellt werden. Anschließend werden die Dimensionspotenziale relativiert und in das bereits existierende Handlungsportfolio übertragen. Diese Übertragung des Zukunftspotenzials in das bestehende Handlungsportfolio ist möglich, da auf die existierenden Bewertungskriterien und gleichbleibenden Potenzialdimensionen sowie deren Bewertungsmechanismus zurückgegriffen wird. Die Visualisierung findet dabei als Pfeile statt, welche die zukünftige Entwicklung der Technologien verdeutlichen (siehe Abbildung 23).

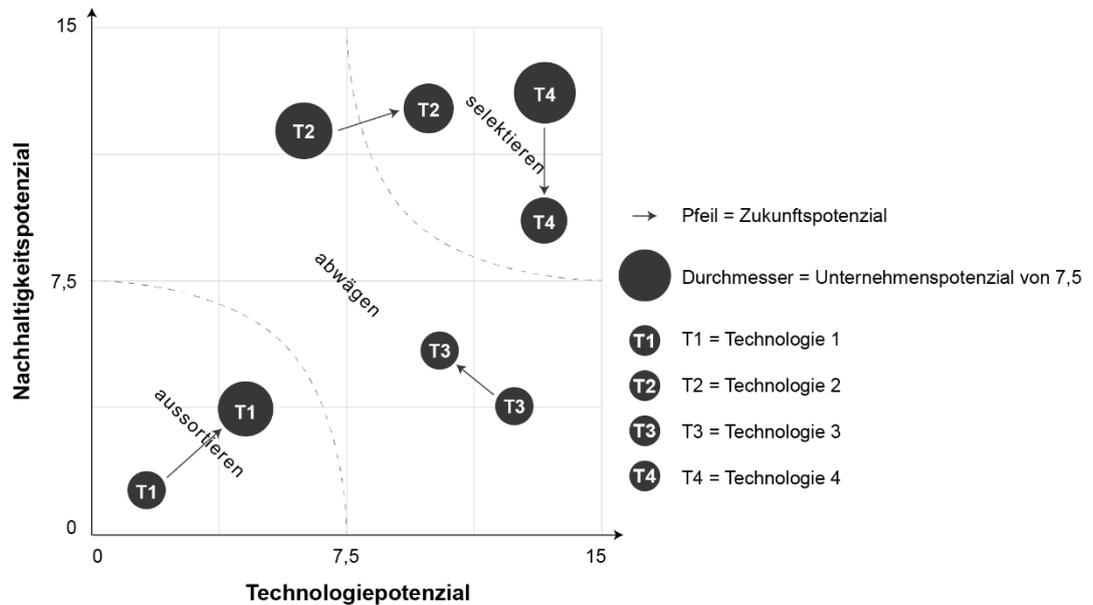


Abbildung 23: Zukunftspotenzial der naTech (Eigene Darstellung)

Anhand Abbildung 23 wird ersichtlich, dass das Zukunftspotenzial die Technologieentscheidung beeinflusst. Während Technologie 1 für das Unternehmen weiterhin unattraktiv bleibt, obwohl das Technologie-, Nachhaltigkeits- und Unternehmenspotenzial steigt, tauschen Technologie 2 und Technologie 4 nun hinsichtlich ihrer Priorisierung für das Unternehmen die Platzierung. Beide Technologien verlieren an Unternehmenspotenzial, jedoch gewinnt Technologie 2 an Nachhaltigkeits- und Technologiepotenzial. Technologie 4 hingegen verliert an Nachhaltigkeitspotenzial. Technologie 3 bleibt angesichts des Unternehmenspotenzials gleich, verbessert sich in Bezug zur Nachhaltigkeit und verschlechtert sich innerhalb des Technologiepotenzials. Technologie 3 ist, verglichen zu Technologie 2 und Technologie 4, unattraktiv. Schlussfolgernd ist Technologie 2 die beste Option für das Unternehmen und ist bei der Technologieentscheidung im Rahmen der *naTech* auszuwählen.

Die beschriebene Vorgehensweise stellt eine Möglichkeit zur Bestimmung des Zukunftspotenzials dar. Eine weitere, komplexere und ausführlichere Methode zur Bestimmung des Zukunftspotenzials kann über die Szenario-Bildung erfolgen (siehe Kapitel 3.2.2.7). Diese ermöglicht eine detaillierte Beschreibung künftiger Entwicklungen der Technologie. Eine Vorgehensweise zur Bildung von Szenarien im Unternehmensumfeld stellen Schallmo & Lohse im Kontext der Definition einer Digitalstrategie vor. Demnach hängt der Betrachtungshorizont bei der Szenario-Bildung vom Unternehmen und der Industrie ab und kann bspw. fünf oder zehn Jahre betragen. Zur Bildung der Szenarien werden relevante Einflussfaktoren der Makro- und Mikro-Umwelt herangezogen. Es folgt eine Prognose der zukünftigen Entwicklung der Einflussfaktoren über definierte Kriterien, die folgend vorgestellt werden (Schallmo & Lohse, 2020, S. 92).

- **Zukünftige Ausprägung:** Ableitung einer oder mehrerer, zukünftiger Ausprägungen des Einflussfaktors.
- **Zukünftige Eintrittswahrscheinlichkeit:** Festlegung einer potenziellen Eintrittswahrscheinlichkeit der Ausprägung.
- **Zukünftiger Einfluss:** Bestimmung des zukünftigen Einflusses der Ausprägung auf das Unternehmen.
- **Zukünftige Priorität:** Festlegen der zukünftigen Priorität des Einflussfaktors mit Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeit und des Einflusses.

Aus den Einflussfaktoren und den Ausprägungen „wird nun ein Optionenraum in Form eines morphologischen Kastens erstellt“ (Schallmo & Lohse, 2020, S. 92). Darauf basierend werden drei bis fünf kohärente Szenarien aus den Kombinationen relevanter und passender Ausprägungen erstellt. Abschließend werden Szenarien gebildet, welche die Ausprägungen in logischer Kombination verbinden (Schallmo & Lohse, 2020, S. 92).

Äquivalent zur Szenario-Bildung nach Schallmo & Lohse können die definierten Bewertungskriterien der *naTech* als Einflussfaktoren herangezogen werden. Die Ausprägungen, Eintrittswahrscheinlichkeit, der Einfluss und die Priorität nach Schallmo & Lohse werden je Bewertungskriterium und Technologie betrachtet, um anschließend die zukünftigen Ausprägungen und Eintrittswahrscheinlichkeiten so dazustellen, dass Szenarien je Technologie gebildet werden können.

Die Szenario-Bildung stellt eine gründliche, jedoch sehr aufwendige Möglichkeit zur Bestimmung des Zukunftspotenzials dar. Im Rahmen der *naTech* wird daher auf die praxisorientierte, erstere vorgestellte Variante zur Bestimmung des Zukunftspotenzials zurückgegriffen.

## 7 Fallstudie zur Anwendung der Technologiebewertungsmatrix

Um die praktische Anwendbarkeit der *naTech* zu überprüfen, wird im folgenden Kapitel die Technologiebewertung mit Hilfe der *naTech* am Beispiel eines Architekturbüros durchgeführt. Zu Beginn werden das Architekturbüro und dessen nachhaltige Unternehmensziele näher beschrieben. Im Anschluss findet die Erläuterung relevanter Technologietrends der Baubranche, ausgewählt vom Architekturbüro, statt. Diese werden für das Architekturbüro mit der *naTech* bewertet, wobei ebenfalls das Zukunftspotenzial bestimmt wird, um eine fundierte Technologieentscheidung zu treffen.

### 7.1 Vorgehensweise der Fallstudie

Eine Fallstudie untersucht ein Phänomen in seiner natürlichen Umgebung, wobei mehrere Methoden der Datenerfassung eingesetzt werden können, um Informationen von einer oder mehreren Einheiten zu sammeln (Benbasat & Goldstein, 1987, S. 370). Im Kontext der vorliegenden Arbeit wird auf die Fallstudie als qualitative Methode zur Prüfung und Anwendung der *naTech* innerhalb eines realen Praxisbeispiels zurückgegriffen. Orientiert an der Fallstudienforschung nach Benbasat et al. wird eine Einzelfallprüfung anhand eines Unternehmens durchgeführt (Benbasat & Goldstein, 1987, S. 373). Die Datenerhebung stützt sich auf Dokumente des Unternehmens und Interviews mit dem Geschäftsführer (siehe Anhang 3.1), wodurch eine Daten-Triangulation gesichert wird (Benbasat & Goldstein, 1987, S. 374 f.).

Die Vorgehensweise zur Durchführung der Fallstudie legt den Fokus auf den dritten Schritt des integrativen Technologiebewertungsmodells. Vorgelagerte Schritte greifen auf unternehmensinterne Informationen zurück, wie die bereits definierten, nachhaltigen Unternehmensziele, Unternehmensinformationen sowie vom Unternehmen in Betracht gezogene, digitale Technologien. Die Vorgehensweise umfasst die Erstellung eines Kurzprofils des Architekturbüros, gefolgt von der Beschreibung der nachhaltigen Unternehmensziele sowie der Erläuterung relevanter Technologien. Anschließend findet die Anwendung der *naTech* sowie die Bestimmung des Zukunftspotenzials statt, um schließlich Handlungsempfehlungen und eine Entscheidungsunterstützung hinsichtlich der Technologien zu gewährleisten (siehe Abbildung 24).

Voraussetzung: Nachhaltigkeitsziele und unternehmensbezogene Informationen werden gestellt.

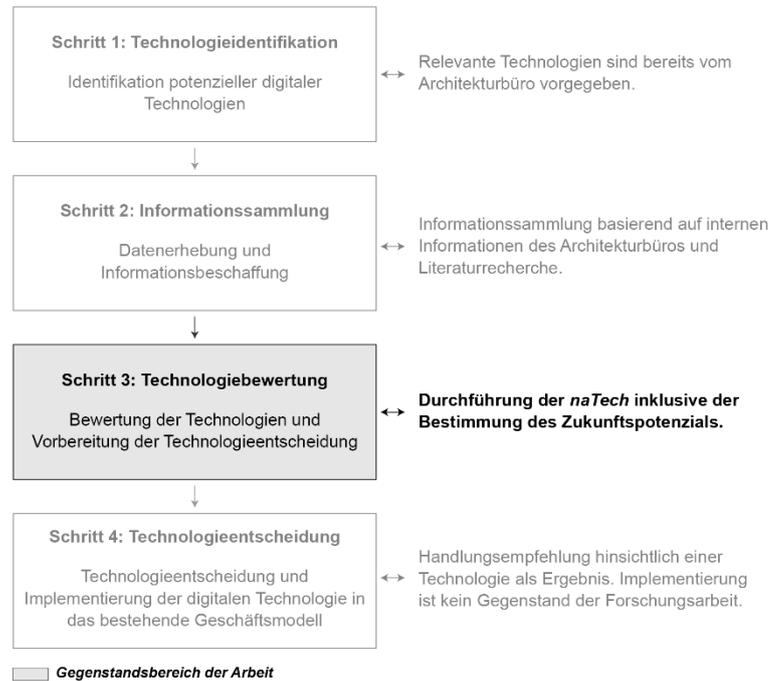


Abbildung 24: Vorgehensweise des Bewertungsmodells im Kontext der Fallstudie (Eigene Darstellung)

Der finale Schritt des integrativen Technologiebewertungsmodells, der die Technologieentscheidung und Implementierung der empfohlenen Technologie in das bestehende Geschäftsmodell zum Inhalt hat, wird im Rahmen der Fallstudie nur bedingt beachtet. Ziel innerhalb der Fallstudie ist es, eine Handlungsempfehlung hinsichtlich einer Technologie auszusprechen. Die tatsächliche Entscheidung und reale Umsetzung innerhalb des Unternehmens bleiben jedoch dem Architekturbüro überlassen und beziehen sich auf einen längeren Zeitraum. Sie fließen deshalb nicht mit in die vorliegende Arbeit ein.

Informationen über das Architekturbüro werden auf Wunsch des Geschäftsführers in der Fallstudie anonymisiert wiedergegeben.

## 7.2 Das Architekturbüro als Praxisbeispiel

Das für die Fallstudie gewählte Architekturbüro in Senden an der Iller wird seit seiner Gründung 1992 vom Geschäftsführer, einem diplomierten Architekten, geleitet. Das Unternehmen ist im Kommunal-, Wohnungs-, Gewerbe- und Städtebau tätig. Zudem ist es spezialisiert für Brandschutz-Vorhaben. Das zehnköpfige Team besteht aus einer Architektin, zwei Bauzeichnern, einer Bauleiterin, den in der Administration beschäftigten Mitarbeiterinnen, Werkstudenten und dem Geschäftsführer, der den Großteil der planerischen Tätigkeiten übernimmt. Die generalistische Arbeitsweise des Planungsteams ermöglicht es, dass sämtliche Fachbereiche in Hochbau, Brandschutz, aber auch

gebäudetechnischer Ausrüstung und Freiraumplanung zum Leistungsangebot des Unternehmens gehören (Architekturbüro MA, 2022, Interview).

Der Fokus des Architekturbüros liegt auf der gewerblichen Planung, wobei Projekte eine durchschnittliche Größe von fünf bis acht Millionen Euro haben. Nach dem Motto „Wir bauen moderne Architektur mit modernen Methoden“ (Architekturbüro MA, 2022, Interview), legt der Geschäftsführer Wert darauf, dass das Unternehmen zeitgemäß agiert. Dies inkludiert v. a. moderne Bauweisen, die in Einklang mit der Umwelt stehen. Das Architekturbüro setzt damit einen Fokus auf eine Art des Bauens, die besonders im Kontext der Nachhaltigkeit zukunftsorientiert ist. Aber auch unternehmensintern wird Fokus auf die Nachhaltigkeit mit Weiterbildungsangeboten und einer menschlichen, offenen und faire Unternehmenskultur gelegt. Dies spiegelt sich auch in den nachhaltigen Unternehmenszielen wider (Architekturbüro MA, 2022, Interview).

### **7.3 Nachhaltige Unternehmensziele**

Das Architekturbüro besitzt bereits definierte, nachhaltige Unternehmensziele (Architekturbüro MA, 2022, Interview). Diese werden für die vorliegende Arbeit vom Unternehmen zur Verfügung gestellt und für die Kriteriengewichtung des Nachhaltigkeitspotenzials der *naTech* herangezogen. Nachfolgend findet eine Beschreibung der nachhaltigen Unternehmensziele des Architekturbüros statt.

#### **7.3.1 Ziel 1: Optimierung unternehmensinterner Prozesse**

Die Baubranche steht „heute unter einem enormen wirtschaftlichen Druck und einer annähernden Vollausslastung“ (Fiedler et al., 2018, S. 96). Zusammen mit politischen Regelungen, führt dies zu der Notwendigkeit einer gesteigerten Effizienz, die im Gebäudebau über den zunehmenden Einsatz von Technik geleistet wird. Verschachtelte Bauabläufe, innovative Bauprozesse und neue Qualitätsstandards rücken in den Vordergrund (Fiedler et al., 2018, S. 96).

Die eingesetzten Techniken und Technologien zur Erfüllung dieser Herausforderungen hängen direkt mit der Digitalisierung der Baubranche zusammen. Die Ergebnisse einer Umfrage zeigen, dass die befragten, deutschen Unternehmen der Baubranche hinsichtlich des Digitalisierungsgrads Optimierungspotenziale sehen, v. a., wenn es um den Einsatz digitaler Lösungen geht (PwC, 2021, S. 9). Diese ermöglichen es jedoch, den genauen und sparsamen Ressourceneinsatz zu planen und hängen direkt mit einer nachhaltigen Bauweise zusammen (Kaufmann & Beringer, 2021, S. 166).

Das Architekturbüro sieht genau hier ein großes Potenzial. Es zielt es darauf ab, durch den Einsatz digitaler Technologien eine effizientere und somit nachhaltigere Projektsteuerung durchzusetzen. Das damit verbundene Unternehmensziel lautet:

→ *Bis 2030 sollen die unternehmensinternen Prozesse digitalisiert und optimiert werden, um einen ökologisch nachhaltigeren Bau und eine nachhaltigere Arbeitsweise zu gewährleisten.*

Mit diesem Unternehmensziel werden v. a. SDG 9 (Industrie, Innovation und Infrastruktur) und SDG 13 (Maßnahmen zum Klimaschutz) adressiert (Vereinte Nationen, 2015, S. 15; 2022, Abschnitt 3).

### 7.3.2 Ziel 2: Klimaneutrale Bauweise

Die Baubranche stellt einen der ressourcenintensivsten Sektoren dar. Neben großen Mengen an Rohstoffen, Metallen, Holz, Glas und anderen Materialien entstehen durch die Sanierung und den Neubau von Gebäuden große Mengen an Abfällen durch Bau und Abbruch (Steger et al., 2022, S. 3). Darüber hinaus birgt die produzierte Menge an Treibhausgasen über den Lebenszyklus eines Gebäudes große Optimierungspotenziale (siehe Abbildung 25). Seit der Änderung des Klimaschutzgesetzes 2021 mit der Zielsetzung der Europäischen Union, erster klimaneutraler Kontinent bis 2050 zu werden, rückt das Thema für den Gebäudesektor stark in den Vordergrund. Bis 2050 wird ein klimaneutraler Gebäudebestand angestrebt, der einen Rückgang der Treibhausgasemissionen um 95 Prozent, verglichen zum Jahr 1990, als Ziel hat (Steinbach et al., 2021, S. 12).

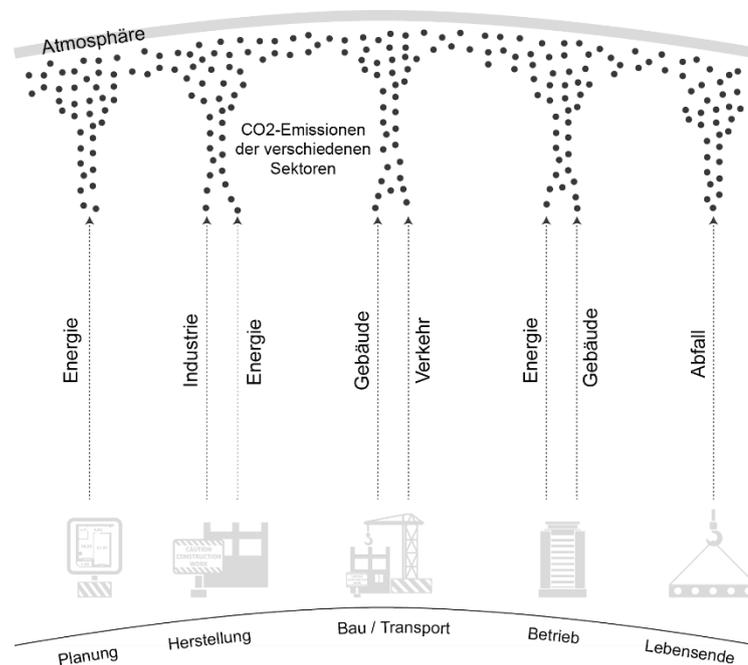


Abbildung 25: Kohlenstoffdioxid-Produktion im Lebenszyklus eines Gebäudes (In Anlehnung an Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen 2022, Abschnitt „Gebäude als Schlüssel zum Klimaschutz“)

Die nachhaltige und effiziente Bauweise ist, nicht zuletzt aufgrund der steigenden Nachfrage nach Wohnraum, von hoher Bedeutung (Kaufmann & Beringer, 2021, S. 166).

Darüber hinaus ist aus ökologischer Sicht neben der Errichtung des Gebäudes auch dessen Nutzung in einer nachhaltigen Art und Weise relevant (Steger et al., 2022, S. 3).

Das Architekturbüro sieht die Potenziale einer ökologisch nachhaltigen sowie klimagerechten und energieeffizienten Bauweise. Aus diesem Grund definiert das Unternehmen das nachhaltige Unternehmensziel wie folgt:

→ *Die Projekte, die vom Architekturbüro geplant werden, sollen bis 2030 einer klimaneutralen Bauweise entsprechen. Dies inkludiert sowohl Sanierungen als auch Neubauten.*

Damit bezieht sich das nachhaltige Unternehmensziel auf SDG 7 (Bezahlbare und saubere Energie), SDG 11 (Nachhaltige Städte und Gemeinden) und SDG 13 (Maßnahmen zum Klimaschutz) (Vereinte Nationen, 2015, S. 15; 2022, Abschnitt 3).

### **7.3.3 Ziel 3: Zukunftsorientierter Arbeitgeber**

Der Einsatz digitaler Lösungen zur Adressierung der Nachhaltigkeitsherausforderung bietet Unternehmen der Baubranche neue Potenziale und Möglichkeiten. Jedoch sehen vier von fünf Unternehmen des Bausektors das fachliche Know-How bzw. den Fachkräftemangel, gefolgt von interner Akzeptanz hinsichtlich der digitalen Lösungen als größte Herausforderung (PwC, 2021, S. 13). Das benötigte Wissen, um den digitalen Trends der Branche zu folgen, erfordert eine hohe Mitarbeiterqualifikation, die durch Trainings- und Weiterbildungsmöglichkeiten zu gewährleistet ist. Bauunternehmen sehen die Beachtung der Nachhaltigkeit in erster Linie als Faktor, um eine höhere Arbeitgeberattraktivität und Mitarbeiterzufriedenheit zu gewährleisten (PwC, 2021, S. 22).

So auch das Architekturbüro der Fallstudie. Dieses möchte ein zukunftsorientierter Arbeitgeber sein, der auf langfristige Vollbeschäftigungen, qualifizierte Mitarbeiter, faire Löhne und eine Gleichstellung der Mitarbeiter abzielt, welche die Herausforderungen einer digital-nachhaltigen Bauweise bewältigen können. Das nachhaltige Unternehmensziel lautet daher wie folgt:

→ *Eine hohe Qualifizierung der im Architekturbüro beschäftigten Mitarbeitenden wird unabhängig von Geschlecht und Rolle gewährleistet sowie faire Arbeitsbedingungen gesichert.*

Damit legt das Architekturbüro Fokus auf SDG 4 (Hochwertige Bildung), SDG 8 (Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum) und SDG 5 (Geschlechtergleichheit) (Vereinte Nationen, 2015, S. 15; 2022, Abschnitt 3).

### **7.3.4 Ziel 4: Gesundheit am Arbeitsplatz**

Gesundheit und Wohlergehen sind Megatrends der heutigen Zeit. Am Arbeitsplatz ist hiermit die Reduktion des langen Sitzens durch einen ergonomischen Arbeitsplatz,

Sportangebote oder eine gesundheitsfördernde Arbeitsatmosphäre gemeint (Zukunftsinstitut, 2022d).

Das Architekturbüro hat diesen Trend erkannt und Investitionen in die Gesundheit und das Wohlergehen der Mitarbeiter als Investitionen in das Unternehmen definiert. Ein ergonomischer Schreibtisch, ein auf die Mitarbeitenden angepasster Bürostuhl sowie Aktiv-Unternehmungen zählen zum Programm des Unternehmens. Das damit verbundene, nachhaltige Unternehmensziel lautet wie folgt:

→ *Die Gesundheit und das Wohlergehen der Mitarbeitenden stehen an oberster Stelle, um eine hohe Arbeitszufriedenheit und langfristige gute Gesundheit der Mitarbeitenden zu sichern.*

Das nachhaltige Unternehmensziel des Architekturbüros befasst sich somit mit SDG 3 (Gesundheit und Wohlergehen) (Vereinte Nationen, 2015, S. 15; 2022, Abschnitt 3).

### **7.3.5 Ziel 5: Nachhaltige Ausschreibungen**

Die Erstellung von Ausschreibungen gehört zum Tätigkeitsfeld eines Architekten. Sie sind im Rahmen öffentlicher Auftragsvergabeverfahren erstellte Aufforderungen an Bauunternehmen und Handwerker, ein Angebot für die in den Ausschreibungen geforderten Leistungen abzugeben (Architekturbüro MA, 2022, Interview). Ausschreibungen müssen fachlich korrekt sein und können Vorschriften zu Grenzwerten oder verbotenen Materialien, bspw. in Bezug auf die Recyclingfähigkeit, enthalten (Wall et al., 2014, S. 5). Die Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in Ausschreibungen dient dazu, die Wahl über die Produkt- und Gebäudequalität zu treffen, um eine rein ökonomische Sichtweise zu minimieren (BMVBS, 2009, S. 1). Demnach sind die vorgegebenen Rahmenbedingungen in den Ausschreibungen determinierend für die erbrachten Leistungen und gewählten Materialien.

Das Architekturbüro legt großen Wert auf nachhaltige Materialien und Leistungen, bspw. in Form von kurzen Transportwegen und geringen Treibhausgasemissionen. Zudem soll der Eingriff bei der Planung in bestehende Ökosysteme möglichst gering gehalten werden, um eine nachhaltige Gemeindebauweise zu fördern. Das nachhaltige Unternehmensziel lautet daher wie folgt:

→ *Die vom Architekturbüro angefertigten Ausschreibungen haben das nachhaltige Bauen als Kerngedanken und zielen darauf ab.*

Das Architekturbüro inkludiert hierbei SDG 6 (Sauberes Wasser und Sanitär-einrichtungen), SDG 7 (Bezahlbare und saubere Energie), SDG 11 (Nachhaltige Städte und Gemeinden), SDG 12 (Nachhaltige/r Konsum und Produktion) und SDG 15 (Leben an Land) (Vereinte Nationen, 2015, S. 15; 2022, Abschnitt 3).

## 7.4 Auswahl digitaler Technologien

Die Auswahl relevanter Technologien, die im Rahmen der *naTech* untersucht werden, basieren auf vorhandenen Interessen des Architekturbüros. Die Durchführung der Technologieidentifikation durch Technologiefrüherkennung bzw. Trendforschung ist daher im Kontext der Fallstudie nicht notwendig. Die vom Architekturbüro in Erwägung gezogenen Technologien spiegeln digitale Trends der Baubranche wider und haben deshalb eine hohe Relevanz für das Unternehmen. Besonderer Fokus liegt auf dem Trend des Building Information Modeling (BIM), welches als wichtigste Innovation in der Gebäudeplanung gilt (Jazzar et al., 2020, S. 1).

Allgemeine Zielsetzung des Unternehmens ist es, eine Synergie der nachhaltigen Unternehmensziele und der potenziellen, digitalen Technologien zu erreichen, um als zukunftsorientiertes Architekturbüro eine Vorreiterstellung, einen langfristigen Wettbewerbsvorteil und einen hohen Beitrag zur Nachhaltigkeit zu leisten (Architekturbüro MA, 2022, Interview).

### 7.4.1 Building Information Modeling

Ein effizientes Ressourcenmanagement ist durch Nachhaltigkeits Herausforderungen wie die Ressourcenknappheit und strengere Verordnungen für Recycling und Ressourceneffizienz von hoher Relevanz für die Bauindustrie und dessen Akteure. Dies inkludiert die Instandhaltung und das Rückbau-Management der Gebäude aufgrund ihrer langen Lebenszyklen. Geschlossene Materialkreisläufe, Sanierungen und Gebäude-modifikationen sind so wichtig wie nie zuvor (Volk et al., 2014, S. 109).

Eine Möglichkeit zur Lösung dieser Herausforderungen stellt BIM dar. BIM ist eine Methode zur Abbildung und Beschreibung der Informationsprozesse über den Lebenszyklus von Gebäuden und der Verbindung von bauprozessrelevanten Informationen mit den jeweiligen Geschäftsprozessen während des Gebäudebaus. Im Grundgedanken soll BIM die Interoperabilität zwischen Softwareanwendungen verbessern, die im Lebenszyklus von Gebäuden, bspw. der Planung, dem Entwurf, der Dokumentation, dem Bau, dem Betrieb, der Wartung und dem Abriss, verwendet werden. Durch BIM kann ein genauer, zuverlässiger, wiederholbarer und hochwertiger Informationsaustausch im Bauprozess gewährleistet werden (International Organization for Standardization, 2016, Nr. 29481-1). Auf Basis eines BIM-Koordinationsmodells, d. h. eines digitalen Modells des Bauwerks, werden alle Prozesse im Lebenszyklus des Bauwerks virtuell dargestellt. Das BIM-Koordinationsmodells fasst die Teilmodelle der Fachdisziplinen zusammen. Somit integriert es neben Informationen zur Abmessung und Lage der Bauteile auch relevante Eigenschaften einzelner Teilbereiche des Gebäudes wie Wärmeeigenschaften. Anhand des BIM-Koordinationsmodells können

virtuelle Simulationen durchgeführt werden, um Unstimmigkeiten von Bauteilen zu identifizieren (Mansfeld, 2022, S. 3). Die Vorteile beim Einsatz von BIM liegen in der Sicherung der Konsistenz in Entwurf und Visualisierung, Kostenschätzungen, Kollisionserkennungen, Lean Construction (dt. schlanke Bauweise) und einer verbesserten Zusammenarbeit (Volk et al., 2014, S. 110).

BIM entwickelt sich zum wichtigen Trend der Bauindustrie und wird in der Praxis häufig mit der Digitalisierung der ganzen Branche gleichgesetzt. Dabei vereint BIM eine Reihe digitaler Technologien, um eine revolutionäre, digitale Zukunft der Bauindustrie zu fördern. Dazu gehören bspw. AR und online Datensätze, die zur Anreicherung des BIM-Koordinationsmodells mit relevanten Informationen verwendet werden. Weitere verwandte bzw. logisch kombinierbare, digitale Technologie stellen KI, der Digital Twin (dt. digitaler Zwilling) sowie virtuelle Kollaborationstools dar, die für das Architekturbüro der Fallstudie interessant sind (Architekturbüro MA, 2022, Interview).

#### **7.4.1.1 Augmented Reality in der Architektur**

Dreidimensionale, digital aufbereitete Visualisierungen gehören heutzutage zum Standard jeden Architekturbüros. In vielen Fällen ersetzen sie den ausgedruckten Plan und ermöglichen es, Bauherren eine genaue Vorstellung des finalen Gebäudes zu vermitteln (Architekturbüro MA, 2022, Interview). AR-Architektur geht darüber hinaus. Hierbei werden dreidimensionale Architekturmodelle mittels eines Smartphones, Tablets oder einer Virtual Reality-Brille auf die reale Welt übertragen oder überlagert (Wang, 2009, S. 311). Die Vorteile zeigen sich in der realistischen Darstellung, bei der die Verhältnisse von Raum, Lage und Ausrichtung klar werden. Das räumliche Vorstellungsvermögen wird so verbessert (Wang, 2009, S. 317). Somit hat sich AR zu einer der wichtigsten Visualisierungstechnologien in der Bauindustrie entwickelt. Durch die Anwendung von AR-Architektur können Fertigstellungszeiten verkürzt sowie Montagefehler und Gesamtaufgabenbelastungen reduziert werden (Wang et al., 2014, S. 458 f.). Auch die Integration und Synergie von BIM und AR birgt viele Möglichkeiten. Es entstehen neue Formen der Visualisierung, Navigation und Interaktion im Gebäudebau. Über die Geometrieinformationen hinweg können Design-Spezifikationen, Marketing-Anforderungen, Kundenpräferenzen und Wartungsinformationen integriert werden (Wang et al., 2014, S. 459).

**Bezug zur Fallstudie:** Der Geschäftsführer des Architekturbüros ist engagiert, ein BIM-System zu integrieren und nimmt an BIM-Schulungen sowie Vorträgen teil. Der Zusammenhang zwischen BIM und AR wird von ihm als relevant und zukunftsweisend gesehen. In erster Linie besteht das Interesse des Architekturbüros in der Technologie AR in Form von Modellen, um virtuelle Rundgänge auf der Baustelle zu ermöglichen,

wodurch Fehler und Verzögerungen vermieden sowie die Verschwendung von Ressourcen identifiziert werden (Architekturbüro MA, 2022, Interview).

#### **7.4.1.2 Künstliche Intelligenz in der Stadtplanung**

Die rasante Urbanisierung und Herausforderung städtischer Nachhaltigkeit konfrontieren die Bauindustrie mit der Notwendigkeit zur Innovation. Die bisherige Innovationschwäche des Baugewerbes spiegelt sich in einem stagnierenden Produktivitäts- und Leistungswachstum wider. Um dem entgegen zu wirken, wird zunehmend auf KI zur Rationalisierung von Prozessen und Verbesserung der Produktivität zurückgegriffen. Wesentliche Vorteile sind die Vermeidung von Kostenüberschreitungen, die Verbesserung der Baustellensicherheit und die Sicherung der Effizienz von Projektplänen. Eine Herausforderung bei KI auf der Baustelle stellt die Anreicherung der Algorithmen mit den Daten für das Training der KI dar (Regona et al., 2022, S. 45 f.).

KI definiert sich darüber, dass Aufgaben mit Hilfe von selbststeuernden, mechanischen und elektronischen Geräten, die eine intelligente Steuerung verwenden, automatisch ausgeführt werden. KI beschreibt demnach intelligente Maschinen und Programme, die kognitive Systeme zur Problemlösung nachahmen. Auf der Baustelle kann KI in verschiedenen Formen auftreten, bspw. als Big Data und Analytics oder Robotic und Automation, wobei Machine Learning verwendet wird, um Risiken zu identifizieren oder sich wiederholende Aufgaben zu übernehmen. Des Weiteren kann KI in Daten- und Systemintegration vorkommen, um durch Mustererkennung Inspektionsprozesse zu unterstützen (Regona et al., 2022, S. 5).

**Bezug zur Fallstudie:** Der Wandel zu einer autonomen und digitalen Baustelle durch KI hat viele Anwendungsfälle. Für das Architekturbüro ist KI in der Stadtplanung relevant, wobei KI-basierte Softwarelösungen herangezogen werden, um eine schnelle und wirtschaftliche Bebauung unter Berücksichtigung von Einflussfaktoren wie Bebauungsdichte, Klima, Lärm und Belichtung zu beachten (Architekturbüro MA, 2022, Interview).

#### **7.4.1.3 Online Datenbanken für Baumaterialien**

Im Kontext der Nachhaltigkeit spielen in der Bauindustrie für die Lebenszyklusanalyse von Gebäuden Datenbanken für die Evaluation der Umweltauswirkungen eine Rolle. Diese variieren nach Nutzer, Anwendung, Daten, geografischem Standort und Umfang. Für eine valide Analyse ist es notwendig, die Datenbank zu wählen, die korrekte Entscheidungen für die gegebenen Umstände zulässt (Ortiz et al., 2009, S. 30). Übertragen auf Deutschland und den Kontext des nachhaltigen Bauens kann hierfür das Beispiel der Datenbank „ÖKOBAUDAT“ genannt werden. Sie dient als öffentliche Plattform dazu, vereinheitlichte Ökobilanz-Datensätze über Baumaterialien, Bau-, Transport-, Energie- und Entsorgungsprozessen zur Verfügung zu stellen. Somit kann

der komplette Lebenszyklus eines Gebäudes betrachtet werden. Die über 1.400 Datensätze werden stetig aktualisiert und sind die verbindliche Datenbasis für das Bewertungssystem Nachhaltigen Bauens<sup>2</sup> (BMWBSB, 2022).

**Bezug zur Fallstudie:** Das Architekturbüro sieht den online Datensatz „ÖKOBAUDAT“ als Möglichkeit, dass BIM-Koordinationsmodelle mit entsprechenden Daten zu erweitern, um eine nachhaltige Bauweise zu sichern. Darüber hinaus erspart die Datenbank viel Zeit, die für die Suche von Informationen über die Baumaterialien benötigt wird (Architekturbüro MA, 2022, Interview).

#### 7.4.1.4 Digital Twin des Bauobjekts

Obwohl die Begriffe BIM und Digital Twin in der Literatur häufig synonym verwendet werden, kann eine klare Differenzierung vorgenommen werden. Digital Twins sind digitale Repräsentationen von Gebäuden zum Zweck ihres Betriebs und der Instandhaltung, die auf BIM-Modellen basieren und während der Planung und dem Bau erstellt werden (Sacks et al., 2020, S. 2). Digital Twins sind demnach virtuelle Prototypen bzw. Modelle, die reale Objekte in ihrem Aussehen, dem Inhalt, der Struktur und den Eigenschaften widerspiegeln. Sie ermöglichen es, den realen Betrieb des Objekts durch Simulation zu reflektieren. Ein Digital Twin besteht aus Techniken, Prozessen und Methoden, Digital Twin Models aus Objekten, Modellen und Daten (Wang, 2020, S. 100). Digital Twins können eingesetzt werden, um Echtzeit-Parameter eines Gebäudes zu analysieren und so die Betriebseffizienz zu evaluieren. Aus diesem Grund finden Digital Twins die meiste Anwendung in der Bauindustrie in der Betriebs- und Instandhaltungsphase von Gebäuden (Jazzar et al., 2020, S. 4 f.).

**Bezug zur Fallstudie:** Für das Architekturbüro ist der Digital Twin nicht nur in den Jahren nach dem Bau eines Gebäudes interessant, um potenzielle Probleme durch die Daten des Digital Twins und dessen Analysen zu identifizieren. Das Architekturbüro interessiert sich v. a. für den Digital Twin, um effektive Entscheidungen in der Planung und Gestaltung zu treffen, potenzielle Szenarien zu simulieren und so Verschwendungen im Bauwesen zu reduzieren (Architekturbüro MA, 2022, Interview).

#### 7.4.1.5 Digitale Kollaborationstools

Remote Work, das standortunabhängige Arbeiten, hat nicht zuletzt aufgrund von COVID-19 einen Aufschwung erlebt. Damit verbunden sind digitale Tools zur Kommunikation sowie dem Projekt- und Wissensmanagement, die zunehmend an Relevanz gewinnen (Zukunftsinstitut, 2022g). Was in vielen Branchen mittlerweile Standard ist, kann jedoch nicht auf die Bauindustrie übertragen werden. Baustellen

---

<sup>2</sup> Weiterführende Literatur findet sich unter Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. (2022). Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Abgerufen am 10.10.2022 unter <https://www.oekobaudat.de/home/bewertungssystem-nachhaltiges-bauen-bnb.html>

müssen vor Ort überwacht und große Pläne ausgeplottet werden. Zudem sind die digitale Unterweisung und Kommunikation intern sowie mit Handwerkern heutzutage noch keine gängige Vorgehensweise. Damit verbunden ist ein hoher Zeitaufwand, aufgrund von Fahrtwegen sowie administrativen und operativen Aufwänden (Architekturbüro MA, 2022, Interview). Eine Lösung hierfür sind Management- und Business-Produktivitäts-Tools, welche die Kollaboration und einen besseren Arbeitsablauf fördern sollen. Dazu zählen Miro, Asana, Jira und Slack (Baker, 2021).

**Bezug zur Fallstudie:** Das Architekturbüro möchte seine Kommunikation sowie das kollaborative Arbeiten optimieren. Aktuell wird hierfür das Tool Microsoft Teams in Betracht gezogen. Es wird angestrebt, die interne Kommunikation sowie den Informationsaustausch einfacher und geografisch unabhängig zu gestalten. Des Weiteren wird die Erfahrung gemacht, dass viele Anbieter Trainings über das Tool Teams anbieten, bspw. über die Thematik BIM. Die Einführung des digitalen Kommunikations- und Kollaborationstools kann so Mitarbeitenden den Zugang zu Weiterbildungsmöglichkeiten gewährleisten (Architekturbüro MA, 2022, Interview).

#### 7.4.2 Reifegrad der betrachteten Technologien

Um ein näheres Verständnis über die vom Architekturbüro in Betracht gezogenen, digitalen Technologien zu erlangen, werden diese nachfolgend hinsichtlich ihres Reifegrads mit Hilfe des Gartner Hype Cycles untersucht. Der Hype Cycle wird herangezogen, da dieser Unternehmen relevante Informationen über den Investitionszeitpunkt von Technologien geben kann und aussagt, ob Technologien wirtschaftlich produktiv einsetzbar sind (Grothus et al., 2021, S. 3).

AR wird im Jahr 2017 innerhalb des Gartner Hype Cycles als Technologie eingeschätzt, die fünf bis zehn Jahre vom „Plateau der Produktivität“ entfernt ist. Bereits 2019 ist die Technologie jedoch nicht mehr Teil des Gartner Hype Cycles. Seither wird sie als technologisch ausgereift verstanden und ist somit wirtschaftlich für Unternehmen nutzbar (Grothus et al., 2021, S. 4).

KI hingegen gilt als Technologie, deren Potenzial bislang unausgeschöpft ist und wird daher erst in der Zukunft für den breiten Anwendungsbereich in Unternehmen nutzbar sein (Ulrich & Bachlechner, 2020, S. 49). Die Technologie, v. a. generative und kausale KI, ist Teil des Hype Cycles im Jahr 2022 und damit als aufstrebend und innovativ zu bewerten (Gartner, 2022c).

Der Digital Twin ist im Jahr 2018 bereits auf dem „Gipfel der überzogenen Erwartungen“ innerhalb des Gartner Hype Cycles (Gartner, 2018). Seit 2020 gelten Digital Twins von Objekten als ausgereifte Technologie (Saracco & Henz, 2022, S. 5) und es rücken Digital

Twins von Menschen in den Vordergrund, wie der Hype Cycle des Jahres 2022 zeigt. Dieser inkludiert den Digital Twin eines Kunden als neue Technologie (Gartner, 2022c). Online Datensätze spielen in Bezug auf den Gartner Hype Cycles von 2022 nur eine Rolle im Kontext von Machine Learning. Aus diesem Grund wird die Technologie im Rahmen der Forschung als bereits ausgereift betrachtet (Gartner, 2022c). Dies gilt auch für die virtuellen Kollaborationstools. Schon seit den 1990er-Jahren existieren virtuelle Teams (Mütze-Niewöhner et al., 2021, S. 5 f.).

## 7.5 Anwendung der nachhaltigkeitsorientierten Technologiebewertungsmatrix

Basierend auf den vom Architekturbüro zur Verfügung gestellten Informationen über die nachhaltigen Unternehmensziele und der Auswahl digitaler Technologien findet die Anwendung der *naTech* statt. Die Vorgehensweise gliedert sich in die Gewichtung der Bewertungskriterien, die Potenzialabschätzung der Kriterien je Technologie, gefolgt von der Aggregation der Potenzialabschätzungen zu relativierten Dimensionspotenzialen. Im Anschluss findet die Visualisierung des Handlungsportfolios und die Ableitung der Handlungsempfehlung statt. Um eine langfristig erfolgreiche Technologieentscheidung treffen zu können, wird zudem das Zukunftspotenzial der Technologien evaluiert.

### 7.5.1 Gewichtung der Bewertungskriterien

Die Gewichtung der Bewertungskriterien spiegelt die Interessen und Einschätzungen des Architekturbüros wider. Sie ist subjektiv und kann je nach Unternehmen variieren. Für das Architekturbüro irrelevant erachtete Bewertungskriterien können so aus der Bewertung exkludiert werden, womit eine Variation der Anzahl der Kriterien je Potenzialdimension möglich ist. Nachfolgend ist die Gewichtung der Bewertungskriterien des Technologiepotenzials aufgelistet, deren Erarbeitung in Kollaboration mit dem Geschäftsführer des Architekturbüros stattfindet (siehe Tabelle 18).

Technologiepotenzial	Gewichtung	Begründung
Weiterentwicklungspotenzial	2	Wichtig, da nur Technologien, die sich entwickeln und optimiert werden, vom Architekturbüro in Betracht gezogen werden.
Reifegrad der Technologie	2	Wichtig, da ausgereifte Technologien mit weniger Risiko für das Architekturbüro behaftet sind.
Zeitliche Verfügbarkeit der Technologie	3	Sehr wichtig, da die Verfügbarkeit der Technologie notwendig ist, um sie im Architekturbüro zu implementieren.
Technologische Performance	2	Wichtig, da Technologien einen Mehrwert für das Architekturbüro bringen und einen ausgeglichenen Nutzen verglichen zum Aufwand haben sollen.
Zuverlässigkeit der Technologie	3	Sehr wichtig, da nur zuverlässige Technologien, z. B. im Sinne der konstanten Verfügbarkeit, vom Architekturbüro als relevant erachtet werden.
Komplexität der Technologie	3	Sehr wichtig, da Technologien mit geringer Komplexität für das Architekturbüro besser sind als Technologien, die mit einem hohen Aufwand verbunden sind, um sie anzuwenden.

Tabelle 18: Gewichtung der Kriterien des Technologiepotenzials (Eigene Darstellung)

Neben den Bewertungskriterien des Technologiepotenzials werden die Kriterien des Nachhaltigkeitspotenzial vom Architekturbüro gewichtet (siehe Tabelle 19).

Nachhaltigkeitspotenzial	Gewichtung	Begründung
SDG 1: Keine Armut	0	Unwichtig, da es sich nicht in den nachhaltigen Unternehmenszielen widerspiegelt.
SDG 2: Kein Hunger	0	Unwichtig, da es sich nicht in den nachhaltigen Unternehmenszielen widerspiegelt.
SDG 3: Gesundheit und Wohlergehen	2	Wichtig, siehe Ziel 4.
SDG 4: Hochwertige Bildung	2	Wichtig, siehe Ziel 3.
SDG 5: Geschlechtergleichheit	2	Wichtig, siehe Ziel 3.
SDG 6: Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen	3	Wichtig, siehe Ziel 5.
SDG 7: Bezahlbare und saubere Energie	3	Sehr wichtig, siehe Ziel 2 und Ziel 5.
SDG 8: Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum	3	Sehr wichtig, siehe Ziel 3 und Ziel 4.
SDG 9: Industrie, Innovation und Infrastruktur	2	Wichtig, siehe Ziel 1.
SDG 10: Weniger Ungleichheiten	0	Unwichtig, da es sich nicht in den nachhaltigen Unternehmenszielen widerspiegelt.
SDG 11: Nachhaltige Städte und Gemeinden	3	Sehr wichtig, siehe Ziel 2 und Ziel 5.
SDG 12: Nachhaltig/e Konsum und Produktion	2	Wichtig, siehe Ziel 5.
SDG 13: Maßnahmen zum Klimaschutz	3	Sehr wichtig, siehe Ziel 1, Ziel 2 und Ziel 5.
SDG 14: Leben unter Wasser	0	Unwichtig, da es sich nicht in den nachhaltigen Unternehmenszielen widerspiegelt.
SDG 15: Leben an Land	2	Wichtig, siehe Ziel 5.
SDG 16: Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen	0	Unwichtig, da es sich nicht in den nachhaltigen Unternehmenszielen widerspiegelt.
SDG 17: Partnerschaften zur Erreichung der Ziele	0	Unwichtig, da es sich nicht in den nachhaltigen Unternehmenszielen widerspiegelt.

*Tabelle 19: Gewichtung der Kriterien des Nachhaltigkeitspotenzials (Eigene Darstellung)*

Abschließend findet die Gewichtung der Bewertungskriterien des Unternehmenspotenzials statt (siehe Tabelle 20).

Unternehmenspotenzial	Gewichtung	Begründung
Finanzielle Ressourcen	2	Wichtig, da genügend Geld vorhaben sein muss, um Technologie erfolgreich zu implementieren.
Personelle Ressourcen	3	Sehr wichtig, da nur mit entsprechend vielen Mitarbeitenden eine Implementierung der Technologie sinnvoll ist.
Sachliche Ressourcen	2	Wichtig, da ggf. eine Anschaffung nötig sein könnte, z. B. in Form von neuer Hardware.
Rechtliche Ressourcen	1	Unwichtig, da keine Eigenentwicklung, die rechtlich geschützt werden muss, vom Architekturbüro in Betracht gezogen wird.
Stabilität der vorhandenen Ressourcen	3	Sehr wichtig, da nur bei kontinuierlicher Verfügbarkeit der benötigten Ressourcen die Implementierung der Technologie erfolgreich ist.
Aktionsgeschwindigkeit	2	Wichtig, da für Änderungen oder Neuerungen der Technologie ein schnelles Reaktionsvermögen nötig ist.
Know-How	3	Sehr wichtig, da nur bei entsprechend gutem Know-How die Technologie erfolgreich angewendet werden kann.
Erfahrung mit ähnlichen Technologien	2	Wichtig, da bestehendes, technologisches Wissen ähnlicher Technologien das Verständnis für die neue Technologie erhöhen.

Anwendungsbreite	1	Unwichtig, da Technologie in speziellem Anwendungsfall und Kontext verwendet wird, d. h. keine hohe Anwendungsbreite benötigt.
Akzeptanz der Technologie im Unternehmen	3	Sehr wichtig, da nur mit Akzeptanz der Mitarbeitenden für die neue Technologie, diese auch erfolgreich implementiert wird.
Kompatibilität mit anderen Technologien	1	Unwichtig, da technologische Landschaft in jedem Fall ausgebaut werden muss. Aktuelle Technologien im Architekturbüro sind kein Maßstab.

Tabelle 20: Gewichtung der Kriterien des Unternehmenspotenzials (Eigene Darstellung)

## 7.5.2 Durchführung der Bewertung

Die definierten und gewichteten Bewertungskriterien stellen den Bewertungsrahmen dar, auf dessen Basis die Bewertung der Technologien durchgeführt wird. Die Potenzialabschätzung der Bewertungskriterien des Technologie- und Nachhaltigkeitspotenzials werden innerhalb der Forschungsarbeit vorgegeben. Die Potenzialabschätzung des Unternehmenspotenzials wird vom Geschäftsführer des Architekturbüros ausgefüllt. Diese Vorgehensweise zeigt den idealen Anwendungsfall der *naTech*, wobei die Potenzialabschätzungen der Dimensionen des Technologie- und Nachhaltigkeitspotenzials aus externer Quelle, auf Basis ausgiebiger Recherche, bereits dem Unternehmen zur Verfügung gestellt werden. Die Begründung der Potenzialabschätzungen des Technologie- und Nachhaltigkeitspotenzials sind in Anhang 3.2.1 und Anhang 3.2.2 zu finden. Somit wird eine hohe Objektivität und Zeitersparnis für das Unternehmen gewährleistet. Die Gewichtung der Bewertungskriterien durch das Unternehmen zeigt die Interessenslage des Unternehmens. Die Potenziale und relativierten Potenziale werden über Formel 1, Formel 2, Formel 3 und Formel 4 berechnet (siehe Kapitel 5.3.2) (siehe Tabelle 21).

Die Potenzialabschätzungen dienen v. a. einer beispielhaften Anwendung der *naTech*. Im Einsatz in der Praxis werden hierfür Industrie-Experten benötigt.

Nachhaltigkeitsorientierte Technologiebewertungsmatrix (naTech)							
Potenzialwerte	Gewichtung	Gewichtung ( $c_i$ )	AR	KI	Online Datensätze	Digital Twin	Virtuelle Kollaborationstools
0: hinderlich 1: neutral 2: sehr schlecht 3: schlecht 4: gut 5: sehr gut	0: außerhalb des Geltungsbereichs 1: unwichtig 2: neutral 3: wichtig						
<b>Technologiepotenzial (<math>T_i</math>) – Anzahl der Bewertungskriterien <math>n_T = 6</math></b>							
Weiterentwicklungspotenzial		2	5	5	2	5	2
Reifegrad der Technologie		2	5	3	5	5	5
Zeitliche Verfügbarkeit der Technologie		3	5	3	5	5	5
Technologische Performance		2	4	4	5	4	5
Zuverlässigkeit der Technologie		3	5	3	5	5	5
Komplexität der Technologie		3	4	3	5	4	5
<b>Technologiepotenzial <math>P_{T,j}</math></b>			70	51	69	70	69
<b>Relativiertes Technologiepotenzial <math>R_{T,j}</math></b>			11,7	8,5	11,5	11,7	11,5

<b>Nachhaltigkeitspotenzial (<math>N_i</math>) – Anzahl der Bewertungskriterien <math>n_N = 11</math></b>						
SDG 1: Keine Armut	0	1	1	1	1	1
SDG 2: Kein Hunger	0	1	1	1	1	1
SDG 3: Gesundheit und Wohlergehen	2	1	1	1	1	4
SDG 4: Hochwertige Bildung	2	1	1	1	1	4
SDG 5: Geschlechtergleichheit	2	1	1	1	1	1
SDG 6: Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen	3	1	1	1	1	1
SDG 7: Bezahlbare und saubere Energie	3	3	5	3	5	1
SDG 8: Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum	3	4	4	1	4	4
SDG 9: Industrie, Innovation und Infrastruktur	2	3	5	1	4	4
SDG 10: Weniger Ungleichheiten	0	1	1	1	1	1
SDG 11: Nachhaltige Städte und Gemeinden	3	4	5	3	5	1
SDG 12: Nachhaltige/r Konsum und Produktion	2	3	5	5	5	1
SDG 13: Maßnahmen zum Klimaschutz	3	5	5	4	5	2
SDG 14: Leben unter Wasser	0	1	1	1	1	1
SDG 15: Leben an Land	2	3	4	5	4	2
SDG 16: Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen	0	1	1	1	1	1
SDG 17: Partnerschaften zur Erreichung der Ziele	0	1	1	1	1	1
<b>Nachhaltigkeitspotenzial <math>P_{N,j}</math></b>		75	94	64	92	59
<b>Relativiertes Nachhaltigkeitspotenzial <math>R_{N,j}</math></b>		6,8	8,5	5,8	8,4	5,4
<b>Unternehmenspotenzial (<math>U_i</math>) – Anzahl der Bewertungskriterien <math>n_U = 11</math></b>						
Finanzielle Ressourcen	2	3	2	5	3	4
Personelle Ressourcen	3	3	2	5	3	5
Sachliche Ressourcen	2	3	3	5	3	5
Rechtliche Ressourcen	1	2	2	4	2	3
Stabilität der vorhandenen Ressourcen	3	4	3	5	4	5
Aktionsgeschwindigkeit	2	3	2	5	3	5
Know-How	3	2	2	5	2	4
Erfahrung mit ähnlichen Technologien	2	2	2	4	2	3
Anwendungsbreite	1	4	4	4	4	5
Akzeptanz der Technologie im Unternehmen	3	4	3	5	4	5
Kompatibilität mit anderen Technologien	1	4	3	5	4	5
<b>Unternehmenspotenzial <math>P_{U,j}</math></b>		71	57	111	71	104
<b>Relativiertes Unternehmenspotenzial <math>R_{U,j}</math></b>		6,5	5,2	10	6,5	9,6

Tabelle 21: naTech der Fallstudie (Eigene Darstellung)

Die für die Berechnung der Potenzialdimensionen herangezogene Anzahl der Bewertungskriterien ist abhängig von der Gewichtung der Bewertungskriterien. Kriterien die eine Gewichtung von null haben, fließen nicht in die Bewertung ein, weshalb die Anzahl je Dimension variiert. Folglich werden für das Technologiepotenzial sechs und für das Unternehmenspotenzial elf Kriterien verwendet. Für das Nachhaltigkeitspotenzial wird innerhalb der Potenzialberechnung ausschließlich die Anzahl an Kriterien herangezogen, die vom Architekturbüro im Kontext der nachhaltigen Unternehmensziele als relevant erachtet wird. Die Anzahl der Kriterien des Nachhaltigkeitspotenzials beträgt demnach elf. Zur Vereinfachung der Interpretation der Bewertungsergebnisse wird nachfolgend eine Benennung der Technologien der Fallstudie eingeführt:

- Technologie 1 = T1 = AR
- Technologie 2 = T2 = KI
- Technologie 3 = T3 = Online Datensätze
- Technologie 4 = T4 = Digital Twin
- Technologie 5 = T5 = Virtuelle Kollaborationstools

Die Analyse der Bewertungsergebnisse findet anhand der relativierten Dimensionspotenziale statt. Das Bewertungsergebnis zeigt, dass T1 und T4 das höchste Technologiepotenzial mit einer Bewertung von 11,7 besitzen, gefolgt von T3 und T5 mit einem Potenzial von 11,5. T2 besitzt das geringste Technologiepotenzial mit 8,5, jedoch das höchste Nachhaltigkeitspotenzial mit einer Bewertung von 8,5. Mit einem Nachhaltigkeitspotenzial von 8,4 besitzt T4 die zweitbeste Nachhaltigkeitsbewertung, gefolgt von T1 mit einem Potenzial von 6,8 und T3 mit einer Bewertung von 5,8. Die Technologie mit dem geringsten Nachhaltigkeitspotenzial ist T5 mit 5,4. Hinsichtlich des Unternehmenspotenzials liegt T3 mit einem Potenzial von 10 an erster Stelle, gefolgt von T5 mit einem Unternehmenspotenzial von 9,6. T1 und T3 besitzen ein deutlich niedrigeres Unternehmenspotenzial mit einer Bewertung von 6,5. Die am schlechtesten bewertete Technologie in dieser Dimension ist T2 mit 5,2.

Die Betrachtung der relativierten Dimensionspotenziale zeigt innerhalb der Dimensionen sowie untereinander eine deutliche Schwankung. Die Werte des relativierten Technologiepotenzials liegen zwischen 8,5 und 11,7, womit ersichtlich wird, dass alle Technologien ein relativ hohes Technologiepotenzial besitzen. Ein Vergleich mit dem Nachhaltigkeitspotenzial zeigt, dass das relativierte Dimensionspotenzial hier deutlich geringer ist. Mit einem minimalen Potenzial von 5,4 und einem maximalen Potenzial von 8,5 liegen die Werte im unteren bis mittleren Bereich. Dies verdeutlicht, dass die Technologien hinsichtlich des Nachhaltigkeitspotenzials Optimierungsbedarf besitzen. Die höchsten Schwankungen sind innerhalb des relativierten Unternehmenspotenzials zu beobachten. Vom minimalsten Unternehmenspotenzial mit 5,2 bis zum Höchsten von 10 besteht eine erhebliche Differenz. Die Erklärung hierfür liegt in den vom Architekturbüro bewerteten Kriterien in Kombination mit den Technologien. T3 ist bspw. kostenlos verfügbar, erfordert beinahe kein Know-How für die Bedienung und gliedert sich in die bestehende Systemlandschaft ein, während T2 viel Wissen zur Umsetzung benötigt und mit hohen Kosten verbunden ist. Da die Analyse der Bewertungsergebnisse unzureichend ist, um eine Handlungsempfehlung zu geben, wird im nachfolgenden Schritt das Ergebnis in das Handlungsportfolio der *naTech* übertragen.

### 7.5.3 Ableitung der Handlungsempfehlung

Anhand der Bewertungsergebnisse der *naTech* kann die Handlungsableitung erfolgen, auf dessen Basis die Technologieentscheidung getroffen wird. Hierfür werden die

Ergebnisse der Bewertung der *naTech* in das Handlungsportfolio der *naTech* übertragen (siehe Abbildung 26). Die anschließende Interpretation der Normstrategien ermöglicht eine valide und eindeutige Technologieentscheidung für das Architekturbüro.

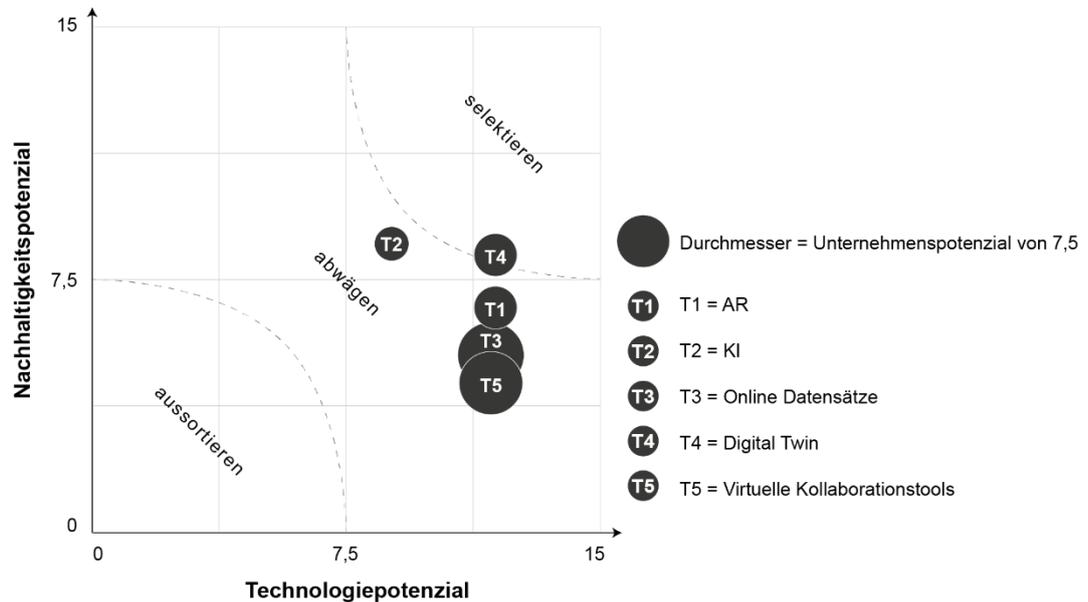


Abbildung 26: Handlungsportfolio der Fallstudie (Eigene Darstellung)

Die Interpretation des Bewertungsergebnisses anhand des Handlungsportfolios der *naTech* zeigt, dass T1, T2, T3 und T5 in den Bereich des Abwägens fallen und dabei tendenziell ein geringes bis mittelmäßiges Nachhaltigkeits- und hohes Technologiepotenzial besitzen. Lediglich T4 grenzt an den Bereich des Selektierens. Auf den ersten Blick ist T4 demnach die für das Architekturbüro im Kontext der *naTech* am besten bewertete Technologie. Nichtsdestotrotz muss eine tiefere Interpretation des Handlungsportfolios stattfinden, um die Technologie zu identifizieren, deren Nachhaltigkeitsbeitrag am besten ist und somit die Zielsetzung der *naTech* erfüllt.

T1 besitzt ein mittleres Unternehmens- und Nachhaltigkeitspotenzial, jedoch zusammen mit T4 das höchste Technologiepotenzial. Als Technologie im Bereich des Abwägens muss T1 dennoch als unzureichend bewertet werden, da verglichen zu T3 und T5, die ein ähnlich hohes Technologiepotenzial besitzen, ein zu geringes Unternehmenspotenzial vorliegt, d. h. das Architekturbüro bspw. zu wenig Ressourcen besitzt, um die Technologie erfolgreich im Unternehmen einzuführen. Auch wenn das Nachhaltigkeitspotenzial von T1 höher als das von T3 und T5 ist, ist dieses geringer als bei T2 und T4. Die Unterstützung der nachhaltigen Unternehmensziele kann durch andere Technologien demnach besser gewährleistet werden.

T2 besitzt das geringste Technologie- und Unternehmenspotenzial, hingegen das höchste Nachhaltigkeitspotenzial. Im Kontext der Nachhaltigkeitsbewertung unterstützt T2 die nachhaltigen Unternehmensziele des Architekturbüros am besten, bedarf jedoch technologischer Entwicklungen für eine erfolgreiche Implementierung im Unternehmen.

Darüber hinaus ist die Technologie mit einem hohen Aufwand für das Architekturbüro verbunden, was die Bewertung des Unternehmenspotenzials zeigt. Im Vergleich zu T1 ist T2 trotz des höheren Nachhaltigkeitspotenzials, aufgrund des geringen Unternehmenspotenzials und dem damit verbunden Mehraufwand, nicht optimal.

T3 ist hinsichtlich des Unternehmenspotenzials am besten aufgestellt und besitzt ein hohes Technologiepotenzial. Das Nachhaltigkeitspotenzial ist jedoch das zweit Schlechteste. Schlussfolgernd ist T3 als ausgereifte Technologie zu sehen, die ohne große Aufwände im Architekturbüro eingesetzt werden kann, da genügend Ressourcen vorhanden sind. Jedoch ist die Implementierung von T3 nicht vor dem Hintergrund der Unterstützung der nachhaltigen Unternehmensziele sinnvoll.

T4 besitzt ein mittleres Unternehmenspotenzial, das höchste Technologiepotenzial neben T1 und das zweithöchste Nachhaltigkeitspotenzial. T4 ist somit die einzige Technologie, die in den Bereich des Selektierens fällt. Auch wenn das Unternehmenspotenzial nur eine mittlere Bewertung aufweist, lohnt sich der unternehmerische Mehraufwand für das Architekturbüro, da T4 sowohl ausreichend technologisches als auch nachhaltigkeitsbezogenes Potenzial besitzt. T4 ist somit die beste Wahl für das Architekturbüro im Rahmen der *naTech*.

T5 weist, wie auch T3, ein hohes Unternehmens- und Technologiepotenzial auf. Hinsichtlich des Nachhaltigkeitspotenzials ist die Technologie jedoch am schlechtesten bewertet. Auch wenn T5 für das Architekturbüro relativ einfach zu implementieren ist und ein hohes, technologisches Potenzial birgt, ist auch hier die Unterstützung der nachhaltigen Unternehmensziele, wie bei T3, unzureichend. Ein Vergleich der zwei Technologien T3 und T5 zeigt, dass T3 die bessere Wahl ist, jedoch beide Technologien hinsichtlich der Nachhaltigkeit Optimierungsbedarf haben.

Nach Vorstellung des Ergebnisses des Handlungsportfolios möchte der Geschäftsführer des Architekturbüros T4 aus Sicht des Nachhaltigkeitspotenzials in Betracht ziehen. Zudem ist T3 aus Sicht des Unternehmenspotenzials relevant, da das Architekturbüro wenig Ressourcen braucht, um die Technologie umzusetzen.

#### **7.5.4 Bestimmung des Zukunftspotenzials**

Die Handlungsempfehlung basierend auf dem Handlungsportfolio gibt dem Architekturbüro die Möglichkeit, auf dem aktuellen Stand der Technologien und den Umständen des Unternehmens eine fundierte Technologieentscheidung zu treffen. Die Implementierung der Technologien im Kontext der nachhaltigen Unternehmensziele erfordert jedoch die Betrachtung zukünftiger Entwicklungen, um zu bestimmen, welche Technologie strategisch langfristig die beste Wahl für das Architekturbüro ist. Aus

diesem Grund wird nachfolgend das Zukunftspotenzial der Technologien bestimmt sowie die bisherige Interpretation der Ergebnisse erneut evaluiert.

Zu Beginn wird in Abstimmung mit dem Geschäftsführer des Architekturbüros ein Zeithorizont gewählt, für den das Zukunftspotenzial bestimmt wird. Dieser betrifft fünf Jahre aufgrund der Schnelllebigkeit der technologischen Innovationen und dem Zeithorizont der nachhaltigen Unternehmensziele des Architekturbüros. Wie bei der Vorgehensweise für den aktuellen Zeitpunkt wird die Gewichtung der Bewertungskriterien durchgeführt, jedoch unter Beachtung des Zeithorizonts. Dies trifft auch auf die Bewertung der Kriterien in den Potenzialdimensionen zu. Zur Vereinfachung wird an dieser Stelle ein Überblick dargestellt, der sowohl die zukünftige Gewichtung als auch die zukünftige Bewertung der Kriterien enthält (siehe Tabelle 22.) Die Potenzialbewertungen der Technologie und Nachhaltigkeit basieren auf Recherchen, besitzen jedoch aufgrund des Zeithorizonts einen spekulativen und interpretativen Charakter. Die Begründung der Gewichtung der Kriterien ist in Anhang 3.3.1 zu finden, die Technologie- und Nachhaltigkeitsbewertung in Anhang 3.3.2 und Anhang 3.3.3.

Nachhaltigkeitsorientierte Technologiebewertungsmatrix (naTech)							
Potenzialwerte	Gewichtung	Gewichtung ( $c_i$ )	AR	KI	Online Datensätze	Digital Twin	Virtuelle Kollaborations-tools
0: hinderlich 1: neutral 2: sehr schlecht 3: schlecht 4: gut 5: sehr gut	0: außerhalb des Geltungsbereichs 1: unwichtig 2: neutral 3: wichtig						
<b>Technologiepotenzial (<math>T_i</math>) – Anzahl der Bewertungskriterien <math>n_T = 6</math></b>							
Weiterentwicklungspotenzial	1	5	5	1	5	2	
Reifegrad der Technologie	2	5	5	5	5	5	
Zeitliche Verfügbarkeit der Technologie	3	5	5	5	5	5	
Technologische Performance	3	4	4	5	4	5	
Zuverlässigkeit der Technologie	3	5	4	5	5	5	
Komplexität der Technologie	3	4	4	5	4	5	
<b>Technologiepotenzial <math>P_{Tj}</math></b>			69	66	71	69	72
<b>Relativiertes Technologiepotenzial <math>R_{Tj}</math></b>			11,5	11	11,8	11,5	12
<b>Nachhaltigkeitspotenzial (<math>N_i</math>) – Anzahl der Bewertungskriterien <math>n_N = 11</math></b>							
SDG 1: Keine Armut	0	1	1	1	1	1	
SDG 2: Kein Hunger	0	1	1	1	1	1	
SDG 3: Gesundheit und Wohlergehen	3	1	3	1	1	4	
SDG 4: Hochwertige Bildung	3	1	1	1	1	3	
SDG 5: Geschlechtergleichheit	3	1	1	1	1	1	
SDG 6: Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen	3	1	1	1	1	1	
SDG 7: Bezahlbare und saubere Energie	3	4	5	4	5	1	
SDG 8: Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum	3	4	4	1	4	4	
SDG 9: Industrie, Innovation und Infrastruktur	2	4	5	1	4	4	
SDG 10: Weniger Ungleichheiten	0	1	1	1	1	1	
SDG 11: Nachhaltige Städte und Gemeinden	3	5	5	4	5	2	
SDG 12: Nachhaltige/r Konsum und Produktion	2	4	5	5	5	1	

SDG 13: Maßnahmen zum Klimaschutz	3	5	5	4	5	3
SDG 14: Leben unter Wasser	0	1	1	1	1	1
SDG 15: Leben an Land	2	4	4	5	4	2
SDG 16: Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen	0	1	1	1	1	1
SDG 17: Partnerschaften zur Erreichung der Ziele	0	1	1	1	1	1
<b>Nachhaltigkeitspotenzial <math>P_{N,j}</math></b>		90	103	73	95	71
<b>Relativiertes Nachhaltigkeitspotenzial <math>R_{N,j}</math></b>		8,2	9,4	7,6	8,6	6,5
<b>Unternehmenspotenzial (<math>U_i</math>) – Anzahl der Bewertungskriterien <math>n_U = 11</math></b>						
Finanzielle Ressourcen	2	4	4	5	4	5
Personelle Ressourcen	3	4	3	5	4	5
Sachliche Ressourcen	1	4	3	5	5	5
Rechtliche Ressourcen	1	3	3	4	3	4
Stabilität der vorhandenen Ressourcen	3	5	5	5	5	5
Aktionsgeschwindigkeit	3	4	3	5	4	5
Know-How	3	5	4	5	5	4
Erfahrung mit ähnlichen Technologien	3	4	3	5	5	5
Anwendungsbreite	1	5	3	5	5	5
Akzeptanz der Technologie im Unternehmen	3	5	4	5	5	5
Kompatibilität mit anderen Technologien	2	4	3	5	4	5
<b>Unternehmenspotenzial <math>P_{U,j}</math></b>		109	89	124	113	121
<b>Relativiertes Unternehmenspotenzial <math>R_{U,j}</math></b>		9,9	8	11,3	10,3	11

Tabelle 22: Zukunftspotenzial der Fallstudie (Eigene Darstellung)

Das relativierte Technologiepotenzial zeigt, dass sich die Technologien innerhalb der kommenden fünf Jahre hinsichtlich ihres Potenzials angleichen. T5 besitzt die höchste Bewertung in dieser Dimension mit 12, gefolgt T3 mit 11,8. Darauf folgen die Potenziale von T1 und T4 mit 11,5. T2 besitzt mit 11 das geringste Technologiepotenzial. Die Analyse der Dimension zeigt, dass sich v. a. T2 in den kommenden Jahren stark weiterentwickeln wird.

Die relativierte Potenzialbewertung der Nachhaltigkeit verdeutlicht den positiven Aufschwung, den die Technologien hinsichtlich des Beitrags zur Erreichung der nachhaltigen Unternehmensziele in fünf Jahren leisten können. T2 liegt mit einem Nachhaltigkeitspotenzial von 9,4 vorn, gefolgt von T4 mit 8,6 und T1 mit einer Bewertung von 8,2. T3 und T5 besitzen zwar das höchste Technologiepotenzial, sind jedoch hinsichtlich des Nachhaltigkeitsbeitrags am schlechtesten bewertet mit 7,6 und 6,5.

Das relativierte Unternehmenspotenzial ist mit einer Bewertung von 11,3 für T3 und 11 für T5 am höchsten. Darauf folgen T4 mit 10,3 und T1 mit 9,9, wobei T2 mit 8 die schlechteste Potenzialbewertung in der Dimension hat. Im Vergleich zum gegenwärtigen Zeitpunkt steigt das Unternehmenspotenzial jedoch für alle Technologien. Das Architekturbüro ist demnach in fünf Jahren besser in der Lage, die Technologien zu implementieren bzw. auf Anpassungen zu reagieren, als zum aktuellen Zeitpunkt.

### 7.5.5 Handlungsportfolio des Zukunftspotenzials

Zur Ableitung der finalen Handlungsempfehlung für das Architekturbüro wird das Ergebnis der Potenzialbewertung für einen Zeithorizont von fünf Jahren in das Handlungsportfolio der *naTech* übertragen. Dies ermöglicht die grafische Visualisierung der zukünftigen Entwicklung der Technologien (siehe Abbildung 27).

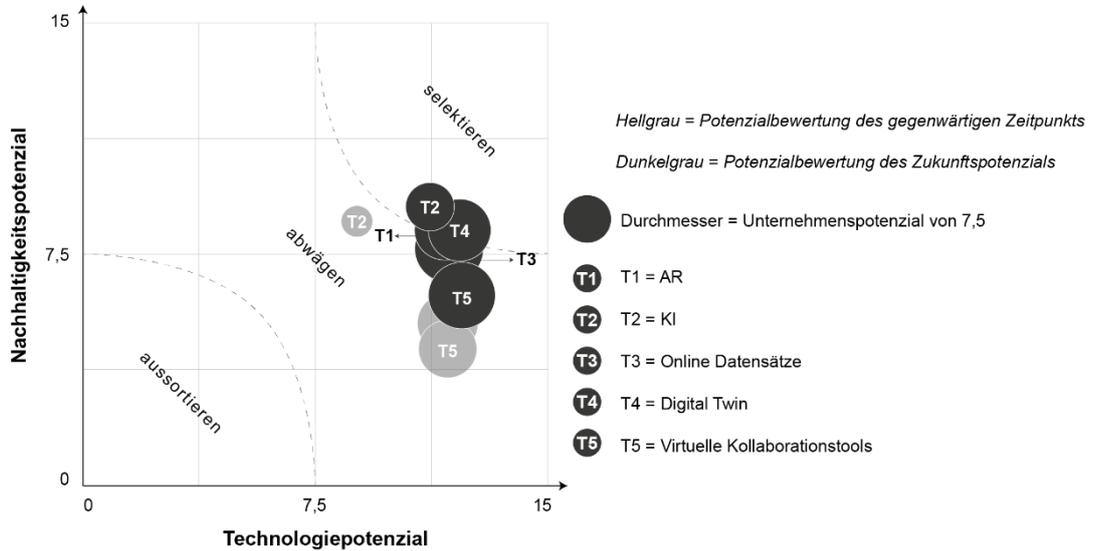


Abbildung 27: Überblick des Zukunftspotenzials der Fallstudie (Eigene Darstellung)

Abbildung 28 visualisiert das Zukunftspotenzials der einzelnen Technologien.

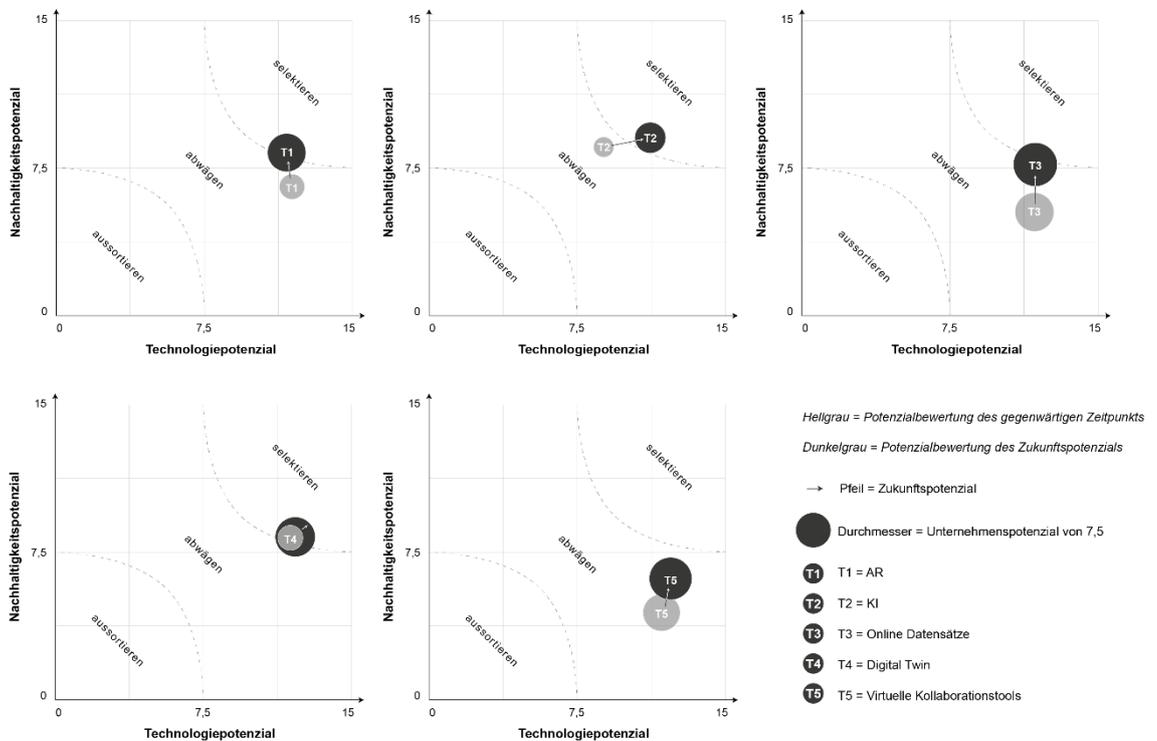


Abbildung 28: Zukunftspotenzial der betrachteten Technologien der Fallstudie (Eigene Darstellung)

T1 entwickelt sich in den kommenden fünf Jahren in eine vielversprechende Technologie, die nun in den Grenzbereich des Selektierens fällt. Sie besitzt im Vergleich zu den anderen Technologien ein mittelmäßiges Technologie-, Nachhaltigkeits- und Unternehmenspotenzial. T1 ist demnach eine potenziell zu wählende Technologie für das Architekturbüro.

T2 ist nach wie vor die Technologie mit dem geringsten Unternehmens- und Technologiepotenzial, jedoch dem höchsten Nachhaltigkeitspotenzial. Sie fällt in den Bereich des Selektierens und ist daher eine potenziell gute Option für das Architekturbüro, auch wenn sie mit einem Mehraufwand zur Implementierung verbunden ist.

Die Potenzialbewertung von T3 steigt in allen drei Dimensionen, verglichen zur Bewertung des gegenwärtigen Zeitpunkts. Damit liegt die Technologie jedoch immer noch im Bereich des Abwägens. Innerhalb des Technologiepotenzials ist die Veränderung nur marginal. Demgegenüber steht das Nachhaltigkeitspotenzial, das sich zwar in der Bewertung verbessert, jedoch verglichen zu den anderen Technologien immer noch geringer ist. Hinsichtlich des Unternehmenspotenzials ist T3 die beste Wahl.

T4 ist die Technologie, deren Zukunftspotenzial sich am geringsten verändert. Technologie- und Nachhaltigkeitspotenzial bleiben annähernd gleich, lediglich das Unternehmenspotenzial macht einen größeren Sprung. Die Technologie bleibt in dem Grenzbereich des Selektierens und ist eine mögliche Option für das Architekturbüro.

T5 besitzt das höchste Technologiepotenzial und zweithöchste Unternehmenspotenzial, jedoch das geringste Nachhaltigkeitspotenzial. Somit fällt die Technologie auch nach Bewertung des Zukunftspotenzials in den Bereich des Abwägens und ist für das Architekturbüro im Sinne der Nachhaltigkeit nicht zu empfehlen.

Vor dem Hintergrund der Unterstützung der nachhaltigen Unternehmensziele durch die Technologien zeigt die finale Betrachtung des Zukunftspotenzials, dass T5 die schlechteste Technologie für das Architekturbüro ist, gefolgt von T3. Auch wenn die Technologien ausgereift und leicht für das Architekturbüro zu implementieren sind, ist die Zielsetzung der Technologien zur Nachhaltigkeitsunterstützung nicht gewährleistet. Sie werden deshalb im Rahmen der *naTech* als schlechte Wahl bewertet. T1, T2 und T4 fallen in den Grenzbereich des Selektierens. Ein Vergleich der Technologien zeigt, dass T2 zwar ein großes Nachhaltigkeitspotenzial besitzt, jedoch im Rahmen des Fallbeispiels für das Architekturbüro zu neuartig und mit zu viel Aufwand zur Implementierung verbunden ist. Von einer Wahl von T2 wird deshalb abgeraten. T1 und T4 liegen hinsichtlich ihres Zukunftspotenzials sehr nah beieinander. In Bezug auf das Technologiepotenzial sind beide Technologien gleich. Innerhalb des Nachhaltigkeits- und Unternehmenspotenzials schneidet jedoch T4 besser ab. Aus diesem Grund fällt die Technologieempfehlung für das Architekturbüro auf T4, den Digital Twin, der mit dem

bestehenden BIM-System integriert werden kann. Die Bewertung des Zukunftspotenzial zeigt, dass sich v. a. das Unternehmenspotenzial weiterentwickeln wird, wodurch T4, welche auch schon zum gegenwärtigen Zeitpunkt ein hohes Technologie- und Nachhaltigkeitspotenzial besitzt, die beste Wahl für das Architekturbüro ist.

Diese eindeutige Aussage ist nur aufgrund der Betrachtung der zukünftigen Entwicklung möglich, wodurch die Risiken der Technologieentscheidung reduziert werden. Die Anwendung der *naTech* empfiehlt daher immer die zusätzliche Bestimmung des Zukunftspotenzials.

## 8 Schlussfolgerung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines Technologiebewertungsmodells für Unternehmen, welches den Nachhaltigkeitsbeitrag von Technologien bestimmt und dabei zugleich technologische und unternehmerische Aspekte während der Bewertung inkludiert. Mit der Entwicklung der nachhaltigkeitsorientierten Technologiebewertungsmatrix (*naTech*) und dessen Anwendung im unternehmerischen Kontext wird die Forschungsfrage: „*Inwiefern können digitale Technologietrends zur Umsetzung nachhaltiger Unternehmensziele beitragen, um einen langfristigen Wettbewerbsvorteil zu sichern?*“ beantwortet. Nachfolgend werden relevante Ergebnisse der vorliegenden Arbeit dargestellt.

Das entwickelte, integrative Technologiebewertungsmodell gliedert sich in vier Schritte: die Technologieidentifikation, die Informationssammlung, die Technologiebewertung, welche die *naTech* zum Inhalt hat, und die Technologieentscheidung.

Die *naTech*, als systematische und praxisorientierte Methode, bewertet digitale Technologien im Hinblick auf Nachhaltigkeitsfaktoren sowie weitere, entscheidende Aspekte wie das Technologiepotenzial und die Eignung der Technologie für das Unternehmen. Angelehnt an einer klassischen Nutzwertanalyse werden folglich innerhalb der drei Dimensionen das Technologie-, Nachhaltigkeits- und Unternehmenspotenzial der Technologien bestimmt. Die dafür entwickelten Bewertungskriterien innerhalb des Technologie- und Unternehmenspotenzials sind unternehmensagnostisch und können im spezifischen Kontext des Unternehmens dynamisch erweitert werden. Die Gewichtung der Bewertungskriterien spiegelt die Interessen des Unternehmens wider, die Potenzialabschätzung den Erfüllungsgrad eines Kriteriums durch die Technologie.

Dabei findet die Potenzialbewertung der einzelnen Dimensionen über eine Multiplikation der kriterienspezifischen Gewichtung mit den kriterienspezifischen Potenzialwerten statt. Die Teilpotenziale werden zu Gesamtpotenzialen der Dimensionen je Technologie addiert und relativiert. Die Visualisierung der Bewertungsergebnisse über ein Handlungsportfolio, das die Dimensionen des Technologie-, Nachhaltigkeits- und Unternehmenspotenzials in eine Relation setzt, ermöglicht es, den digitalen Technologien konkrete Normstrategien zuzuordnen. Daraus lassen sich eindeutige Technologieentscheidungen ableiten.

Die Bestimmung des Zukunftspotenzials der Technologien findet über die Gewichtung und Potenzialbewertung des Technologie-, Nachhaltigkeits- und Unternehmenspotenzials für einen definierten, zukünftigen Zeithorizont statt und wird ebenfalls innerhalb des Handlungsportfolios visualisiert.

Somit bildet die *naTech* die Basis für fundierte Technologieentscheidungen in Bezug auf den Beitrag von Technologien zu nachhaltigen Unternehmenszielen, die neben dem aktuellen Zeitpunkt zukünftige Entwicklungen sowie unternehmensspezifische Anforderungen miteinbezieht.

Die mit der *naTech* gebildete Synergie aus unternehmerischer Nachhaltigkeit und Digitalisierung ist maßgebend für einen langfristigen Wettbewerbsvorteil, begründet die hohe Relevanz und steigert so die Attraktivität der Anwendung der *naTech*. Das entwickelte Bewertungsmodell wird Anforderungen spezifischer methoden- und ergebnisbezogener, qualitativer und quantitativer Gütekriterien gerecht und integriert somit einen wissenschaftlichen Charakter. Die erfolgreiche Anwendung der *naTech* in der Praxis wird durch das Fallbeispiel unterstrichen, wobei in Kooperation mit einem Architekturbüro ein Ergebnis für eine Technologieentscheidung zur Unterstützung der nachhaltigen Unternehmensziele mit Hilfe der *naTech* erarbeitet wird.

Die entwickelte Technologiebewertungsmatrix ist unternehmensagnostisch einsetzbar, d. h. unabhängig von Unternehmensgröße und Industrie anwend- und übertragbar. Somit besitzt sie eine allgemeine Gültigkeit und eine unabhängige, universale Bedeutsamkeit für Unternehmen. Die Ergebnisse der Arbeit sind daher als generalisierbar zu bewerten.

## 8.1 Begrenzung der Forschung

Die Technologiebewertung im Kontext Digitaler Nachhaltigkeit ist neuartig. Aus diesem Grund ist die entwickelte *naTech* kritisch zu betrachten. Trotz der Festlegung der Gütekriterien bleiben die Bewertung und die Ergebnisse der *naTech* einer potenziellen Subjektivität durch den Anwender ausgesetzt. Daraus resultiert die indirekte oder direkte Manipulation der Bewertungsergebnisse. Zusätzlich lassen die festgelegten Skalen zur Gewichtung und Bewertung der Kriterien einen Interpretationsspielraum. Um dem entgegenzuwirken, muss eine unabhängige Bewertung von mehreren Anwendern in einem Projektteam vorgenommen werden.

Zudem ist die Anwendung der *naTech* nur dann möglich, wenn das Unternehmen bereits definierte, nachhaltige Unternehmensziele und ein Interesse an der Implementierung neuer, digitaler Technologien besitzt. Demnach muss bei Anwendung der *naTech* vorher eine Auseinandersetzung mit den SDGs und den nachhaltigen Interessen des Unternehmens stattfinden. Auch die Intention zur Umsetzung digitaler Technologien wird als Voraussetzung der *naTech* verstanden.

Zuletzt zeigt die in der Arbeit durchgeführte Fallstudie zur praktischen Anwendung der *naTech* ein Beispiel anhand der Bauindustrie. Das qualitative Fallbeispiel ist nicht repräsentativ und erfordert eine quantitative Überprüfung der *naTech* an

unterschiedlichen Anwendungsfällen, um valide Aussagen über die erfolgreiche Anwendung der *naTech* in der Praxis zuzulassen. Das durchgeführte Fallbeispiel dient v. a. der beispielhaften Anwendung der *naTech* und basiert u. a. Literaturrecherchen. Zur Potenzialabschätzung des Technologie- und Nachhaltigkeitspotenzials gilt es, in der praktischen Anwendung Industrie-Experten heranzuziehen.

## 8.2 Ausblick

In einer zunehmend vernetzten Welt spielt die Digitalisierung von Unternehmen, maßgeblich getragen durch die Integration digitaler Technologien, eine bedeutende Rolle. Aber auch die Aktualität und Notwendigkeit der Auseinandersetzung mit der Nachhaltigkeit ist heutzutage entscheidend für den Unternehmenserfolg (siehe Kapitel 1.1). Der Gedanke, digitale Technologien im Sinne der Nachhaltigkeit zu nutzen, vereint zwei Disziplinen, die entscheidend für den langfristigen Unternehmenserfolg sind. Aus diesem Grund ist die Einführung einer Technologiebewertungsmethode, die Nachhaltigkeitsfaktoren in strategische Technologieentscheidungen inkludiert, von hoher Relevanz, die zukünftig weiter steigen wird.

Mit der vorliegenden Arbeit erhalten Unternehmen ein Framework, anhand dessen sie sich zu einem digital-nachhaltigen Unternehmen entwickeln können. Die Generalisierbarkeit der *naTech* macht sie zu einer universell einsetzbaren Methode und durch die hohe Relevanz Digitaler Nachhaltigkeit kann sie sich in der gängigen Praxis in Unternehmen verankern.

Weiterer Forschungsbedarf besteht in der Ausarbeitung des ersten, zweiten und vierten Schritts des integrativen Technologiebewertungsmodells. Dies ermöglicht Unternehmen das Durchlaufen eines ganzheitlichen Technologiebewertungsprozesses, der fundiertere Bewertungsergebnisse zur Folge hat. Darüber hinaus ist die *naTech* als rechnergestütztes Tool oder als Bewertungssoftware weiterzuentwickeln, um den Aufwand für Unternehmen bei Anwendung der Matrix zu minimieren. Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion des Aufwands ist die Ausarbeitung eines industrie-spezifischen Bewertungskriterienkatalogs.

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelte *naTech* bildet die Basis für die nachhaltigkeitsorientierte Technologiebewertung, ist somit die Grundlage zukünftiger Forschungen und beeinflusst die Wirtschaftswissenschaften im Bereich Digitalisierung und Nachhaltigkeit.

## Literaturverzeichnis

- ACI. (2019). *Sustainable Governance, Audit Committee Quarterly, IV*. Abgerufen am 24.10.2022 unter [https://audit-committee-institute.de/media/aci\\_quarterly\\_2019\\_4.pdf](https://audit-committee-institute.de/media/aci_quarterly_2019_4.pdf)
- Amit, R., & Zott, C. (2001). Value creation in e-business. *Strategic Management Journal*, 22, 493-520. <https://doi.org/10.1002/smj.187>
- Ansoff, H. I. (1975). Managing Strategic Surprise by Response to Weak Signals. *California Management Review*, 18(2), 21-33. <https://doi.org/10.2307/41164635>
- Architekturbüro MA. (2022). *Interview mit dem Geschäftsführer des Architekturbüros MA* [Interview]
- Ashton, B., Kinzey, B. R., & Gunn, M. E. (1991). A structured approach for monitoring science and technology development. *International Journal of Technology Management*, 6(1-2), 91-111. <https://doi.org/10.1504/IJTM.1991.025877>
- Bai, S., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, 229, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>
- Baker, A. (2021). *11 Top Collaboration Software for Architectural Firms*. Abgerufen am 07.10.2022 unter <https://thewild.com/blog/11-top-collaboration-software-for-architectural-firms>
- Bana E. Costa, C. A., Steward, T. J., & Vansnick, J.-C. (1997). Multicriteria decision analysis: Some thoughts based on the tutorial and discussion sessions of the ESIGMA meetings. *European Journal of Operational Research*, 99, 28-37. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(96\)00380-3](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00380-3)
- Bassen, A., & Maria, K. A. (2008). Environmental, Social and Governance Key Performance Indicators from a Capital Market Perspective. *Zeitschrift für Wirtschafts- und Unternehmensethik*, 9(2), 182-192. <https://doi.org/10.5771/1439-880X-2008-2-182>
- Baum, H.-G., Copenenberg, A. G., & Günther, T. (2008). Strategisches Controlling. *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 4, 836-838. <https://doi.org/10.1007/s11573-008-0048-5>
- Benbasat, I., & Goldstein, D. K. M., Melissa. (1987). The Case Research Strategy in Studies of Information Systems. *MIS Quarterly*, 11(3), 369-386. <https://doi.org/10.2307/248684>
- Berg, H., & Ramesohl, S. (2019). *Nachhaltigkeit und Digitale Transformation* (Fallstudie Nachhaltigkeitsstrategie NRW). [https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/FS\\_NHS\\_NRW\\_FM\\_B1\\_Digitale\\_Transformation.pdf](https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/FS_NHS_NRW_FM_B1_Digitale_Transformation.pdf)
- Bessanova, E., & Battalov, R. (2020). Digitalization as a tool for innovative economic development. *Economic Annals-XXI*, 186(11-12), 66-74. <https://doi.org/10.21003/ea.V186-08>
- Bican, P. M., & Brem, A. (2020). Digital Business Model, Digital Transformation, Digital Entrepreneurship: Is There A Sustainable "Digital"? *Sustainability*, 12, 5239-5254. <https://doi.org/10.3390/su12135239>

- Bittner-Fessler, A., & Leben, B. (2017). Nachhaltiges Wirtschaften in der Kommunikation von Start-ups: CSR als Chance für junge Unternehmen. In G. Gesa & A. Nelke (Hrsg.), *CSR und Nachhaltige Innovationen: Zukunftsfähigkeit durch soziale, ökonomische und ökologische Innovationen* (S. 39-54). Springer Gabler. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-49952-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-662-49952-8_4)
- Blanco, C. F., Cucurachi, S., Guinée, J. B., Vijver, M. G., Peijnenburg, W. J. G. M., Trating, R., & Heijungs, R. (2020). Assessing the sustainability of emerging technologies: A probabilistic LCA method applied to advanced photovoltaics. *Journal of Cleaner Production*, 259. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120968>
- BMVBS. (2009). *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)*. Abgerufen am 15.09.2022 unter <https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/RunderTisch/steckbriefe-2010/514.pdf>
- BMWi. (2015). *Industrie 4.0 und Digitale Wirtschaft: Impulse für Wachstum, Beschäftigung und Innovation*. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Abgerufen am 03.12.2022 unter [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industrie-4-0-und-digitale-wirtschaft.pdf%3F\\_\\_blob%3DpublicationFile%26v%3D3](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industrie-4-0-und-digitale-wirtschaft.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D3)
- BMWi. (2021). *Digitalisierung der Wirtschaft in Deutschland: Technologie- und Trendradar 2021*. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Abgerufen am 13.06.2021 unter [https://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Digitalisierungsindex/Publikationen/publikation-download-technologie-trendradar-2021.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Digitalisierungsindex/Publikationen/publikation-download-technologie-trendradar-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=3)
- BMWSB. (2022). *ÖKOBAUDAT*. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. Abgerufen am 10.10.2022 unter <https://www.oekobaudat.de/>
- Boddy, C. (2012). The Nominal Group Technique: an aid to Brainstorming ideas in research. *Qualitative Market Research: An International Journal*, 15(1), 6-18. <https://doi.org/10.1108/13522751211191964>
- Bradley, K. (2007). Defining Digital Sustainability. *Johns Hopkins University Press*, 56(1), 148-163. <https://doi.org/10.1353/lib.2007.0044>
- Brans, J.-P., & Smet, Y. D. (2005). PROMETHEE Methods. In S. Greco, M. Ehrgott, & J. R. Figueira (Hrsg.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (Bd. 2, S. 187-219). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4>
- Breiling, A., & Knosala, R. (1997). *Bewerten technischer Systeme: Theoretische und methodische Grundlagen bewertungstechnischer Entscheidungshilfen*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-59229-4>
- Brown, B. J., Hanson, M. E., Liverman, D. M., & Meridetch, R. W. (1987). Global Sustainability: Toward Definition. *Environmental Management*, 11, 713-719. <https://doi.org/10.1007/BF01867238>
- Bruttel, O. (2014). Nachhaltigkeit als Kriterium für Konsumententscheidungen. *Ökologisches Wirtschaften-Fachzeitschrift*, 29(1), 41-45. <https://doi.org/10.14512/OEW290141>

- Bryman, A., Becker, S., & Sempik, J. (2007). Quality Criteria for Quantitative, Qualitative and Mixed Methods Research: A View from Social Policy. *International Journal of Social Research Methodology*, 11(4), 261-276. <https://doi.org/10.1080/13645570701401644>
- Bullinger, H.-J. (1994). *Einführung in das Technologiemanagement: Modelle, Methoden und Praxisbeispiele*. B. G. Teubner. <https://doi.org/10.1007/978-3-322-84858-1>
- Cachelin, J. L. (2013). Digitalisierung als Reifeprozess. *Personalmagazin*, 11(30), 51-53. <https://www.wissensfabrik.ch/pdfs/reifegrad.pdf>
- Carroll, A. B. (1991). The Pyramid of Corporate Social Responsibility: Toward the Moral Management of Organizational Stakeholders. *Business horizons*, 34(4), 39-48. [https://doi.org/10.1016/0007-6813\(91\)90005-G](https://doi.org/10.1016/0007-6813(91)90005-G)
- Carroll, A. B. (1999). Corporate Social Responsibility: Evolution of a Definitional Construct. *Business & Society*, 38(3), 268-295. <https://doi.org/10.1177/000765039903800303>
- Cope, D. G. (2014). Methods and Meanings: Credibility and Trustworthiness of Qualitative Research. *Oncology Nursing Forum*, 41(1), 89-91. <https://doi.org/10.1188/14.ONF.89-91>
- Corsten, H., Gössinger, R., Müller-Seitz, G., & Schneider, H. (2016). *Grundlagen des Technologie- und Innovationsmanagements* (Bd. 2). Franz Vahlen Verlag. <https://doi.org/10.15358/9783800651337>
- Corsten, H., & Roth, S. (2012). Nachhaltigkeit als integriertes Konzept. In H. Corsten & S. Roth (Hrsg.), *Nachhaltigkeit: Unternehmerisches Handeln in globaler Verantwortung* (S. 1-14). Gabler Verlag. [https://doi.org/10.1007/978-3-8349-3746-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-8349-3746-9_1)
- Danesh, D., Ryan, M., & Abbasi, A. (2018). Multi-criteria Decision-making Methods for Project Portfolio Management: A Literature Review. *International Journal of Management and Decision Making*, 17(1), 75-94. <https://doi.org/10.1504/IJMDM.2017.10006139>
- Dathe, T. D., René, Dathe, I., & Helmold, M. (2022). *Corporate Social Responsibility (CSR) Versus Environmental Social Governance (ESG)*. Springer Nature. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-92357-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92357-0_9)
- Deutscher Bundestag. (1998). *Konzept Nachhaltigkeit: Vom Leitbild zur Umsetzung* (Abschlußbericht der Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung". <https://dserver.bundestag.de/btd/13/112/1311200.pdf>
- Deutscher Bundestag. (2017). *Gesetz zur Stärkung der nichtfinanziellen Berichterstattung der Unternehmen in ihren Lage- und Konzernlageberichten (CSR-Richtlinie-Umsetzungsgesetz)*. Abgerufen am 21.10.2022 unter <https://dserver.bundestag.de/brd/2017/0201-17.pdf>
- Deutscher Nachhaltigkeitskodex. (2017). *Der Deutsche Nachhaltigkeitskodex: Maßstab für nachhaltiges Wirtschaften*. Abgerufen am 21.10..2022 unter [https://www.deutscher-nachhaltigkeitskodex.de/de-DE/Documents/PDFs/Press-Releases/DNK\\_Broschuere\\_2017.aspx](https://www.deutscher-nachhaltigkeitskodex.de/de-DE/Documents/PDFs/Press-Releases/DNK_Broschuere_2017.aspx)

- Dörr, S. (2021). *Corporate Digital Responsibility: Managing Corporate Responsibility and Sustainability in the Digital Age*. Springer Nature.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-63853-8>
- Early, S. (2014). The Digital Transformation: Staying Competitive. *IT Professional*, 16(2), 58-60. <https://doi.org/10.1109/MITP.2014.24>
- Elkington, J. (1998). Accounting for the triple bottom line. *Measuring Business Excellence*, 2(3), 18-22. <https://doi.org/10.1108/eb025539>
- Elkington, J. (2019). *25 Years Ago I Coined the Phrase "Triple Bottom Line." Here's Why It's Time to Rethink It*. Harvard Business Publishing. Abgerufen am 30.05.2022 unter  
[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4898833/mod\\_resource/content/1/25%20Years%20Ago%20I%20Coined%20the%20Phrase%20%E2%80%9CTriple%20Bottom%20Line.%E2%80%9D%20Here%E2%80%99s%20Why%20It%E2%80%99s%20Time%20to%20Rethink%20It\\_.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4898833/mod_resource/content/1/25%20Years%20Ago%20I%20Coined%20the%20Phrase%20%E2%80%9CTriple%20Bottom%20Line.%E2%80%9D%20Here%E2%80%99s%20Why%20It%E2%80%99s%20Time%20to%20Rethink%20It_.pdf)
- Engels, B. (2022) . Nachhaltige Digitalisierung: Ein digitalökonomisches Konzept. *IW-Policy Paper*, 3, Institut der deutschen Wirtschaft.  
<http://hdl.handle.net/10419/263243>
- Ensthaler, J., & Strübbe, K. (2006). *Patentbewertung: Ein Praxisleitfaden zum Patentmanagement*. Springer. [https://doi.org/10.1007/3-540-34414-4\\_7](https://doi.org/10.1007/3-540-34414-4_7)
- Farreira, R., Pereira, R., Bianchi, I. S., & Mira da Silva, M. (2021). Decision Factors for Remote Work Adoption: Advantages, Disadvantages, Driving Forces and Challenges. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(1), 70-94. <https://doi.org/10.3390/joitmc7010070>
- Ferdinand, H.-M. (2022). *Werte schaffen - die Verantwortung von Unternehmen: Einführung in die Unternehmensethik*. Springer Gabler.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-64135-4>
- Fiedler, M., Dlouhy, J., & Binniger, M. (2018). Der Lean Ansatz im Hinblick auf die Baubranche. In M. Fiedler (Hrsg.), *Lean Construction - Das Managementhandbuch: Agile Methoden und Lean Management im Bauwesen* (S. 95-101). Springer Gabler. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-55337-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-662-55337-4_6)
- Figueira, J. R., Greco, S., & Ehr Gott, M. (2005). Introduction. In S. Greco, M. Ehr Gott, & J. R. Figueira (Hrsg.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (Bd. 2, S. xix-xxxvi). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4>
- Fischer, J., & Lange, U. (2002). Technologiemanagement. In D. Specht & M. G. Möhrle (Hrsg.), *Gabler-Lexikon Technologie-Management: Management von Innovationen und neuen Technologien im Unternehmen* (S. 357-362). Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-322-82367-0>
- Fish, L. S., & Busby, D. M. (2005). The Delphi Method. In D. H. Sprenkle & F. P. Piercy (Hrsg.), *Research methods in family therapy* (Bd. 2, S. 238-253). Guilford.
- Gallupe, R. B., Dennis, A. R., Cooper, W. H., Valacich, J. S., Bastianutti, L. M., & Nunamaker, J. F. (1992). Electronic Brainstorming and Group Size. *Academy of Management Journal*, 35(2), 350-369.

- Ganig, P. (2007). *Innovationsbewertung: Potentialprognose und -steuerung durch Ertrags- und Risikosimulation*. Deutscher Universitäts-Verlag.
- Gartner. (2018). *Gartner Identifies Five Emerging Technology Trends That Will Blur the Lines Between Human and Machine*. Abgerufen am 13.10.2022 unter <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-08-20-gartner-identifies-five-emerging-technology-trends-that-will-blur-the-lines-between-human-and-machine>
- Gartner. (2022a). *Digitalization*. Abgerufen am 25.10.2022 unter <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/digitalization>
- Gartner. (2022b). *Gartner Hype Cycle: Wie man Technologie-Hype interpretiert*. Abgerufen am 02.06.2022 unter <https://www.gartner.de/de/methoden/hype-cycle>
- Gartner. (2022c). *What's New in the 2022 Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies*. Abgerufen am 13.10.2022 unter <https://www.gartner.com/en/articles/what-s-new-in-the-2022-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies>
- Gausemeier, J., Fink, A., & Schlake, O. (1998). Scenario Management: An Approach to Develop Future Potentials. *Technological Forecasting and Social Change*, 59(2), 111-130. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(97\)00166-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(97)00166-2)
- Geldermann, J. (2018). Integrierte Technikbewertung. In H. Corsten, R. Gössinger, & T. S. Spengler (Hrsg.), *Handbuch Produktions- und Logistikmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken* (S. 1191-1209). De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110473803-059>
- Geldermann, J., & Rentz, O. (2001). Entwicklung eines multikriteriellen Entscheidungsunterstützungssystems zur integrierten Technikbewertung. In B. Fleischmann, R. Lasch, U. Derigs, W. Domschke, & U. Rieder (Hrsg.), *Operations Research Proceedings: Selected Papers of the Symposium on Operations Research (OR 2000) Dresden, September 9–12, 2000* (S. 445-451). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-56656-1\\_71](https://doi.org/10.1007/978-3-642-56656-1_71)
- Gerpott, T. J. (2005). *Strategisches Technologie- und Innovationsmanagement* (Bd. 2). Schäffer-Poeschel Verlag.
- Geschka, H. (2006). Szenariotechnik als Instrument der Frühaufklärung. In O. Gassmann & C. Kobe (Hrsg.), *Management von Innovation und Risiko: Quantensprünge in der Entwicklung erfolgreich managen* (S. 357-372). Springer. <https://doi.org/10.1007/3-540-33755-5>
- Glanze, E., Nüttgens, M., & Ritzrau, W. (2021). Unternehmenserfolg durch Nachhaltigkeit – Reifegrad- und Vorgehensmodell zum Aufbau eines datenbasierten Nachhaltigkeitsmanagements. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 58, 155-166. <https://doi.org/10.1365/s40702-020-00694-9>
- Gläser-Zikuda, M. (2015). Qualitative Auswertungsverfahren. In H. Reinders, H. Ditton, C. Gräsel, & B. Gniewosz (Hrsg.), *Empirische Bildungsforschung: Strukturen und Methoden* (S. 109-119). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-19992-4>

- Global Reporting Initiative. (2021). *GRI Annual Report 2021*. Abgerufen am 21.10.2022 unter file:///C:/Users/Lara/Downloads/annualreport2021\_v2.pdf
- Global Reporting Initiative. (2022). *A Short Introduction to the GRI Standards*. Abgerufen am 21.10.2022 unter <https://www.globalreporting.org/media/wtaf14tw/a-short-introduction-to-the-gri-standards.pdf>
- Gobble, M. M. (2018). Digitalization, digitization, and innovation. *Research-Technology Management*, 61(4), 56-59. <https://doi.org/10.1080/08956308.2018.1471280>
- Gochermann, J. (2020). *Technologiemanagement: Technologien erkennen, bewerten und erfolgreich einsetzen*. Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-28799-3>
- Goldenberg, O., & Wiley, J. (2011). Quality, Conformity, and Conflict: Questioning the Assumptions of Osborn's Brainstorming Technique. *The Journal of Problem Solving*, 3(2), 96-118. <https://doi.org/10.7771/1932-6246.1093>
- Golovatchev, J., & Budde, O. (2010). Technology and Innovation Radar - Effective Instruments for the Development of a Sustainable Innovation Strategy. *IEEE International Conference on Management of Innovation & Technology*, 760-764. <https://doi.org/10.1109/ICMIT.2010.5492855>
- Griese, K.-M., Hirschfeld, G., & Baringhorst, S. (2018). Unternehmen zwischen Digitalisierung und Nachhaltigkeit – eine empirische Untersuchung. *Nachhaltigkeitsmanagement Forum*, 27, 11-21. <https://doi.org/10.1007/s00550-018-0482-y>
- Grivas, S. G., & Graf, M. (2020). Digitale Transformation – Transformation der Unternehmen im digitalen Zeitalter. In S. Gatzju Grivas (Hrsg.), *Digital Business Development: Die Auswirkungen der Digitalisierung auf Geschäftsmodelle und Märkte* (S. 143-166). Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59807-8>
- Grothus, A., Thesing, T., & Feldmann, C. (2021). *Digitale Geschäftsmodell-Innovation mit Augmented Reality und Virtual Reality: Erfolgreich für die Industrie entwickeln und umsetzen*. Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-63746-3>
- Haag, C., Kreysa, J., & Schmelter, K. (2011). Technologiebewertung. In G. Schuh & S. Klappert (Hrsg.), *Technologiemanagement: Handbuch Produktion und Management 2* (S. 309-366). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12530-0>
- Hackfort, S., Degel, M., Göll, E., & Neumann, K. (2019). *Die Zukunft im Blick: Technologie-Trends im Nexus von Ressourceneffizienz und Klimaschutz*. Umweltbundesamt. Abgerufen am 07.06.2022 unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/die\\_zukunft\\_im\\_blick\\_trendbericht.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/die_zukunft_im_blick_trendbericht.pdf)
- Hagberg, J., Sundstrom, M., & Egels-Zandén, N. (2016). The digitalization of retailing: an exploratory framework. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 44(7). <https://doi.org/10.1108/IJRDM-09-2015-0140>

- Hahn, D. (2006). Zweck und Entwicklung der Portfolio-Konzepte in der strategischen Unternehmensplanung. In D. Hahn & B. Taylor (Hrsg.), *Strategische Unternehmensplanung – Strategische Unternehmensführung. Stand und Entwicklungstendenzen* (S. 215–248). Springer. [https://doi.org/10.1007/3-540-30763-X\\_11](https://doi.org/10.1007/3-540-30763-X_11)
- Hall, K. (2002). *Ganzheitliche Technologiebewertung: Ein Modell zur Bewertung unterschiedlicher Produktionstechnologien*. Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-663-08516-4>
- Hansen, E. G., Wicki, S., & Schaltegger, S. (2022). Sustainability-oriented technology exploration: Managerial values, ambidextrous design, and separation drift. *International Journal of Innovation Management*, 26(5). <https://doi.org/10.1142/S1363919622400047>
- Hart, S. L. (1997). Beyond Greening: Strategies for a Sustainable World. *Harvard Business Review*, 75(1), 66-77. <https://hbr.org/1997/01/beyond-greening-strategies-for-a-sustainable-world>
- Hieronymus, S., Tintelnot, C., & Wichert-Nick, D. (1996). Technologiebewertung für Unternehmen. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden*, 45(4), 26-31.
- Holtmann, J., Langsdorf, J., & Rohlfs, T. (2022). Nachhaltige Unternehmensorganisation. In M. Heep-Altiner, T. Rohlfs, M. Berg, & J.-P. Schmidt (Hrsg.), *Klima- und Nachhaltigkeitsrisiken für die Versicherungswirtschaft* (S. 137-187). Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-35290-5>
- Hörisch, J. (2013). Combating climate change through organisational innovation: an empirical analysis of internal emission trading schemes. *Corporate Governance*, 13(5), 569-582. <https://doi.org/10.1108/CG-06-2013-0077>
- Horx, M., Huber, J., Steinle, A., & Wenzel, E. (2007). *Zukunft machen: Wie Sie von Trends zu Business-Innovationen kommen – Ein Praxis-Guide*. Campus Verlag.
- Hübner, H., & Jahnes, S. (1998). *Management-Technologie als strategischer Erfolgsfaktor*. Walter de Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110807448>
- IHK München und Oberbayern. (2017). *Die UN Nachhaltigkeitsziele aus Sicht der Wirtschaft*. Abgerufen am 07.06.2022 unter [https://www.ihk-muenchen.de/ihk/documents/CSR-Ehrbarer-Kaufmann/17-51-SGD-Studie\\_WEB\\_final.pdf](https://www.ihk-muenchen.de/ihk/documents/CSR-Ehrbarer-Kaufmann/17-51-SGD-Studie_WEB_final.pdf)
- International Organization for Standardization. (2010). *ISO 2600:2010: Guidance on social responsibility*. Abgerufen am 24.10.2022 unter <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:26000:ed-1:v1:en>
- International Organization for Standardization. (2016). *ISO 29481-1:2016: Building information models - Information delivery manual - Part 1: Methodology and format*. Abgerufen am 07.10.2022 unter <https://www.iso.org/standard/60553.html>
- Jacob, M. (2019). *Digitalisierung & Nachhaltigkeit: Eine unternehmerische Perspektive*. Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-26217-4>

- Jazzar, M. E., Piskernik, M., & Nassereddine, H. (2020). *Digital Twin in construction: An Empirical Analysis*. EG-ICE 2020 Workshop on Intelligent Computing in Engineering, Berlin.  
[https://www.researchgate.net/publication/343649999\\_Digital\\_Twin\\_in\\_construction\\_An\\_Empirical\\_Analysis](https://www.researchgate.net/publication/343649999_Digital_Twin_in_construction_An_Empirical_Analysis)
- Kahraman, C., Onar, S. C., & Oztaysi, B. (2015). Fuzzy Multicriteria Decision Making: A Literature Review. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9(4), 637-666. <https://doi.org/10.1080/18756891.2015.1046325>
- Kaufmann, A., & Beringer, U. (2021). Digitalisierung als Schlüssel für eine nachhaltigere Baubranche. In S. Genders & C. Seynstaal (Hrsg.), *CSR und Hidden Champions: Mit Unternehmensverantwortung zum Weltmarktführer* (S. 159-175). Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-62816-4>
- Kiron, D., & Unruh, G. (2018). *The Convergence of Digitalization and Sustainability*. MIT Sloan Management Review. Abgerufen am 31.05.2022 unter [https://sloanreview.mit.edu/article/the-convergence-of-digitalization-and-sustainability/amp](https://sloanreview.mit.edu/article/the-convergence-of-digitalization-and-sustainability/)
- Kleinknecht, A., Montfort, K. V., & Brouwer, E. (2002). The non-trivial choice between innovation indicators. *Economics of Innovation and New Technology*, 11(2), 109-121. <https://doi.org/10.1080/10438590210899>
- Knappe, W. (2006). Technologie- und Erfindungsevaluierung in der Frühphase des Innovationsprozesses. In T. Tiefel (Hrsg.), *Strategische Aktionsfelder des Patentmanagements* (S. 1-19). Deutscher Universitäts-Verlag.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-8350-9002-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-8350-9002-6_1)
- Knödler, H. (2019). Nachhaltigkeitsmanagement zwischen Wirtschaft, Ethik, Politik und Gesellschaft. In C. Arnold, S. Keppler, H. Knödler, & M. Reckenfelderbäumer (Hrsg.), *Herausforderungen für das Nachhaltigkeitsmanagement: Globalisierung - Digitalisierung - Geschäftsmodelltransformation* (S. 3-20). Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-27729-1>
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften. (2001). *Grünbuch: Europäische Rahmenbedingungen für die soziale Verantwortung der Unternehmen*. Abgerufen am 24.10.2022 unter <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2001:0366:FIN:DE:PDF>
- Konys, A. (2020). How to support digital sustainability assessment? An attempt to knowledge systematization. *Procedia Computer Science*, 176, 2297-2311. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.09.288>
- Koskow, H., & Gaßner, R. (2008). *Methoden der Zukunfts- und Szenarioanalyse: Überblick, Bewertung und Auswahlkriterien* (WerkstattBericht Nr. 103)
- Kröll, M. (2007). *Methode zur Technologiebewertung für eine ergebnisorientierte Produktentwicklung*. Jost-Jetter Verlag. <https://doi.org/10.18419/opus-4127>
- Küpper, H.-U., Gunther, F., Hofmann, C., Hofmann, Y., & Pedell, B. (2008). *Controlling: Konzeption, Aufgaben, Instrumente* (Bd. 5). Schäffer-Poeschel Verlag.

- Lang-Koetz, C. (2013). Technologiemonitoring zur Unterstützung von Forschung und Entwicklung im Anlagenbau: Ein Fallbeispiel eines international tätigen Systemintegrators. In T. Abele (Hrsg.), *Suchfeldbestimmung und Ideenbewertung: Methoden und Prozesse in den frühen Phasen des Innovationsprozesses* (S. 59-79). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-02184-9>
- Leininger, M. (1994). Evaluation criteria and Critique of Qualitative Research Studies. In J. M. Morse (Hrsg.), *Critical Issues in Qualitative Research Method* (S. 95-115). SAGE Publications.
- Lichtenthaler, U. (2021). Digitainability: The Combined Effects of the Megatrends Digitalization and Sustainability. *Journal of Innovation Management*, 9(2), 64-80. [https://doi.org/10.24840/2183-0606\\_009.002\\_0006](https://doi.org/10.24840/2183-0606_009.002_0006)
- Lingens, B., Winterhalter, S., Krieg, L., & Grassmann, O. (2016). Archetypes and Basic Strategies of Technology Decisions: Understanding the likely impact of a new technology and the uncertainty associated with it can help managers determine the most efficient, effective approach to decision making. *Research-Technology Management*, 59(2), 36-46. <https://doi.org/10.1080/08956308.2015.1137192>
- Linstone, H. A., & Turoff, M. (1975). The Delphi Method: Techniques and Applications. *Journal of Marketing Research*, 18(3). <https://doi.org/10.2307/3150755>
- Lipsmeier, A., Kühn, A., Joppen, R., & Dumitrescu, R. (2020). Process for the development of a digital strategy. *Procedia CIRP*, 88, 173-178. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.031>
- Loebbecke, C. (2006). Digitalisierung - Technologien und Unternehmensstrategien. In C. Scholz (Hrsg.), *Handbuch Medienmanagement* (S. 357-373). Springer. [https://doi.org/10.1007/3-540-32879-3\\_17](https://doi.org/10.1007/3-540-32879-3_17)
- Loew, T., & Rohde, F. (2013). *CSR und Nachhaltigkeitsmanagement: Definitionen, Ansätze und organisatorische Umsetzung im Unternehmen*. Institute for Sustainability. Abgerufen am 07.06.2022 unter [https://www.4sustainability.de/wp-content/uploads/2021/06/Loew\\_Rohde\\_2013\\_CSR-und-Nachhaltigkeitsmanagement.pdf](https://www.4sustainability.de/wp-content/uploads/2021/06/Loew_Rohde_2013_CSR-und-Nachhaltigkeitsmanagement.pdf)
- Lorentsichitsch, B., & Walker, T. (2015). Vom integrierten zum integrativen CSR-Managementansatz. In A. Schneider & R. Schmidpeter (Hrsg.), *Corporate Social Responsibility: Verantwortungsvolle Unternehmensführung in Theorie und Praxis* (Bd. 2, S. 395-412). Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-25399-7>
- Lyon, T., Delmas, M. A., Maxwell, J. W., Bansal, P., Chirolei-Assouline, M., Crifo, P., Durand, R., Gond, J.-P., King, A., Lenox, M., Toffel, M. W., Vogel, D., & Wijen, F. (2018). CSR Needs CPR: Corporate Sustainability and Politics. *California Management Review*, 60(4), 5-24. <https://doi.org/10.1177/0008125618778854>
- Machekhina, O. N. (2017). Digital of education as a trend of its modernization and reforming. *Revista Espacios*, 38(40), 26-32. <https://www.revistaespacios.com/a17v38n40/a17v38n40p26.pdf>

- Mansfeld, I. (2022). *Building Information Modeling - 10 gute Gründe für BIM*. Abgerufen am 05.12.2022 unter [https://www.allplan.com/fileadmin/user\\_upload/countries/austria/pdfs/products/170306\\_Whitepaper\\_BIM\\_AT.pdf](https://www.allplan.com/fileadmin/user_upload/countries/austria/pdfs/products/170306_Whitepaper_BIM_AT.pdf)
- Martin, W. T., & Sharp, J. M. (1973). Reverse Factor Analysis: A Modification of Relevance Tree Techniques. *Technological Forecasting and Social Change*, 4, 355-373. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(73\)90076-0](https://doi.org/10.1016/0040-1625(73)90076-0)
- Martincevic, I. (2022). The correlation between digital technology and digital competitiveness. *International Journal for Quality Research*, 16(2), 541-558. <https://doi.org/10.24874/IJQR16.02-13>
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (2022). *Was verstehen wir unter Nachhaltiger Digitalisierung?*. Abgerufen am 22.12.2022 unter <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/nachhaltigkeit/nachhaltige-digitalisierung/was-verstehen-wir-unter-nachhaltige-digitalisierung>
- Mirasgedis, S., & Diakoulaki, D. (1997). Multicriteria analysis vs. externalities assessment for the comparative evaluation of electricity generation systems. *European Journal of Operational Research*, 102(2), 364-379. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00115-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00115-X)
- Mütze-Niewöhner, S., Latniak, E., Hardwig, T., Nicklich, M., Hacker, W., Harlacher, M., Pietrzyk, U., & Kauffeld, S. (2021). Projekt- und Teamarbeit in der digitalisierten Arbeitswelt. In S. Mütze-Niewöhner, W. Hacker, T. Hardwig, S. Kauffeld, E. Latniak, M. Nicklich, & U. Pietrzyk (Hrsg.), *Projekt- und Teamarbeit in der digitalisierten Arbeitswelt: Herausforderungen, Strategien und Empfehlungen* (S. 1-30). Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-62231-5>
- Naumann, S., Kern, E., Dick, M., & Johann, T. (2015). Sustainable Software Engineering: Process and Quality Models, Life Cycle, and Social Aspects. In L. M. Hilty & B. Aebischer (Hrsg.), *ICT Innovations for Sustainability: Advances in Intelligent Systems and Computing* (S. 191-205). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-09228-7\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09228-7_11)
- Nutt, D. J., Lenz, R. C. J., Lanford, H. W., & Clearly, M. J. (1976). Data Sources for Trend Extrapolation in Technological Forecasting. *Long Range Planning*, 9(1), 72-76. [https://doi.org/10.1016/0024-6301\(76\)90169-2](https://doi.org/10.1016/0024-6301(76)90169-2)
- Oberschmidt, J. (2010). *Multikriterielle Bewertung von Technologien zur Bereitstellung von Strom und Wärme* (Bd. ISI-Schriftenreihe Innovationspotenziale). Fraunhofer Verlag. <https://d-nb.info/1010696106/34>
- Oritz, O., Castells, F., & Sonnemann, G. (2009). Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials*, 23, 28-39. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.11.012>
- Osburg, T. (2017). Sustainability in a Digital World Needs Trust. In T. Osburg & C. Lohrmann (Hrsg.), *Sustainability in a Digital World: New Opportunities Through New Technologies* (S. 3-20). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-54603-2>

- Oswald, G., Setzke, D. S., Riasanow, T., & Krcmar, H. (2018). Technologietrends in der digitalen Transformation. In G. Oswald & H. Krcmar (Hrsg.), *Digitale Transformation: Fallbeispiele und Branchenanalysen* (S. 11-34). Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-22624-4>
- Parviainen, P., Kääriäinen, J., Tihinen, M., & Teppola, S. (2017). Tackling the digitalization challenge: how to benefit from digitalization in practice. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 5(1), 63-77. <https://doi.org/10.12821/ijispm050104>
- Pfadenhauer, M. (2004). Wie forschen Trendforscher? Zur Wissensproduktion in einer umstrittenen Branche. *Forum: Qualitative Sozialforschung*, 5(2). <https://doi.org/10.17169/fqs-5.2.602>
- Pfeiffer, W., & Weiß, E. (1995). Methoden zur Analyse und Bewertung technologischer Alternativen. In E. Zahn (Hrsg.), *Handbuch Technologiemanagement* (S. 663-680). Schäffer-Poeschel Verlag.
- Placet, M., Anderson, R., & Fowler, K. M. (2005). Strategies for Sustainability. *Research-Technology Management*, 48(5), 32-41. <https://doi.org/10.1080/08956308.2005.11657336>
- Pleschak, F., & Sabisch, H. (1996). *Innovationsmanagement*. Schäffer-Poeschel.
- Pūraitė, A., Adamonienė, R., & Žemeckė, A. (2020). Sustainable Digitalization in Public Institutions: Challenges for Human Rights. *European Journal of Sustainable Development*, 9(3), 91-102. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2020.v9n3p91>
- Purvis, B., Mao, Y., & Robinson, D. (2019). Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. *Sustainability Science*, 14(3), 681-695. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5>
- PwC. (2021). *Digitalisierung, Nachhaltigkeit und Corona in der Bauindustrie: Eine PwC-Studie zum Umgang der Branche mit den drei aktuellen Herausforderungen*. PricewaterhouseCoopers GmbH. <https://www.pwc.de/de/digitale-transformation/pwc-studie-digitalisierung-nachhaltigkeit-und-corona-in-der-bauindustrie.pdf>
- Randhahn, A., Kerbusch, J., Gaaß, M., & Richter, M. (2020). Digitalisierung - Segen oder Fluch für den Klimaschutz? In W. Volker (Hrsg.), *Klima* (S. 180-194). Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-62195-0>
- Regona, M., Yigitcanlar, T., Xia, B., & Li, R. Y. M. (2022). Opportunities and Adoption Challenges of AI in the Construction Industry: A PRISMA Review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(1), 1-31. <https://doi.org/10.3390/joitmc8010045>
- Reis, J., Amorim, M., Melão, N., Cohen, Y., & Rodrigues, M. (2020). Digitalization: A Literature Review and Research Agenda. In Z. Anisic, B. Lalic, & D. Gracanin (Hrsg.), *Proceedings on 25th International Joint Conference on Industrial Engineering and Operations Management – IJCIEOM* (S. 443-456). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-43616-2\\_47](https://doi.org/10.1007/978-3-030-43616-2_47)
- Remy, C., Bates, O., Thomas, V., & Huang, E. M. (2017). The Limits of Evaluating Sustainability. *Proceedings of ACM Third Workshop on Computing within Limits*, 103-110. <https://doi.org/10.1145/3080556.3080567>

- Rieke, T., & Sardoux Klasen, A. (2019). Einführung von digitalen Technologien in KMU - Vorgehensmodell und Technology Evaluation Canva. In O. Linssen, M. Mikusz, A. Volland, E. Yigitbas, M. Enstler, M. Fazal-Baqaie, & M. Kuhmann (Hrsg.), *Projektmanagement und Vorgehensmodelle 2019: Neue Vorgehensmodelle in Projekten - Führung, Kulturen und Infrastrukturen im Wandel*. Gesellschaft für Informatik.
- Roy, B. (2005). Paradigms and Challenges. In S. Greco, M. Ehr Gott, & J. R. Figueira (Hrsg.), *Multiple Criteria Decision Analysis* (Bd. 2, S. 19-39). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4>
- Ruiz De Villa Suárez, G., Bax, B., & Reyes Ferres, A. (2022). *Green Coding*. GFT Technologies. Abgerufen am 02.06.2022 unter <https://www.gft.com/it/it/dam/jcr:03015de2-79bd-4444-b62c-25a9e8cfc0f5/Green-Coding.pdf>
- Sacks, R., Brilakis, I., Pikas, E., Xie, H. S., & Girolami, M. (2020). Construction with digital twin information systems. *Data-Centric Engineering*, 1(E14). <https://doi.org/10.1017/dce.2020.16>
- Saracco, R., & Henz, P. (2022). Special Issue on Digital Twins - Part 1. *IEEE Internet Computing*, 26(3), 5-6. <https://doi.org/10.1109/MIC.2021.3088318>
- Satyro, W. C., Villas Bôas de Almeida, C. M., Pinto Jr Jr, M. J. A., Contador, J. C., Giannetti, B. F., Ferreira de Lima, A., & Fragomeni, M. A. (2022). Industry 4.0 implementation: The relevance of sustainability and the potential social impact in a developing country. *Journal of Cleaner Production*, 337, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130456>
- Schallmo, D. R. A. (2019). *Jetzt digital transformieren: So gelingt die erfolgreiche Digitale Transformation Ihres Geschäftsmodells* (Bd. 2). Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-23409-6>
- Schallmo, D. R. A., & Lohse, J. (2020). *Digitalstrategie erfolgreich entwickeln: Grundlagen, Ansätze und Vorgehensweisen*. Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-31242-8>
- Schaltegger, S. (2015). Die Beziehung zwischen CSR und Corporate Sustainability. In A. Schneider & R. Schmidpeter (Hrsg.), *Corporate Social Responsibility. Verantwortungsvolle Unternehmensführung in Theorie und Praxis* (Bd. 2, S. 199–209). <https://doi.org/10.1007/978-3-662-43483-3>
- Schellinger, J., Tokarski, K. O., & Kissling-Näf, I. (2020). Von der digitalen Transformation zur digitalen Unternehmensführung. In J. Schellinger, K. O. Tokarski, & I. Kissling-Näf (Hrsg.), *Digitale Transformation und Unternehmensführung: Trends und Perspektiven für die Praxis* (S. 1-10). Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-26960-9>
- Schneider, A. (2015). Reifegradmodell CSR – eine Begriffsklärung und -abgrenzung. In A. Schneider & R. Schmidpeter (Hrsg.), *Corporate Social Responsibility: Verantwortungsvolle Unternehmensführung in Theorie und Praxis* (Bd. 2, S. 21-42). Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-25399-7>
- Schneider, E. (2002). *Integrative Ansätze der Technologiebewertung*. Diplomica Verlag GmbH.

- Schneijderberg, C., Wieczorek, O., & Steinhardt, I. (2022). *Qualitative und quantitative Inhaltsanalyse: digital und automatisiert: Eine anwendungsorientierte Einführung mit empirischen Beispielen und Softwareanwendungen*. Beltz Juventa.
- Schoemaker, P., & Day, G. S. (2009). How to Make Sense of Weak Signals. *MIT Sloan Management Review*, 50(3), 81-89. <https://sloanreview.mit.edu/article/how-to-make-sense-of-weak-signals/>
- Schulte-Gehrmann, A.-L., Klappert, S., Schuh, G., & Hoppe, M. (2011). Technologiestrategie. In G. Schuh & S. Klappert (Hrsg.), *Technologiemanagement: Handbuch Produktion und Management 2* (Bd. 2, S. 55-88). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12530-0>
- Singh, K., & Misra, M. (2021). Linking Corporate Social Responsibility (CSR) and Organizational Performance: the moderating effect of corporate reputation. *European Research on Management and Business Economics*, 27(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.iedeen.2020.100139>
- Spath, D., & Renz, K.-C. (2005). Technologiemanagement. In S. Albers & O. Gassmann (Hrsg.), *Handbuch Technologie- und Innovationsmanagement* (S. 229-246). Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-322-90786-8>
- Specht, D., & Mieke, C. (2004). Weitsicht durch Analyse: Das Technologie-Roadmapping profitiert von der Patentanalyse als Informationsquelle. *Wissenschaftsmanagement-Zeitschrift für Innovation*, 3, 21-25. [https://www.wissenschaftsmanagement.de/dateien/dateien/management/download/dateien/wim\\_2004\\_03\\_dieter\\_specht\\_christian\\_mieke\\_weitsicht\\_durch\\_analyse.pdf](https://www.wissenschaftsmanagement.de/dateien/dateien/management/download/dateien/wim_2004_03_dieter_specht_christian_mieke_weitsicht_durch_analyse.pdf)
- Spur, G. (1998). *Technologie und Management: zum Selbstverständnis der Technikwissenschaft*. Hanser Verlag.
- Steger, S., Wilts, H., Bergs, L., & Bergmann, L. (2022). *Energetische Sanierung von Bestandsgebäuden oder Neubau: Ökologische Bewertung hinsichtlich Materialbedarf, Primärenergieverbrauch und damit verbundenen Treibhausgas-Emissionen*. Wuppertal Institut. [https://ir.leg-se.com/fileadmin/user\\_upload/Presse/Publicationen/Gutachten/140322\\_LEG\\_WI\\_STUDIE\\_FINAL.pdf](https://ir.leg-se.com/fileadmin/user_upload/Presse/Publicationen/Gutachten/140322_LEG_WI_STUDIE_FINAL.pdf)
- Steinbach, J., Deurer, J., Senkpiel, C., Brandes, J., Heilig, J., Berneiser, J., & Kost, C. (2021). *Wege zur Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestandes 2050*. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. Abgerufen am 19.12.2022 unter [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2021/bbsr-online-23-2021-dl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2021/bbsr-online-23-2021-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2)
- Steinke, I. (2004). Quality Criteria in Qualitative Research. In U. Flick, E. v. Kardorff, & I. Steinke (Hrsg.), *A Companion to Qualitative Research* (S. 184-190). SAGE Publications. <https://doi.org/10.1177/136078040601100305>
- Stenfors, T., Kajamaa, A., & Bennett, D. (2020). How to ... Assess the Quality of Qualitative Research. *The Clinical Teacher*, 17(6), 596-599. <https://doi.org/10.1111/tct.13242>

- Suder, A., & Kahraman, C. (2016). Multicriteria analysis of technological innovation investments using fuzzy sets. *Technological and economic development of economy*, 22(2), 235-253. <https://doi.org/10.3846/20294913.2014.994191>
- Thommen, J.-P., Achleitner, A.-K., Gilbert, D. U., Hachmeister, D., & Kaiser, G. (2017). *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre: Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht* (Bd. 8). Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-07768-6>
- Tran, T. A. (2007). *Review of Methods and Tools Applied in Technology Assessment Literature*. PICMET '07 - 2007 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology, Portland. <https://ieeexplore.ieee.org/document/4349490>
- Ulrich, M., & Bachlechner, D. (2020). Wirtschaftliche Bewertung von KI in der Praxis – Status Quo, methodische Ansätze und Handlungsempfehlungen. *HDM Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 57, 46-59. <https://doi.org/10.1365/s40702-019-00576-9>
- United Nations Global Compact. (2021). *UN Global Compact Strategy 2021 - 2023*. Abgerufen am 21.10.2022 unter [https://ungc-communications-assets.s3.amazonaws.com/docs/about\\_the\\_gc/UN-GLOBAL-COMPACT-STRATEGY-2021-2023.pdf](https://ungc-communications-assets.s3.amazonaws.com/docs/about_the_gc/UN-GLOBAL-COMPACT-STRATEGY-2021-2023.pdf)
- Value Balancing Alliance. (2022). *Who we are and what we fight for*. Abgerufen am 21.10.2022 unter <https://www.value-balancing.com/en/about-us.html>
- VDI 3780. (1991). *VDI-Richtlinie 3780: Technikbewertung – Begriffe und Grundlagen*. Beuth.
- Vereinte Nationen. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Abgerufen am 05.12.2022 unter <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- Vereinte Nationen. (2015). *Resolution der Generalversammlung, verabschiedet am 25. September 2015*. Abgerufen am 21.10.2022 unter <https://www.un.org/depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf>
- Vereinte Nationen. (2022). *Ziele für nachhaltige Entwicklung*. Abgerufen am 08.12.2022 unter <https://unric.org/de/17ziele/>
- Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Models (BIM) for existing buildings: literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109-127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
- Vorbach, S. (2014). Strategie- und Technologieinnovation. In P. Granig, E. Hartlieb, & H. Lercher (Hrsg.), *Innovationsstrategien: Von Produkten und Dienstleistungen zu Geschäftsmodellinnovationen* (S. 201-215). Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01032-4>
- Wall, F., & Leitner, S. (2012). Die Relevanz der Nachhaltigkeit für unternehmerische Entscheidungen. *Controlling*, 4(5), 255-268. <https://doi.org/10.15358/0935-0381-2012-4-5-255>

- Wall, J., Passer, A., Hofstadler, C., & Kreiner, H. (2014). *Auswirkung der Energiepolitik auf die Bauwirtschaft: Implementierung von Nachhaltigkeitsanforderungen in die Ausschreibung und Vergabe von Bauleistungen*. 13. Symposium Energieinnovation, Graz.  
[https://www.tugraz.at/fileadmin/user\\_upload/Events/Eninnov2014/files/lf/LF\\_Wall.pdf](https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Events/Eninnov2014/files/lf/LF_Wall.pdf)
- Wang, J., Wang, X., Shou, W., & Xu, B. (2014). Integrating BIM and augmented reality for interactive architectural visualisation. *Construction Innovation*, 14(4), 453-476. <https://doi.org/10.1108/CI-03-2014-0019>
- Wang, X. (2009). Augmented Reality in Architecture and Design: Potentials and Challenges for Application. *International Journal of Architectural Computing*, 7(2), 309-326. <https://doi.org/10.1260/147807709788921985>
- Wang, Z. (2020). Digital Twin Technology. In T. Bányai & A. De Felice (Hrsg.), *Industry 4.0-Impact on Intelligent Logistics and Manufacturing* (S. 95-114). IntchOpen.  
<https://doi.org/10.5772/intechopen.80974>
- Wartzack, S. (2021a). Auswahl- und Bewertungsmethoden. In I. Benbasat & K. Gericke (Hrsg.), *Pahl/Breitz Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung* (Bd. 9, S. 307-334). Springer Vieweg.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-662-57303-7>
- Wellensiek, M., Schuh, G., Hacker, P. A., & Saxler, J. (2011). Technologiefrüherkennung. In G. Schuh & S. Klappert (Hrsg.), *Technologiemanagement: Handbuch Produktion und Management 2* (S. 89-169). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12530-0>
- Wolfrum, B. (1991). *Strategisches Technologiemanagement*. Springer Fachmedien.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-663-06893-8>
- Wut, T. M., Lee, D., Map Ip, W., & Lee, S. W. (2021). Digital Sustainability in the Organization: Scale Development and Validation. *Sustainability*, 13, 1-14.  
<https://doi.org/10.3390/su13063530>
- Zangemeister, C. (1973). *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik: Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen*. Wittmann.
- Zimmermann, F. M. (2016). Was ist Nachhaltigkeit - eine Perspektivenfrage? In F. M. Zimmermann (Hrsg.), *Nachhaltigkeit wofür? Von Chancen und Herausforderungen für eine nachhaltige Zukunft* (S. 1-24). Springer-Verlag.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-48191-2>
- Zukunftsinstitut. (2022a). *Die Megatrends*. Abgerufen am 02.06.2022 unter <https://www.zukunftsinstitut.de/dossier/megatrends/>
- Zukunftsinstitut. (2022b). *Glossar Konnektivität: Trendbegriffe und Definitionen*. Abgerufen am 02.06.2022 unter <https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/megatrend-glossar/konnektivitaet-glossar/>
- Zukunftsinstitut. (2022c). *Glossar Neo-Ökologie: Trendbegriffe und Definitionen*. Abgerufen am 28.10.2022 unter <https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/megatrend-glossar/neo-oekologie-glossar/>

- Zukunftsinstitut. (2022d). *Megatrend Gesundheit: Was müssen Arbeitgeber leisten?* Abgerufen am 15.09.2022 unter <https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/health-trends/megatrend-gesundheit-was-muessen-arbeitgeber-leisten/>
- Zukunftsinstitut. (2022e). *Megatrend Konnektivität*. Abgerufen am 02.06.2022 unter <https://www.zukunftsinstitut.de/dossier/megatrend-konnektivitaet/>
- Zukunftsinstitut. (2022f). *Megatrend Neo-Ökologie*. Abgerufen am 02.06.2022 unter <https://www.zukunftsinstitut.de/dossier/megatrend-neo-oekologie/>
- Zukunftsinstitut. (2022g). *Megatrend New Work*. Abgerufen am 13.06.2022 unter <https://www.zukunftsinstitut.de/dossier/megatrend-new-work/>
- Zukunftsinstitut. (2022h). *Verschiedene Trends und Trendkategorien*. Abgerufen am 02.06.2022 unter <https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/trends-grundlagenwissen/>

## Anhang

<b>1</b>	<b>Sustainable Development Goals .....</b>	<b>XXIII</b>
<b>2</b>	<b>Bewertungskriterien der Technologiebewertung .....</b>	<b>XXIV</b>
<b>3</b>	<b>Fallstudie.....</b>	<b>XXVI</b>
3.2	Interview-Protokoll .....	XXVI
3.3	Bewertung des gegenwärtigen Zeitpunkts .....	XXVIII
3.3.1	Technologiepotenzial.....	XXVIII
3.3.2	Nachhaltigkeitspotenzial .....	XXIX
3.4	Zukunftspotenzial der Fallstudie .....	XXXI
3.4.1	Gewichtung der Bewertungskriterien .....	XXXI
3.4.2	Technologiepotenzial des Zukunftspotenzials.....	XXXII
3.4.3	Nachhaltigkeitspotenzial des Zukunftspotenzials .....	XXXIII

# 1 Sustainable Development Goals

Nachfolgend ist eine Beschreibung der 17 Nachhaltigkeitsziele der UN zu finden.

*Tabelle 1: Sustainable Development Goals (In Anlehnung an Vereinte Nationen, 2015, S. 15; 2022, Abschnitt 3)*

<b>SDG</b>	<b>Beschreibung</b>
SDG 1	<b>Keine Armut</b> Armut in allen Formen und überall beenden.
SDG 2	<b>Kein Hunger</b> Den Hunger beenden, Ernährungssicherheit und eine bessere Ernährung erreichen und eine nachhaltige Landwirtschaft fördern.
SDG 3	<b>Gesundheit und Wohlergehen</b> Ein gesundes Leben für alle Menschen jeden Alters gewährleisten und ihr Wohlergehen fördern.
SDG 4	<b>Hochwertige Bildung</b> Inklusive, gleichberechtigte und hochwertige Bildung gewährleisten und Möglichkeiten des lebenslangen Lernens für alle fördern.
SDG 5	<b>Geschlechtergleichheit</b> Geschlechtergleichstellung erreichen und alle Frauen und Mädchen zur Selbstbestimmung befähigen.
SDG 6	<b>Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen</b> Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung für alle gewährleisten.
SDG 7	<b>Bezahlbare und Saubere Energie</b> Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und moderner Energie für alle sichern.
SDG 8	<b>Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum</b> Dauerhaftes, inklusives und nachhaltiges Wirtschaftswachstum, produktive Vollbeschäftigung und menschenwürdige Arbeit für alle fördern.
SDG 9	<b>Industrie, Innovation und Infrastruktur</b> Eine widerstandsfähige Infrastruktur aufbauen, inklusive und nachhaltige Industrialisierung fördern und Innovationen unterstützen.
SDG 10	<b>Weniger Ungleichheiten</b> Ungleichheit in und zwischen Ländern verringern.
SDG 11	<b>Nachhaltige Städte und Gemeinden</b> Städte und Siedlungen inklusiv, sicher, widerstandsfähig und nachhaltig gestalten.
SDG 12	<b>Nachhaltige/r Konsum und Produktion</b> Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen.
SDG 13	<b>Maßnahmen zum Klimaschutz</b> Umgehend Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen ergreifen.
SDG 14	<b>Leben unter Wasser</b> Ozeane, Meere und Meeresressourcen im Sinne nachhaltiger Entwicklung erhalten und nachhaltig nutzen.
SDG 15	<b>Leben an Land</b> Landökosysteme schützen, wiederherstellen und ihre nachhaltige Nutzung fördern, Wälder nachhaltig bewirtschaften, Wüstenbildung bekämpfen, Bodendegradation beenden und umkehren und dem Verlust der biologischen Vielfalt ein Ende setzen.
SDG 16	<b>Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen</b> Friedliche und inklusive Gesellschaften für eine nachhaltige Entwicklung fördern, allen Menschen Zugang zur Justiz ermöglichen und leistungsfähige, rechenschaftspflichtige und inklusive Institutionen auf allen Ebenen aufbauen.
SDG 17	<b>Partnerschaften zur Erreichung der Ziele</b> Umsetzungsmittel stärken und die Globale Partnerschaft für nachhaltige Entwicklung mit neuem Leben erfüllen.

## 2 Bewertungskriterien der Technologiebewertung

Tabelle 2: Bewertungskriterienübersicht der Technologiebewertung aus der Literatur (Eigene Darstellung)

Literatur	Kriterienklassen und ausgewählte Einzelkriterien
Wolfrum, 1992, S. 155	<p><b>Technologieattraktivität:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Weiterentwicklungspotenziale</li> <li>• Zeitbedarf bis zur Anwendungsreife</li> <li>• Risiko der Entwicklung</li> <li>• Anwendungsbreite</li> <li>• Akzeptanz der Technologie im Unternehmen</li> <li>• Kompatibilität mit anderen Technologien</li> </ul> <p><b>Ressourcenstärke</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologische Leistungsfähigkeit</li> <li>• Interne Potenziale: Sachlich, finanziell und personelle Ressourcen</li> <li>• Leistungsfähigkeit der Forschung und Entwicklung</li> <li>• Besitz von Patenten</li> <li>• Zugang zu externem Know-How</li> <li>• Erfahrungen mit ähnlichen Technologien</li> <li>• Aktionsgeschwindigkeit bei Ausnutzung der Potenziale</li> <li>• Verfügbarkeit von Komplementärtechnologien</li> <li>• Technologievorsprung am Markt</li> </ul>
Pleschak & Sabisch, 1996, S. 175	<p><b>Technische Merkmale:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leistungsfähigkeit</li> <li>• Funktionssicherheit</li> <li>• Modularer Aufbau</li> <li>• Automatisierungsniveau</li> <li>• Flexibilität</li> <li>• Zuverlässigkeit</li> <li>• Integrationsgrad</li> <li>• Steuerungsart</li> <li>• Platzbedarf</li> <li>• Produktqualität</li> </ul> <p><b>Organisatorische Merkmale:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktprogramm</li> <li>• Produktumschlag</li> <li>• Arbeitsteilung</li> </ul> <p><b>Arbeitswissenschaftliche Merkmale:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Funktionsteilung Mensch – Technik</li> </ul> <p><b>Zeitliche Merkmale:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wirksamwerden der Innovationen</li> <li>• Ausbaustufen</li> <li>• Einführung</li> <li>• Lebensdauer</li> </ul> <p><b>Wirtschaftliche Merkmale:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kapitaleinsatz</li> <li>• Kostenersparnis</li> <li>• Gewinnzuwachs</li> <li>• Cash Flow</li> </ul> <p><b>Sonstige Merkmale:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ökologische Folgewirkungen</li> <li>• Gesetzliche Rahmenbedingungen</li> </ul>
Hübner & Jahnes, 1998, S. 386	<p><b>Anwendungsbreite:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anwendungsumfang</li> <li>• Kompatibilität</li> </ul>

- Alternative Rohstoffe
- Synergien

**Technologiediffusion:**

- Diffusionsverlauf
- Zukunftsträchtigkeit
- Technologische Schlüsselstellen
- Eintrittsbarrieren

**Entwicklungsfähigkeit:**

- Entwicklungsaufwand
- Innovationen
- Patententwicklung
- F&E-Schwerpunkte

**Integration:**

- Umweltverträglichkeit
- Gesetzgebung
- Gesellschaftliche Akzeptanz

Spur, 1998 zitiert nach Kröll, 2007, S. 33

**Inhaltliche Kriterien:**

- Anwendungsfall
- Funktionalität
- Umsetzbarkeit

**Zeitliche Kriterien:**

- Wettbewerb
- Trends
- Forschungsdauer
- Entwicklungsdauer

**Qualitative Kriterien:**

- Zuverlässigkeit
- Robustheit
- Flexibilität
- Wartbarkeit

**Wirtschaftliche Kriterien:**

- Investitionsbedarf
- Betriebskosten

**Personelle Kriterien:**

- Mitarbeiterqualifikation
- Personalressourcen

Knappe, 2006, S. 5-18

**Schutzrechtliche Kriterien**

- Positionierung der Technologie gegenüber dem Stand der Technik
- Wirtschaftliche Hebelwirkung des Patentschutzes
- Nachweisbarkeit einer Patentbenutzung

**Technologische Kriterien**

- Produkt- und Kundennutzen
- Realisierbarkeit
- Betroffene Technologiefelder und Entwicklungsszenarios

**Marktbezogene Kriterien**

- Position der Technologie im Markt
- Adressierbares Marktvolumen
- Markteintrittsbarrieren

Kröll, 2007, S. 94-100

**Reifegradbezogene Kriterien**

- **Kosten:** Investitionskosten, Lizenzgebühren, Entwicklungskosten, Fertigungskosten, Montagekosten, Lagerkosten sowie Entsorgungskosten
- **Qualität:** z. B. Leistungsfähigkeit, Verfügbarkeit, Funktionssicherheit
- **Flexibilität:** z. B. Modularisierbarkeit, Standardisierbarkeit, Vernetzbarkeit

## 3 Fallstudie

### 3.2 Interview-Protokoll

**Datum:** 12.09.2022, **Ort:** Architekturbüro MA in Senden an der Iller

**Teilnehmer:** Geschäftsführer des Architekturbüros MM (Interviewter) und Lara Maslowski (Interviewer)

**Themen:** Kurzprofil – Nachhaltige Unternehmensziele – Technologieauswahl – Technologiebewertung

#### **Ergebnis Kurzprofil:**

- Einführung in die Thematik der Forschungsarbeit
- Präsentation der Daten und Fakten des Architekturbüros
- Definition der Zielsetzung, die durch Kooperation im Rahmen der Forschungsarbeit erreicht werden soll

#### **Ergebnis nachhaltige Unternehmensziele:**

Warum ein Umdenken stattfindet

- Nachhaltigkeit ist ein präsent Thema, welches in der Bauindustrie aktuell an Bedeutung gewinnt
  - Green Building wird als die Zukunft angesehen, ist jedoch noch nicht im Handwerk verwurzelt
  - Nachhaltigkeitsziele stellen Bauindustrie vor Herausforderung
- COVID-19 führt zu einem Umdenken im Architekturbüro, da Home Office nicht möglich ist, das Büro aber nicht geschlossen werden kann
  - Technisches Know-How für Basic-Programme wie Zoom fehlt
  - Home Office Ausstattung nicht vorhanden
- Mitarbeiterzufriedenheit ist stetig gesunken
  - Moderne Arbeitsweisen sind noch nicht in der Bauindustrie angekommen
  - Aktivitäten für die Gesundheit und das Wohlbefinden der Mitarbeitenden gibt es nicht

Nachhaltige Unternehmensziele

- Ziele sind bereits vom Unternehmen definiert
- Gemeinsames clustern der Ziele nach den ESG-Dimensionen
- Zuordnung der Ziele zu den SDGs und Bewertung der SDGs nach Relevanz für das Architekturbüro

**Ergebnis Technologieauswahl:**

- Besprechung der potenziellen Technologien, die für Architekturbüro relevant sind
- Auswahl von fünf Technologien für die Technologiebewertung

**Ergebnis Technologiebewertung:**

- Einführung in die *naTech*
- Gemeinsame Gewichtung der Bewertungskriterien der *naTech* für den gegenwärtigen Zeitpunkt und das Zukunftspotenzial
- Potenzialbewertung der Bewertungskriterien des Unternehmenspotenzials der fünf gewählten Technologien für den gegenwärtigen Zeitpunkt und das Zukunftspotenzial

**Datum:** 05.12.2022, **Ort:** Architekturbüro MA in Senden an der Iller

**Teilnehmer:** Geschäftsführer des Architekturbüros MM (Interviewter) und Lara Maslowski (Interviewer)

**Themen:** Vorstellung des Bewertungsergebnisses

**Ergebnis Vorstellung des Bewertungsergebnisses:**

- Kurzpräsentation der *naTech* des gegenwärtigen und zukünftigen Zeitpunkts
- Aussprache einer Handlungsempfehlung hinsichtlich einer Technologie

### 3.3 Bewertung des gegenwärtigen Zeitpunkts

#### 3.3.1 Technologiepotenzial

Tabelle 3: Technologiepotenzial-Begründung der Fallstudie des gegenwärtigen Zeitpunkts

(Eigene Darstellung)

	AR	KI	Online Datensätze	Digital Twin	Virtuelle Kollaborations- tools
Weiterentwicklungspotenzial	5 Ausbau- möglichkeiten der Technologie vorhanden	5 Ausbau- möglichkeiten der Technologie vorhanden	2 Bereits ausgereifte Technologie, wenig Optionen für Weiter- entwicklung	5 Ausbau- möglichkeiten der Technologie vorhanden	2 Bereits ausgereifte Technologie, wenig Optionen für Weiter- entwicklung
Reifegrad der Technologie	5 Bereits ausgereift	3 Anwendung für breite Masse ist ausbaufähig	5 Bereits ausgereift	5 Bereits ausgereift	5 Bereits ausgereift
Zeitliche Verfügbarkeit der Technologie	5 Für Unternehmen verfügbar	3 Unternehmens- optimierte, einfache Anwendung aktuell nicht verfügbar	5 Für Unternehmen sehr einfach verfügbar	5 Für Unternehmen verfügbar	5 Für Unternehmen sehr einfach verfügbar
Technolo- gische Performance	4 Bringt Unternehmen großen Mehrwert	4 Bringt Unternehmen mittleren Mehrwert	5 Bringt Unternehmen einfachen Mehrwert	4 Bringt Unternehmen großen Mehrwert	5 Bringt Unternehmen einfachen Mehrwert
Zuverlässig- keit der Technologie	5 Konstante Verfügbarkeit	3 Konstante, sichere Verfügbarkeit nicht gegeben	5 Konstante Verfügbarkeit	5 Konstante Verfügbarkeit	5 Konstante Verfügbarkeit
Komplexität der Technologie	4 Bedarf spezifisches Wissen, relativ leicht anwendbar	3 Komplexe Technologie, hoher Einarbeitungs- aufwand	5 Bedarf kein Wissen, leicht anwendbar	4 Bedarf spezifisches Wissen, relativ leicht anwendbar	5 Bedarf kein Wissen, leicht anwendbar

### 3.3.2 Nachhaltigkeitspotenzial

Tabelle 4: Nachhaltigkeitspotenzial-Begründung der Fallstudie des gegenwärtigen Zeitpunkts

(Eigene Darstellung)

	AR	KI	Online Datensätze	Digital Twin	Virtuelle Kollaborations-tools
SDG 1: Keine Armut	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung
SDG 2: Kein Hunger	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung
SDG 3: Gesundheit und Wohlergehen	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	4 Remote Work und bessere Vereinheitlichung von Arbeits- und Privatleben
SDG 4: Hochwertige Bildung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	4 Zugang zu Wissen über Online-schulungen
SDG 5: Geschlechtergleichheit	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung
SDG 6: Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung
SDG 7: Bezahlbare und saubere Energie	1 Neutrale Bewertung	5 Bebauung unter Beachtung der Belichtung für besseren Energieverbrauch	3 Suche nach Materialien, die für besseren Energieverbrauch eingesetzt werden können	5 Verwendung von Szenarien, um Energieverbrauch im Gebäude zu optimieren	1 Neutrale Bewertung
SDG 8: Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum	4 Verhinderung von Fehlern und Reduktion der Gesamtaufgabenbelastung	4 Wirtschaftliche Bebauung und Übernahme repetitiver Aufgaben	1 Neutrale Bewertung	4 Effektive Entscheidungen und wirtschaftliche Bauweise	4 Neue Art und Weise des Arbeitens, die auf Arbeitnehmer ausgelegt ist
SDG 9: Industrie, Innovation und Infrastruktur	3 Visualisierung von nachhaltigeren Gebäuden und Infrastrukturen	5 Ermöglichung einer nachhaltigen und robusten Infrastruktur	1 Neutrale Bewertung	4 Innovative Bauweise durch Szenarien	4 Schaffung einer innovativen Arbeitsweise
SDG 10: Weniger Ungleichheiten	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung
SDG 11: Nachhaltige Städte und Gemeinden	4 Visualisierung von nachhaltigeren Gebäuden und Infrastrukturen	5 Ermöglichung einer nachhaltigen und robusten Infrastruktur	3 Identifikation nachhaltigkeitsbezogener Kriterien der Materialien	5 Nachhaltigkeitsanalyse von Gebäuden während des Baus und der anschließenden Nutzung	1 Neutrale Bewertung

SDG 12: Nachhaltige/r Konsum und Produktion  <b>Interpretation im Kontext der Forschung:</b> Konsum im Sinne der Nutzung des Gebäudes; Produktion im Sinne von Planung und Bau des Gebäudes	3 Identifikation von Fehlern und Ressourcen- verschwendung	5 Ermöglichung einer ressourcen- schonenden Bauweise	5 Nachhaltige Produktion durch nachhaltige Material- eigenschaften	5 Nachhaltigkeits- analyse von Gebäuden während dem Bau und der anschließenden Nutzung	1 Neutrale Bewertung
SDG 13: Maßnahmen zum Klimaschutz	5 Identifikation der Ressourcen- verschwendung	5 Ermöglichung der nachhaltigen Infrastruktur	4 Identifikation nachhaltiger Materialien	5 Identifikation von Verschwendung	2 Einsparung von Fahrwegen
SDG 14: Leben unter Wasser	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung
SDG 15: Leben an Land	3 Ressourcen- schonung hält sich in Grenzen, da Visualisierung primär im Vordergrund liegt	4 Beachtung relevanter Einflussfaktoren der Umwelt	5 Reduktion der Belastung bestehender Materialien durch Nutzung nachhaltiger Materialien	4 Analyse des Gebäudes mit Schonung von Ressourcen	2 Reduktion des Kohlenstoff- dioxid- Fußabdrucks
SDG 16: Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung
SDG 17: Partner- schaften zur Erreichung der Ziele	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung

### 3.4 Zukunftspotenzial der Fallstudie

#### 3.4.1 Gewichtung der Bewertungskriterien

Tabelle 5: Technologiepotenzial Kriteriengewichtung des Zukunftspotenzials (Eigene Darstellung)

Technologiepotenzial	Gewichtung	Begründung
Weiterentwicklungspotenzial	1	Unwichtig, da Technologie sich zu einer sicheren „Alltagstechnologie“ entwickelt hat.
Reifegrad der Technologie	2	Wichtig, da ausgereifte Technologien langfristig mit weniger Risiko für das Architekturbüro behaftet sind.
Zeitliche Verfügbarkeit der Technologie	3	Sehr wichtig, da die Verfügbarkeit der Technologie nicht nur kurz-, sondern auch langfristig sichergestellt sein soll.
Technologische Performance	3	Sehr wichtig, da Technologien einen hohen Mehrwert für das Architekturbüro in der Zukunft bringen soll.
Zuverlässigkeit der Technologie	3	Sehr wichtig, da Technologie zukünftig sicher und zuverlässig im Alltagsgeschäft des Architekturbüros integriert sein soll.
Komplexität der Technologie	3	Sehr wichtig, da Technologien, die an Komplexität über die Zeit steigen, nicht für das Architekturbüro aus Aufwandsgründen in Frage kommen.

Tabelle 6: Nachhaltigkeitspotenzial Kriteriengewichtung des Zukunftspotenzials (Eigene Darstellung)

Nachhaltigkeitspotenzial	Gewichtung	Begründung
SDG 1: Keine Armut	0	Unwichtig, da es sich nicht in den nachhaltigen Unternehmenszielen widerspiegelt.
SDG 2: Kein Hunger	0	Unwichtig, da es sich nicht in den nachhaltigen Unternehmenszielen widerspiegelt.
SDG 3: Gesundheit und Wohlergehen	3	Sehr wichtig, Relevanz von Ziel 4 steigt zukünftig.
SDG 4: Hochwertige Bildung	3	Sehr wichtig, Relevanz von Ziel 3 steigt zukünftig.
SDG 5: Geschlechtergleichheit	3	Sehr wichtig, Relevanz von Ziel 3 steigt zukünftig.
SDG 6: Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen	3	Sehr wichtig, Relevanz von Ziel 5 steigt zukünftig.
SDG 7: Bezahlbare und saubere Energie	3	Sehr wichtig, siehe Ziel 2 und Ziel 5.
SDG 8: Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum	3	Sehr wichtig, siehe Ziel 3 und Ziel 4.
SDG 9: Industrie, Innovation und Infrastruktur	2	Wichtig, siehe Ziel 1.
SDG 10: Weniger Ungleichheiten	0	Unwichtig, da es sich nicht in den nachhaltigen Unternehmenszielen widerspiegelt.
SDG 11: Nachhaltige Städte und Gemeinden	3	Sehr wichtig, siehe Ziel 2 und Ziel 5.
SDG 12: Nachhaltig/e Konsum und Produktion	2	Wichtig, siehe Ziel 5.
SDG 13: Maßnahmen zum Klimaschutz	3	Sehr wichtig, siehe Ziel 1, Ziel 2 und Ziel 5.
SDG 14: Leben unter Wasser	0	Unwichtig, da es sich nicht in den nachhaltigen Unternehmenszielen widerspiegelt.
SDG 15: Leben an Land	2	Wichtig, siehe Ziel 5.
SDG 16: Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen	0	Unwichtig, da es sich nicht in den nachhaltigen Unternehmenszielen widerspiegelt.
SDG 17: Partnerschaften zur Erreichung der Ziele	0	Unwichtig, da es sich nicht in den nachhaltigen Unternehmenszielen widerspiegelt.

Tabelle 7: Unternehmenspotenzial-Begründung der Fallstudie des gegenwärtigen Zeitpunkts

(Eigene Darstellung)

Unternehmenspotenzial	Gewichtung	Begründung
Finanzielle Ressourcen	2	Wichtig, da langfristig die monetären Mittel zur Implementierung der Technologie vorhanden sein müssen.
Personelle Ressourcen	3	Sehr wichtig, da nur mit entsprechend vielen Mitarbeitenden, die langfristig verfügbar sind, eine Implementierung der Technologie sinnvoll ist.
Sachliche Ressourcen	1	Unwichtig, da bspw. neue Hardware zukünftig bereits angeschafft ist.
Rechtliche Ressourcen	1	Unwichtig, da keine Eigenentwicklung, die rechtlich geschützt werden muss, vom Architekturbüro in Betracht gezogen wird.
Stabilität der vorhandenen Ressourcen	3	Sehr wichtig, da nur bei kontinuierlicher Verfügbarkeit der benötigten Ressourcen die Implementierung der Technologie erfolgreich ist.
Aktionsgeschwindigkeit	3	Sehr wichtig, da sich die Innovationsgeschwindigkeit neuer Technologien stetig erhöht.
Know-How	3	Sehr wichtig, da nur bei entsprechendem Know-How, das auch zukünftig verfügbar ist, die Technologie erfolgreich angewendet werden kann.
Erfahrung mit ähnlichen Technologien	3	Sehr wichtig, da bereits gesammelte Erfahrungen die technologische Aufgeschlossenheit der Mitarbeitenden des Architekturbüros erhöhen.
Anwendungsbreite	1	Unwichtig, da Technologie in speziellem Anwendungsfall und Kontext verwendet wird, d. h. keine hohe Anwendungsbreite benötigt.
Akzeptanz der Technologie im Unternehmen	3	Sehr wichtig, da langfristige Akzeptanz für die Technologie im Unternehmen verankert werden soll.
Kompatibilität mit anderen Technologien	2	Wichtig, da sich zukünftig die technologische Landschaft des Architekturbüros verändert und die technologische Interoperabilität immer wichtiger wird.

### 3.4.2 Technologiepotenzial des Zukunftspotenzials

Zeithorizont: fünf Jahre

Tabelle 8: Technologiepotenzial-Begründung der Fallstudie des Zukunftspotenzials (Eigene Darstellung)

	AR	KI	Online Datensätze	Digital Twin	Virtuelle Kollaborationstools
Weiterentwicklungspotenzial	5 Ausbau-möglichkeiten der Technologie vorhanden	5 Ausbau-möglichkeiten der Technologie vorhanden	1 keine Optionen für die Weiterentwicklung	5 Ausbau-möglichkeiten der Technologie vorhanden	2 Bereits ausgereifte Technologie, wenig Optionen für Weiterentwicklung
Reifegrad der Technologie	5 Bereits ausgereift	5 Bereits ausgereift	5 Bereits ausgereift	5 Bereits ausgereift	5 Bereits ausgereift
Zeitliche Verfügbarkeit der Technologie	5 Für Unternehmen verfügbar	5 Für Unternehmen verfügbar	5 Für Unternehmen sehr einfach verfügbar	5 Für Unternehmen verfügbar	5 Für Unternehmen sehr einfach verfügbar
Technologische Performance	4 Bringt Unternehmen großen Mehrwert	4 Bringt Unternehmen großen Mehrwert	5 Bringt Unternehmen einfachen Mehrwert	4 Bringt Unternehmen großen Mehrwert	5 Bringt Unternehmen einfachen Mehrwert

Zuverlässigkeit der Technologie	5 Konstante Verfügbarkeit	4 Relativ konstante Verfügbarkeit	5 Konstante Verfügbarkeit	5 Konstante Verfügbarkeit	5 Konstante Verfügbarkeit
Komplexität der Technologie	4 Bedarf spezifisches Wissen, relativ leicht anwendbar	4 Bedarf spezifisches Wissen, relativ leicht anwendbar	5 Bedarf kaum Wissen, leicht anwendbar	4 Bedarf spezifisches Wissen, relativ leicht anwendbar	5 Bedarf kaum Wissen, leicht anwendbar

### 3.4.3 Nachhaltigkeitspotenzial des Zukunftspotenzials

Zeithorizont: fünf Jahre

Tabelle 9: Nachhaltigkeitspotenzial-Begründung der Fallstudie des Zukunftspotenzials (Eigene Darstellung)

	AR	KI	Online Datensätze	Digital Twin	Virtuelle Kollaborationstools
SDG 1: Keine Armut	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung
SDG 2: Kein Hunger	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung
SDG 3: Gesundheit und Wohlergehen	1 Neutrale Bewertung	3 Verbesserung der Sicherheit auf der Baustelle	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	4 Work-Life-Balance-Optimierung
SDG 4: Hochwertige Bildung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	4 Steigerung des Online-schulungsangebots
SDG 5: Geschlechtergleichheit	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung
SDG 6: Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung
SDG 7: Bezahlbare und saubere Energie	4 Integration mit BIM	5 Automatisierte Identifikation von Energielücken	4 Optimierte Baumaterialien für besseren Energiespeicher	5 Analyse des Energieverbrauchs	1 Neutrale Bewertung
SDG 8: Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum	4 Ressourcenoptimierung	4 Übernahme repetitiver Aufgaben	1 Neutrale Bewertung	4 Automatisierte Identifikation von Fehlerquellen	4 Effizientere Arbeitsweise, kürzere Kommunikationswege
SDG 9: Industrie, Innovation und Infrastruktur	4 Visualisierung nachhaltiger Infrastrukturen	5 Effiziente Stadtplanung, automatisierte Identifikation von Fehlerquellen	1 Neutrale Bewertung	4 Digital Twins von Städten, Monitoring von Gebäuden über ganzen Lebenszyklus	4 Effizientere Arbeitsweise, innovative Kollaborationsformen
SDG 10: Weniger Ungleichheiten	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung

SDG 11: Nachhaltige Städte und Gemeinden	5 Visualisierung mit integrierten Nachhaltigkeits- daten	5 Nachhaltiger Städtebau durch Berechnung von nachhaltigen Einflussfaktoren	4 Einfache, schnelle Identifikation nachhaltiger Baumaterialien	5 Digital Twins von Städten, flächen- deckende Identifikation der Betriebseffizienz	2 Reduktion des Verkehrs
SDG 12: Nachhaltige/r Konsum und Produktion  <b>Interpretation im Kontext der Forschung:</b> Konsum im Sinne der Nutzung des Gebäudes; Produktion im Sinne von Planung und Bau des Gebäudes	4 Nachhaltige Planung und Bau von Gebäuden	5 Identifikation von Ressourcen- verschwendung während Bau	5 Daten der Baumaterialien über Nachhaltigkeits- aspekte	5 Identifikation von Ressourcen- verschwendung vor dem Bau und während der Nutzung des Gebäudes	1 Neutrale Bewertung
SDG 13: Maßnahmen zum Klimaschutz	5 Identifikation der Ressourcen- verschwendung	5 Ermöglichung nachhaltiger Infrastrukturen	4 Identifikation nachhaltiger Materialien	5 Identifikation von Verschwendung	3 Verbesserung der Tools hinsichtlich Rechenzentren- leistung
SDG 14: Leben unter Wasser	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung
SDG 15: Leben an Land	4 Anreicherung der Visualisierung mit Ressourcen- daten	4 Identifikation des genauen Ressourcen- verbrauchs zur Einleitung von nachhaltigen Maßnahmen	5 Alternative, nachhaltige Baumaterialien zur Schonung bestehender Ressourcen	4 Evaluation von Daten ermöglicht Einleitung nachhaltiger Maßnahmen während Gebäudebetrieb	2 Schonung der Ressourcen
SDG 16: Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung
SDG 17: Partner- schaften zur Erreichung der Ziele	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung	1 Neutrale Bewertung

