

Kennzahlensystem zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit
im Werkzeugbau

Key Figure System for Managing Holistic Sustainability
in Tool and Die Making

Von der Fakultät für Maschinenwesen
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Riccardo Calchera

Berichter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh
apl. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Boos

Tag der mündlichen Prüfung: 27. April 2026

Vorwort

Die vorliegende Dissertation wurde während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionssystematik des Werkzeugmaschinenlabors WZL der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen verfasst. Ich danke meinem Doktorvater, Herrn Professor Günther Schuh, Inhaber des Lehrstuhls für Produktionssystematik am WZL, gerichtet. Das von ihm geschaffene einzigartige Umfeld praxisnaher, visionärer sowie herausfordernder Forschung hat wesentlich zur Dissertation beigetragen. Ich danke Herrn Professor Wolfgang Boos für die Übernahme des Koreferats, Herrn Professor Jacobs für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes und Herrn Professor Holly für die Übernahme des Prüfungsbeisitzes.

Eine Vielzahl an Industrieprojekten in der Branche Werkzeugbau bildet die Grundlage dieser Arbeit. Für die mir übertragene Verantwortung und die Möglichkeiten zur Weiterentwicklung danke ich Herrn Professor Wolfgang Boos. Durch das Unternehmensnetzwerk der WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH konnte ich spannende Projekte und interessante Unternehmen kennenlernen. Der kontinuierliche Kontakt zu Industrieunternehmen hat mir überdies die Gelegenheit eröffnet, das Thema meiner Dissertation zu entwickeln und schließlich auch zu validieren. Dafür bedanke ich mich insbesondere bei Herrn Daniel Ast von der Fritz Stepper GmbH & Co. KG, Herrn Christopher Fassnacht von der Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH sowie Herrn Johannes Engl von der ENGL Werkzeugbau GmbH.

Ein besonderer Dank gilt meinen ehemaligen Kolleginnen und Kollegen am WZL, besonders denen aus der besten Abteilung – der Abteilung Unternehmensentwicklung. Die vielen gemeinsam verbrachten Stunden, Dienstreisen, die gegenseitige Unterstützung und der stetige Austausch bleiben mir in guter Erinnerung. Meinen Vorgesetzten Dr. Christoph Kelzenberg, Dr. Gerret Lukas und Dr. Bernd Haase möchte ich für Ihren unermüdlichen Einsatz als Vorgesetzte danken. Auch meinen studentischen Mitarbeitenden möchte ich für ihren großen Einsatz danken. Hervorheben möchte ich hier Jannik Schreiber und Jan Greuel. Meinen Abschlussarbeitenden und speziell denen, die zu dieser Arbeit beigetragen haben, namentlich Moritz Schwippert, Fabian Wenzek, Max Tüsch, Julian Wefers und Simone Bartenstein möchte ich für die erfolgreiche Zusammenarbeit danken. Viktoria Krömer danke ich für den Austausch und das hervorragende Lektorat, Lukas Wille danke ich für die gemeinsam verbrachten Nächte in der Bibliothek 1 und Alexandra Elbakyan danke ich für Ihren Einsatz für den freien Zugang zu Wissen.

Mein größter Dank gilt meiner ganzen Familie, auf deren Unterstützung ich mich bei all meinen Unternehmungen – wie auch dieser Promotion – immer verlassen kann. Besonders nennen möchte ich Dr. Heinrich Sielemann, der Vorbild für meinen akademischen Werdegang ist.

Aachen, im Mai 2026

Riccardo Calchera

Zusammenfassung

Das 19. und 20. Jahrhundert war in hohem Maße von der Maxime der Expansion geprägt. In der heutigen Zeit wird deutlich, dass die moderne Zivilisation in hohem Maße auf Umweltzerstörung, globaler Erwärmung und dem Wettbewerb um knappe Ressourcen fußt. Bereits im Jahr 1944 prägte der Wirtschaftssoziologe POLANY den Begriff der „Großen Transformation“. Dieser Begriff bezeichnet die als notwendig erachtete gesamtgesellschaftliche Transformation, die erforderlich ist, um der Weltbevölkerung ein Leben im Wohlstand innerhalb der planetaren Grenzen zu sichern.

Der deutschsprachige Werkzeugbau nimmt bei dieser Transformation eine bedeutende Rolle ein, indem er in der Wertschöpfungskette die Brücke zwischen der Produktentwicklung und der Serienproduktion schlägt und somit einen zentralen Beitrag zur industriellen Produktion leistet. Aus dieser Rolle ergibt sich auch die zentrale Bedeutung für die Nachhaltigkeitsbestrebungen in der gesamten Industrie. Werkzeugbaubetriebe stehen vor der Herausforderung, Nachhaltigkeit mit einem geeigneten Nachhaltigkeitscontrolling umzusetzen.

Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab, einen Lösungsansatz für die Messung und Steuerung der Nachhaltigkeit in den drei Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales im Werkzeugbau zu entwickeln und damit die Dominanz der rein ökonomischen Betrachtung aufzubrechen. Der Lösungsansatz besteht aus einem Gestaltungsmodell, welches sich aus fünf Elementen zusammensetzt. Die Erfolgsfaktoren des Zielbilds „Nachhaltiger Werkzeugbau“ umreißen die relevanten Faktoren für die Zielerreichung. Das Kennzahlensystem detailliert diese Faktoren in messbare Größen. Die Anforderungen an die Datenerfassung definieren die benötigte Datengrundlage zur Erstellung des Kennzahlensystems, während die Stakeholder-Kommunikation anspruchsgerechte Darstellungsformen des Kennzahlensystems für alle relevanten internen Anspruchsgruppen beschreibt. Abschließend ermöglichen die Handlungsfelder und Steuerungsgrößen die tatsächliche Transformation des Werkzeugbaus auf Basis der Erkenntnisse aus dem Kennzahlensystem. Die in dieser Arbeit entwickelten Gestaltungsempfehlungen ermöglichen eine unternehmensindividuelle Anpassung des entwickelten Modells an den jeweiligen Werkzeugbaubetrieb.

Die Validierung der Ergebnisse erfolgte bei den drei Werkzeugbaubetrieben Fritz Stepper GmbH & Co. KG, Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH und ENGL Werkzeugbau GmbH. Der wissenschaftliche Beitrag dieser Arbeit besteht in der Entwicklung eines ganzheitlichen Lösungsansatzes zur Messung und Steuerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass Werkzeugbaubetriebe diesen Ansatz anwenden und ihren Beitrag zur „Großen Transformation“ hin zu einer nachhaltigeren Industrie leisten.

Abstract

The 19th and 20th centuries were primarily characterised by the pursuit of expansion, while in the contemporary era, it has become evident that modern civilisation is predominantly based on environmental destruction, global warming and the competition for limited resources. As early as 1944, the economic sociologist POLANY coined the term “Great Transformation” to denote the necessary societal transformation necessary to ensure that the global population can thrive within the confines of planetary boundaries.

The German-speaking tool and die industry is of particular significance in this transformation, as it serves as a crucial link between the development of products and their subsequent mass production, thus playing a pivotal role in industrial production. This underscores its central importance in facilitating sustainability efforts within the industry. Companies of the tool and die industry in particular face the challenge of integrating sustainability principles into their practices, and the implementation of suitable sustainability controlling.

The overarching objective of this research is to develop a methodology for quantifying and controlling sustainability in the three dimensions environmental, economic and social in the domain of tool and die making. The proposed solution is a design model comprising five components, with the success factors of the target image of sustainable tool and die making delineating the critical factors for achieving the target. The sustainability performance indicator system provides a quantitative framework for evaluating these factors. The data collection requirements stipulate the information necessary to construct the KPI system. The communication with relevant internal stakeholder groups outlines the appropriate forms of presentation of the KPI system. Finally, the fields of action and control variables enable the actual transformation of companies in the tool and die industry based on the findings from the KPI system. The developed model can be adapted to the individual companies by design recommendations.

The validity of the model was confirmed through empirical analysis at the following three companies: Fritz Stepper GmbH & Co. KG, Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH and ENGL Werkzeugbau GmbH. The scientific contribution of this work lies in the development of a holistic approach to measuring and controlling sustainability in companies of the tool and die industry. These companies are now tasked with the implementation of the described approach, thereby contributing to the “Great Transformation” towards a more sustainable industry.

I Inhaltsübersicht

I	Inhaltsübersicht.....	IX
II	Inhaltsverzeichnis.....	XI
III	Abbildungsverzeichnis.....	XV
IV	Tabellenverzeichnis.....	XXV
V	Formelverzeichnis	XXVI
VI	Abkürzungen.....	XXVII
1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation.....	1
1.2	Problemstellung	4
1.3	Zielsetzung der Arbeit	5
1.4	Forschungsansatz der Arbeit	6
1.5	Aufbau der Arbeit	10
2	Grundlagen	13
2.1	Werkzeugbau.....	13
2.2	Nachhaltigkeit	25
2.3	Kennzahlensystem.....	43
2.4	Handlungsbedarf aus der Praxis	49
3	Analyse bestehender Ansätze	53
3.1	Bewertungssystem.....	53
3.2	Anforderungssystem	54
3.3	Beschreibung und Bewertung bestehender Ansätze	61
3.4	Aggregation der Bewertung.....	90
3.5	Handlungsbedarf aus der Theorie	92
3.6	Detaillierung der Forschungsfrage	93
4	Konzeption des Gestaltungsmodells	95
4.1	Grundlagen der Modellbildung	95
4.2	Ordnungsrahmen des Kennzahlensystems	99
4.3	Konzeption des Gestaltungsmodells	100
4.4	Synthese des Gestaltungskonzepts	111

4.5	Kritische Reflexion	113
5	Detaillierung des Gestaltungsmodells	117
5.1	Detaillierung der Erfolgsfaktoren des Zielbilds „Nachhaltiger Werkzeugbau“	117
5.2	Detaillierung des Kennzahlensystems	142
5.3	Detaillierung der Anforderungen an die Datenerfassung	170
5.4	Detaillierung der Kommunikation an interne Anspruchsgruppen	197
5.5	Detaillierung der Handlungsfelder und Steuerungsgrößen	223
5.6	Wechselwirkung der Gestaltungselemente	244
6	Validierung anhand von Fallbeispielen	246
6.1	Fallbeispiel 1: Fritz Stepper GmbH & Co. KG	246
6.2	Fallbeispiel 2: Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH	251
6.3	Fallbeispiel 3: ENGL Werkzeugbau GmbH	256
6.4	Kritische Reflexion der Praxisanwendung	261
7	Zusammenfassung und Ausblick	265
VII	Literaturverzeichnis	269
VIII	Anhang	297

II Inhaltsverzeichnis

I	Inhaltsübersicht.....	IX
II	Inhaltsverzeichnis.....	XI
III	Abbildungsverzeichnis.....	XV
IV	Tabellenverzeichnis.....	XXV
V	Formelverzeichnis	XXVI
VI	Abkürzungen.....	XXVII
1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation.....	1
1.2	Problemstellung	4
1.3	Zielsetzung der Arbeit	5
1.4	Forschungsansatz der Arbeit	6
1.5	Aufbau der Arbeit.....	10
2	Grundlagen	13
2.1	Werkzeugbau.....	13
2.1.1	Begriffsverständnis und Einordnung	13
2.1.2	Branchenstruktur	15
2.1.3	Leistungsspektrum	17
2.1.4	Prozesskette	18
2.1.5	Anspruchsgruppen und Zielsystem	20
2.1.6	Erfolgsfaktoren	21
2.1.7	Aktuelle Herausforderungen des Werkzeugbaus.....	22
2.2	Nachhaltigkeit	25
2.2.1	Begriffsverständnis und Einordnung	26
2.2.2	Nachhaltige Entwicklung	27
2.2.3	Ökologische Nachhaltigkeit	29
2.2.4	Ökonomische Nachhaltigkeit	38
2.2.5	Soziale Nachhaltigkeit	39
2.2.6	Herausforderungen der Nachhaltigkeit	40
2.2.7	Nachhaltigkeit im Werkzeugbau	41
2.3	Kennzahlensystem.....	43

2.3.1	Leistungsmessung	44
2.3.2	Begriffsverständnis und Einordnung von Kennzahlen.....	44
2.3.3	Arten von Kennzahlen	45
2.3.4	Begriffsverständnis und Einordnung von Kennzahlensystemen.....	46
2.3.5	Arten von Kennzahlensystemen	47
2.4	Handlungsbedarf aus der Praxis	49
3	Analyse bestehender Ansätze	53
3.1	Bewertungssystem.....	53
3.2	Anforderungssystem	54
3.2.1	Allgemeine Anforderungen	55
3.2.2	Werkzeugbaubezogene Anforderung	56
3.2.3	Problemspezifische Anforderungen	57
3.3	Beschreibung und Bewertung bestehender Ansätze	61
3.3.1	Vorgehen zur systematische Literaturrecherche.....	62
3.3.2	Unternehmensbezogene Nachhaltigkeitsmessung	64
3.3.3	Systembezogene Nachhaltigkeitsmessung	76
3.3.4	Prozessbezogene Nachhaltigkeitsmessung	83
3.4	Aggregation der Bewertung.....	90
3.5	Handlungsbedarf aus der Theorie	92
3.6	Detaillierung der Forschungsfrage	93
4	Konzeption des Gestaltungsmodells	95
4.1	Grundlagen der Modellbildung	95
4.1.1	Systemwissenschaft.....	95
4.1.2	Modellierung von Systemen	97
4.2	Ordnungsrahmen des Kennzahlensystems.....	99
4.2.1	Reales System	99
4.2.2	Zielsetzung des Gestaltungsmodells	99
4.2.3	Zielgruppe des Gestaltungsmodells	99
4.2.4	Zeitraum der Nutzung.....	100
4.3	Konzeption des Gestaltungsmodells	100
4.3.1	Herleitung des Aufbaus der Konzeption	100
4.3.2	Herleitung der Gestaltungselemente	105

4.4	Synthese des Gestaltungskonzepts	111
4.5	Kritische Reflexion	113
5	Detaillierung des Gestaltungsmodells	117
5.1	Detaillierung der Erfolgsfaktoren des Zielbilds „Nachhaltiger Werkzeugbau“	117
5.1.1	Grundlagen	118
5.1.2	Zielbild „Nachhaltiger Werkzeugbau“	121
5.1.3	Identifikation der Erfolgsfaktoren	131
5.1.4	Bewertung der Ziele und Erfolgsfaktoren.....	136
5.2	Detaillierung des Kennzahlensystems.....	142
5.2.1	Grundlagen	143
5.2.2	Definition der relevanten Kennzahlen für den nachhaltigen Werkzeugbau ..	148
5.2.3	Analyse der Beziehung der Kennzahlen zueinander	161
5.2.4	Bewertung der Kennzahlen für die Zielerreichung	163
5.3	Detaillierung der Anforderungen an die Datenerfassung	170
5.3.1	Grundlagen	171
5.3.2	Identifikation und Beschreibung der notwendigen Datengrundlage	174
5.3.3	Kategorisierung der Eingangsgrößen in Datengruppen	179
5.3.4	Definition der Anforderungen an die identifizierten Datengruppen	181
5.3.5	Exkurs: Ansatz zur Erhebung der Eingangsgrößen	194
5.4	Detaillierung der Kommunikation an interne Anspruchsgruppen	197
5.4.1	Grundlagen	197
5.4.2	Identifikation der relevanten internen Anspruchsgruppen	200
5.4.3	Definition der Anforderungen der einzelnen Anspruchsgruppen	203
5.4.4	Gestaltung einer anforderungsgerechten Kommunikation	210
5.5	Detaillierung der Handlungsfelder und Steuerungsgrößen	223
5.5.1	Grundlagen	223
5.5.2	Herleitung der Handlungsfeldern aus den Erfolgsfaktoren.....	226
5.5.3	Priorisierung der Handlungsfelder nach Zeit und Nutzen.....	233
5.5.4	Definition der Steuerungsgrößen für einzelne Handlungsfelder	238
5.6	Wechselwirkung der Gestaltungselemente	244
6	Validierung anhand von Fallbeispielen.....	246

6.1	Fallbeispiel 1: Fritz Stepper GmbH & Co. KG.....	246
6.1.1	Anwendung	247
6.1.2	Fazit	250
6.2	Fallbeispiel 2: Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH	251
6.2.1	Anwendung	252
6.2.2	Fazit	255
6.3	Fallbeispiel 3: ENGL Werkzeugbau GmbH	256
6.3.1	Anwendung	256
6.3.2	Fazit	261
6.4	Kritische Reflexion der Praxisanwendung	261
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	265
VII	Literaturverzeichnis.....	269
VIII	Anhang.....	297

III Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Konzept der doppelten Entkopplung bestehend aus Effizienz und Suffizienz (a) neben den fünf Dimensionen der „Großen Transformation“ sowie den fünf Akteursgruppen, die die sieben Turnaround-Arenen beeinflussen (b) i. A. a. SCHNEIDEWIND	3
Abbildung 1.2: Forschungsmethodisches Vorgehen i. A. a. ULRICH UND HILL ergänzt um die Ingenieurwissenschaften	7
Abbildung 1.3: Forschungsmethodisches Vorgehen i. A. a. TOMACZAK und KUBICEK.....	9
Abbildung 1.4: Heuristischer Bezugsrahmen	9
Abbildung 1.5: Aufbau der Arbeit entsprechend dem Vorgehen der angewandten Forschung i. A. a. ULRICH	11
Abbildung 2.1: Vergleich zwischen internem und externem Werkzeugbau nach EVERSHEIM ET.AL.	14
Abbildung 2.2: Organisationsformen interner Werkzeugbaubetriebe i. A. a. KUHLMANN und EVERSHEIM ET AL.	15
Abbildung 2.3: Übersicht der Struktur der Branche Werkzeugbau in Deutschland i. A. a. WBA	16
Abbildung 2.4: Entwicklung der Umsatzrendite in der Branche Werkzeugbau 2016 bis 2022 i. A. a. WBA	17
Abbildung 2.5: Leistungsspektrum des Werkzeugbaus nach EVERSHEIM ET AL.....	18
Abbildung 2.6: Prozesskette des Werkzeugbaus i. A. a. EVERSHEIM	19
Abbildung 2.7: Konkurrierende Anforderung an den Werkzeugbau der beiden zentralen Anspruchsgruppen i. A. a. EVERSHEIM ET AL.....	21
Abbildung 2.8: Erfolgsfaktoren des Werkzeugbaus i. A. a. KOZIELSKI	22
Abbildung 2.9: Langfristige und akute Herausforderungen im Werkzeugbau	24
Abbildung 2.10:Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit i. A. a. HAUFF (a) und Zielgebiet der nachhaltigen Entwicklung i. A. a. WÜHLE (b)	28

Abbildung 2.11: Die 17 SDGs, Darstellung der Vereinten Nationen.....	29
Abbildung 2.12: Schematische Darstellung eines CO ₂ e-Fußabdrucks, der eine Vielzahl von Unternehmensaktivitäten zeigt.....	34
Abbildung 2.13: Die verschiedenen PCF-Systemgrenzen: Gate-to-Gate, Cradle-to-Gate, Cradle-to-Grave / Cradle-to-Cradle	36
Abbildung 2.14: Scope-Gliederung entlang der Wertschöpfungskette mit Beispielen und angepassten Kategorien i. A. a. Bhatia	38
Abbildung 2.15: Arten von Kennzahlen i. A. a. STAEHLE	46
Abbildung 2.16: Arten von Kennzahlensystemen i. A. a. GLADEN	47
Abbildung 2.17: Beispiel für ein Rechensystem anhand des ZVEI-Kennzahlensystems i. A. a. ZVEI	48
Abbildung 2.18: Umfrageergebnis zum zentralen Hemmnis des Werkzeugbaus bei der Steigerung der Nachhaltigkeit	52
Abbildung 3.1: Ausprägungen des Bewertungssystems	54
Abbildung 3.2: Anforderungen an ein Kennzahlensystem i. A. a. BROWN	55
Abbildung 3.3: Herleitung spezifischer Anforderungen eines Kennzahlensystems zur Nachhaltigkeitsmessung im Werkzeugbau.....	58
Abbildung 3.4: Zusammenfassung der Anforderungen für die Bewertung von Ansätzen zur Messung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau	61
Abbildung 3.5: Übersicht relevanter Forschungsansätze	64
Abbildung 3.6: Aufbau des integrativen Kennzahlenmodells i. A. a. KOZIELSKI	65
Abbildung 3.7: Bewertung des integrativen Kennzahlensystems nach KOZIELSKI	67
Abbildung 3.8: Modell der Kombination von SO-LCA mit Industrie 4.0 i. A. a. GARCIRA-MUINA ET AL.	68
Abbildung 3.9: Bewertung des Modells zur Kombination von SO-LCA mit Industrie 4.0 nach GARCIRA-MUINA ET AL.....	69
Abbildung 3.10: Aufbau des Green manufacturing implementation framework i. A. a. IJAZ ET AL.....	71

Abbildung 3.11: Bewertung des Green manufacturing implementation framework nach IJAZ ET AL.....	72
Abbildung 3.12: Das Grundmodell des Tools zur Nachhaltigkeitsbewertung i. A. a. CHEN ET AL.....	73
Abbildung 3.13: Bewertung des Tools zur Nachhaltigkeitsbewertung von CHEN ET AL.....	74
Abbildung 3.14: Aufbau der indexbasierten Nachhaltigkeitsbewertung i. A. a. KALDAS ET AL.	75
Abbildung 3.15: Bewertung der indexbasierten Nachhaltigkeitsbewertung nach KALDAS ET AL.	76
Abbildung 3.16: Ansatz zur datengestützten Gestaltung des nachhaltigen Werkzeuglebenszyklus i. A. a. SCHWEINS	78
Abbildung 3.17: Bewertung des Ansatzes zur datengestützten Gestaltung des nachhaltigen Werkzeuglebenszyklus nach SCHWEINS.....	80
Abbildung 3.18: Aufbau der Bewertung der nachhaltigen Produktionsleistung i. A. a. HUANG UND BADURDEEN.....	82
Abbildung 3.19: Bewertung des Ansatzes zur Bewertung der nachhaltigen Produktionsleistung nach HUANG UND BADURDEEN.....	83
Abbildung 3.20: Aufbau der Nachhaltigkeitsbewertung für Produktionsbetriebe i. A. a. SAXENA ET AL.	84
Abbildung 3.21: Bewertung der Nachhaltigkeitsbewertung für Produktionsbetriebe nach SAXENA ET AL.	85
Abbildung 3.22: Der allgemeine Rahmen für die Nachhaltigkeitsbewertung von Herstellungsprozessen i. A. a. SAAD ET AL.....	87
Abbildung 3.23: Bewertung der Nachhaltigkeitsbewertung von Herstellungsprozessen nach SAAD ET AL.	88
Abbildung 3.24: Nachhaltigkeitsbewertung mechanischer Fertigungssysteme im Industriesektor i. A. a. CAI ET AL.	89
Abbildung 3.25: Bewertung des Ansatzes zur Nachhaltigkeitsbewertung mechanischer Fertigungssysteme im Industriesektor nach CAI ET AL.	90
Abbildung 3.26: Auswertung der Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung in der Industrie	91

Abbildung 4.1: Teilsysteme eines integrativen Kennzahlensystems i. A. a. KOZIELSKI	101
Abbildung 4.2: Aufbau eines Kennzahlensystems i. A. a. BORBE.....	102
Abbildung 4.3: Komponenten eines Kennzahlensystems i. A. a. GOTTMANN	103
Abbildung 4.4: Herleitung des Gestaltungsmodells aus Komponenten eines Kennzahlensystems nach Gottmann und den Phasen des PDCA-Zyklus ..	104
Abbildung 4.5: Gestaltungselement Erfolgsfaktoren des Zielbilds „Nachhaltiger Werkzeugbau“	106
Abbildung 4.6: Gestaltungselement Kennzahlensystem	108
Abbildung 4.7: Gestaltungselement Anforderungen an die Datenerfassung	109
Abbildung 4.8: Gestaltungselement Stakeholder-Kommunikation.....	110
Abbildung 4.9: Gestaltungselement Handlungsfelder und Steuerungsgrößen	111
Abbildung 4.10:Herleitung des Gestaltungsmodells zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau aus den allgemeinen Elementen eines Kennzahlensystems nach GOTTMANN	113
Abbildung 4.11:Anforderungen an ein Gestaltungsmodell zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau.....	115
Abbildung 5.1: Gestaltungselement Erfolgsfaktoren des Zielbilds nachhaltiger Werkzeugbau	117
Abbildung 5.2: Anspruchsgruppen und deren Erwartungen an den nachhaltigen Werkzeugbau.....	122
Abbildung 5.3: Übersicht der vier für den Werkzeugbau relevantesten SDGs	125
Abbildung 5.4: Ergebnis der Bewertung der Nachhaltigkeitsbereiche durch Werkzeugbaubetriebe mit Hilfe der doppelten Wesentlichkeitsanalyse	126
Abbildung 5.5: Herleitung der Ziele und Erfolgsfaktoren für den nachhaltigen Werkzeugbau	127
Abbildung 5.6: Schematische Darstellung der Struktur der Ziele und Erfolgsfaktoren des nachhaltigen Werkzeugbaus.....	128
Abbildung 5.7: Struktur des Zielbilds „Nachhaltiger Werkzeugbau“	129

Abbildung 5.8: Übersicht der strategischen Ziele und der zugehörigen Teilziele.....	130
Abbildung 5.9: Auszug aus der der Tabelle mit der exemplarischen Definition der strategischen Ziele und Teilziele	130
Abbildung 5.10:Übersicht der Erfolgsfaktoren des strategischen Ziels der ökologischen Integrität (E).....	132
Abbildung 5.11:Übersicht der Erfolgsfaktoren des strategischen Ziels der ökonomischen Resilienz (F).....	133
Abbildung 5.12:Übersicht der Erfolgsfaktoren des strategischen Ziels der sozialen Verantwortung (S).....	134
Abbildung 5.13:Übersicht der Erfolgsfaktoren des strategischen Ziels der vorbildlichen Unternehmenskultur (G)	135
Abbildung 5.14:Auszug aus der der Tabelle mit der exemplarischen Definition des Erfolgsfaktors „Kompensation von CO ₂ e“.....	136
Abbildung 5.15:Abgrenzung der beiden Perspektiven der doppelten Wesentlichkeitsanalyse i. A. a. EFRAG	137
Abbildung 5.16:Vorgehen für die Zielbewertung aus der Perspektive der Umwelt und sozialen Wesentlichkeit.....	138
Abbildung 5.17:Koordinatensystem zu Visualisierung der relativen Bewertung der Ziele i. A. a. HINRICHS	140
Abbildung 5.18:Die unternehmensindividuelle Hierarchie der Ziele als Ergebnis der Bewertung	141
Abbildung 5.19:Die unternehmensindividuelle Hierarchie der Erfolgsfaktoren als Ergebnis der Bewertung	142
Abbildung 5.20:Gestaltungsaspekte des Gestaltungselement Kennzahlensystem	143
Abbildung 5.21:Schematische Darstellung des „Haus der Qualität“ i. A. a. SAATWEBER	148
Abbildung 5.22:Systemgrenzen des externen (a) und internen Werkzeugbaus (b).....	150
Abbildung 5.23:Schematische Darstellung der Integration der Kennzahlen in die Struktur des Kennzahlensystems.....	151

Abbildung 5.24:Aufbau der GRI-Standards der Global Reporting Initiative i. A. a. GRI.....	153
Abbildung 5.25:Quellen der Kennzahlensammlung als Grundlage für das Kennzahlensystem	154
Abbildung 5.26:Treiberbaumdarstellung der ökologischen Kennzahlen des Kennzahlensystems.....	155
Abbildung 5.27:Treiberbaumdarstellung der ökonomischen Kennzahlen des Kennzahlensystems.....	156
Abbildung 5.28:Treiberbaumdarstellung der sozialen Kennzahlen des Kennzahlensystems	157
Abbildung 5.29:Treiberbaumdarstellung der Governance-Kennzahlen des Kennzahlensystems.....	158
Abbildung 5.30:Systemflussdiagramm der für die Emissionsberechnung benötigten Eingangsgrößen und der Systemgrenzen	159
Abbildung 5.31:Aufbau des Kennzahlensteckbriefs zur eindeutigen Beschreibung der Kennzahlen.....	161
Abbildung 5.32:Auszug aus der der Tabelle mit der exemplarischen Definition Kennzahl „Schusszahl-Materialverhältnis“	161
Abbildung 5.33:Schematische Korrelationsmatrix als Heatmap zur Darstellung der Beeinflussung der Kennzahlen zueinander	162
Abbildung 5.34:Schematischer Aufbau der Bewertung der Bedeutung der Kennzahlen für das Kennzahlensystem.....	163
Abbildung 5.35:Schematische Korrelationsmatrix als Heatmap zur Darstellung der Beeinflussung der Kennzahlen auf die Erfolgsfaktoren	164
Abbildung 5.36:Struktur zur Bewertung der Bedeutung der Kennzahlen für das Kennzahlensystem und die Zielerreichung.....	166
Abbildung 5.37:Die unternehmensindividuelle Hierarchie der Kennzahlen als Ergebnis der Bewertung	167
Abbildung 5.38:Diagramm der Sensitivitätsanalyse	170

Abbildung 5.39:Gestaltungsaspekte des Gestaltungselement Anforderungen an die Datenerfassung	171
Abbildung 5.40:Schematische Darstellung des Kennzahlensystems inklusive der Datengrundlage	175
Abbildung 5.41:Die Datengrundlage für die Berechnung einer Kennzahl.....	176
Abbildung 5.42:Erweiterung des Kennzahlensteckbriefs um den Daten- und Informationsbedarf	177
Abbildung 5.43:Auszug aus der der Tabelle mit der exemplarischen Definition und Datengrundlage der Kennzahl „Schusszahl-Materialverhältnis“	177
Abbildung 5.44:Die identifizierten und für den Werkzeugbau relevanten Datengruppen des Kennzahlensystems.....	181
Abbildung 5.45:Aufbau des morphologischen Kastens zur Darstellung der Anforderungen an die Datengruppen	183
Abbildung 5.46:Anforderungen an die Datengruppe „Stammdaten“, dargestellt im entwickelten morphologischen Kasten	187
Abbildung 5.47:Anforderungen an die Datengruppe „Bewegungsdaten“, dargestellt im entwickelten morphologischen Kasten	188
Abbildung 5.48:Anforderungen an die Datengruppe „Bestandsdaten“, dargestellt im entwickelten morphologischen Kasten	189
Abbildung 5.49:Anforderungen an die Datengruppe „Bezugsgrößen“, dargestellt im entwickelten morphologischen Kasten	190
Abbildung 5.50:Anforderungen an die Datengruppe „externe Daten“, dargestellt im entwickelten morphologischen Kasten	191
Abbildung 5.51:Die Verbindungen von Organisation, Prozessen und Ressourcen zur Datengewinnung im Werkzeugbau i. A. a. WBA	195
Abbildung 5.52:Verortung des entwickelten Kennzahlensystems im Ordnungsrahmen des digital vernetzten Werkzeugbaus der WBA i. A. a. WBA	196
Abbildung 5.53:Gestaltungsaspekte des Gestaltungselement Stakeholder-Kommunikation	197

Abbildung 5.54: Relevante Hauptaktivitäten der Anspruchsgruppen des Werkzeugbaus entlang der Prozesskette nach KELZENBERG i. A. a. GRABERG	199
Abbildung 5.55: Hierarchieebenen i. A. a. FORSTNER UND DÜMLER erweitert um die drei Ebenen des Werkzeugbaus	201
Abbildung 5.56: Die relevanten internen Anspruchsgruppen des Werkzeugbaus als funktionsorientierten Unternehmensstruktur i. A. a. HENSEN	202
Abbildung 5.57: Aufbau des Kennzahlenfelds „Liniendiagramm“	212
Abbildung 5.58: Aufbau des Kennzahlenfelds „Kreisdiagramm“	212
Abbildung 5.59: Aufbau des Kennzahlenfelds „Balkendiagramm“	213
Abbildung 5.60: Aufbau des Kennzahlenfelds „Spinnendiagramm“	214
Abbildung 5.61: Aufbau des Kennzahlenfelds „Sankey-Diagramm“	215
Abbildung 5.62: Aufbau des Kennzahlenfelds „Ziel und Erfolgsfaktoren“	216
Abbildung 5.63: Auszug aus der der Tabelle mit der exemplarischen Definition, Datengrundlage und Kommunikation der Kennzahl „Schusszahl-Materialverhältnis“	217
Abbildung 5.64: Scorecard Werkzeugbauleitung (1. Hierarchieebene)	218
Abbildung 5.65: Scorecard für die Abteilungsleitung der mechanischen Fertigung (2. Hierarchieebene)	219
Abbildung 5.66: Scorecard für Mitarbeitende der mechanischen Fertigung (3. Hierarchieebene)	220
Abbildung 5.67: Scorecard Nachhaltigkeitsmanagement (2. Hierarchieebene)	221
Abbildung 5.68: Gestaltungsaspekte des Gestaltungselement Handlungsfelder und Steuerungsgrößen	223
Abbildung 5.69: Übersicht der fünf identifizierten Handlungsfelder des nachhaltigen Werkzeugbaus	228
Abbildung 5.70: Beziehung des Handlungsfelds „Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung“ (HF1) zum Kennzahlensystem	229

Abbildung 5.71: Beziehung des Handlungsfelds „Mensch und Gesellschaft“ (HF2) zum Kennzahlensystem	230
Abbildung 5.72: Beziehung des Handlungsfelds „Digitalisierung und Innovation“ (HF3) zum Kennzahlensystem	230
Abbildung 5.73: Beziehung des Handlungsfelds „Lieferketten und Resilienz“ (HF4) zum Kennzahlensystem	231
Abbildung 5.74: Beziehung des Handlungsfelds „Wirtschaftliche Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit“ (HF5) zum Kennzahlensystem	232
Abbildung 5.75: Zuordnung der fünf Handlungsfelder entlang der Wertschöpfungskette des Werkzeugbaus	233
Abbildung 5.76: Allgemeine Systematik der verschiedenen Ebenen von Wirkungsgefügen i. A. a. LÜHR ET AL.	236
Abbildung 5.77: Bewertung von Maßnahmen des nachhaltigen Werkzeugbaus am Beispiel „Angebot von Betriebssport“	237
Abbildung 5.78: Operatives Wirkungsnetz des Beispiels „Angebot von Betriebssport“ i. A. a. ALWERT ET AL.	238
Abbildung 5.79: Auszug aus der der Tabelle mit der Zuordnung der Kennzahlen zu Handlungsfeldern als Steuergrößen	239
Abbildung 5.80: Screenshot der Plattform zur Datenerhebung und Auswertung des CO ₂ e-Werkzeugpass	241
Abbildung 5.81: Screenshot der ReUse-Plattform Tool2Share	242
Abbildung 5.82: Druckgießwerkzeug mit Zuordnung dessen Komponenten zu potenziellen Kreislaufszenarien des BMW Werkzeugbau Landshut	244
Abbildung 6.1: Benutzeroberfläche des Mitarbeitenden-Terminals des Unternehmens Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH	254
Abbildung 6.2: Peer-Zertifikat Matrix 5.0 (2019-2022) nach Gemeinwohl Ökonomie der ENGL Werkzeugbau GmbH	257
Abbildung 6.3: CO ₂ -Einsparungen durch nachhaltige Mobilität der Mitarbeitenden im Jahresrückblick der ENGL Werkzeugbau GmbH	260

Abbildung 7.1: Gestaltungsmodell zur erfolgreichen Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau	266
Abbildung 7.2: Vorgehen für die Bewertung ökologischer, sozialer und governance Ziele aus der Perspektive der finanziellen Wesentlichkeit	325
Abbildung 7.3: Vorgehen für die Bewertung ökonomischer Ziele aus der Perspektive der finanziellen Wesentlichkeit	325
Abbildung 7.4: Analyse der Abhängigkeiten der Kennzahlen des Kennzahlensystems zueinander in einer Korrelationsmatrix	326
Abbildung 7.5: Analyse der Abhängigkeiten der Kennzahlen zu den Erfolgsfaktoren des Kennzahlensystems	327

IV Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Herausforderungen der Nachhaltigkeit nach ROUT ET AL.....	40
Tabelle 3.1:	Übersicht der für die systematische Literaturrecherche nach STARLITE-Methode gewählten Parameter	62
Tabelle 5.1:	Exemplarisches Vorgehen zur Ableitung der Bewertung der Erfolgsfaktoren aus der Bewertung der zugeordneten Ziele	141
Tabelle 5.2:	Gemeinwohl-Matrix 5.0	146
Tabelle 5.3:	Beispiel der Initialisierung einer Datenerfassung nach BROWN.....	194
Tabelle 5.4:	Übersicht der internen Anspruchsgruppen des Werkzeugbaus und deren Anforderungen	209
Tabelle 5.5:	Checkliste zur Kurzbewertung von Nachhaltigkeitsinitiativen im Werkzeugbau nach VDWF	224
Tabelle 5.6:	Beschreibung der Kriterien für die Priorisierung der Handlungsfelder nach NWA	234
Tabelle 7.1:	Überblick über ausgewählte Treibhausgase und ihre GWPs, die deren CO ₂ e darstellen	297
Tabelle 7.2:	Übersicht der ESRS (Unter)-Themen nach ESRS	299
Tabelle 7.3:	Definition der strategischen Ziele, Teilziele, und Erfolgsfaktoren des Kennzahlensystems des nachhaltigen Werkzeugbaus sowie die Kennzahlensteckbriefe.....	302
Tabelle 7.4:	Alphabetische Liste der untersuchten kommerziellen Datenbanken.....	328
Tabelle 7.5:	Alphabetische Liste der untersuchten kostenfreien Datenbanken	331

V Formelverzeichnis

Formel 2.1:	Berechnung des globalen Erwärmungspotenzials (GWP).....	33
Formel 5.1:	Berechnung der Umwelt und sozialen Wesentlichkeit der Teilziele	138
Formel 5.2:	Berechnung der finanziellen Wesentlichkeit der Teilziele	139
Formel 5.3:	Berechnung der Zielgewichtung.....	140
Formel 5.4:	Berechnung der Gewichtung der Erfolgsfaktoren.....	142
Formel 5.5:	Berechnung der Bedeutung der einzelnen Kennzahl für das einzelne Ziel des Kennzahlensystems.....	165
Formel 5.6:	Berechnung der Bedeutung der einzelnen Kennzahl für die gesamte Zielerreichung des Kennzahlensystems.....	165

VI Abkürzungen

CAD	Computer-Aided Design
CCF.....	Company Carbon Footprint
CO ₂ e	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
CSRD	Corporate Sustainability Reporting Directive
DEFRA.....	Department for Environment, Food and Rural Affairs
DNK	Deutschen Nachhaltigkeitskodex
EiP	Excellence in Production
ERP.....	Enterprise Resource Planning
ESG	Environmental, Social and Governance
GHG-Protocol.....	Greenhouse Gas Protocol
GRI.....	Global Reporting Initiative
GWÖ	Gemeinwohlökonomie
GWP	Global Warming Potential
IDEMAT.....	Industrial Design and Engineering Materials
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LCA	Life Cycle Assessment
NC.....	Numerical Control
NGO.....	Non-Governmental Organization
PCF	Product Carbon Footprint
SDG	Sustainable Development Goals
THG	Treibhausgase
VDWF	Verbands Deutscher Werkzeug- und Formenbauer e. V.
WBA.....	WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit beginnt mit der Darstellung der grundlegenden Ausgangslage der deutschen Industrie. Im Anschluss wird diese auf die deutschsprachige Branche Werkzeugbau übertragen, welche den Fokus dieser Arbeit darstellt. Aus dieser Ausgangslage leitet sich die Zielstellung dieser Arbeit ab, die in der zentralen Forschungsfrage formuliert wird. Im Anschluss wird der Forschungsansatz dargelegt, welcher aufzeigt, wie diese Frage beantwortet werden soll. Abschließend wird der Aufbau der Arbeit dargelegt.

1.1 Ausgangssituation

„Wir können die erste Generation sein, der es gelingt, die Armut zu beseitigen, ebenso wie wir die letzte sein könnten, die die Chance hat, unseren Planeten zu retten.“¹

BAN KI-MONN, UN-Generalsekretär von 2007 bis 2016, 25. September 2015

Das 19. und 20. Jahrhundert waren in erster Linie von der Maxime der Expansion geprägt. Die industrielle Moderne kann als eine Epoche bezeichnet werden, die sich durch ein Streben nach materiellem und immateriellem Wohlstand auszeichnet. Gegenwärtig lässt sich jedoch beobachten, dass die moderne Zivilisation in erheblichem Maße auf Umweltzerstörung, globaler Erwärmung und einem Wettbewerb um knappe Ressourcen basiert.²

Bereits im Jahre 1944 prägte der Wirtschaftssoziologe POLANYI den Begriff der „Großen Transformation“ und analysierte damit die Verselbstständigung und Vorherrschaft des Marktes über die Gesellschaft. Ausgehend von der Forderung nach einer Reintegration der Wirtschaft in die Gesellschaft – denn nicht die Interessen der Wirtschaft sollen die Gesellschaft bestimmen, sondern die Gesellschaft soll die Wirtschaft für ihre Zwecke nutzen – wird dieser Begriff heute im Kontext der notwendigen gesamtgesellschaftlichen Veränderungen verwendet, um der Weltbevölkerung ein Leben in Wohlstand innerhalb der planetarischen Grenzen zu sichern³. Die genannten Schwellenwerte lassen sich durch einen nachhaltigen Grenzwert von 8 Tonnen Gesamtmaterialverbrauch (TMC, engl. Total Material Requirement) pro Person und Jahr für 10 Milliarden Menschen am Ende des Jahrhunderts quantifizieren. Der Indikator berücksichtigt jedoch nicht den direkten Verbrauch von Gütern auf der Ebene des einzelnen Verbrauchers, sondern stellt ein umfassendes Maß für alle Materialien und Ressourcen dar, die im gesamten betreffenden Wirtschaftssystem verbraucht werden. Dazu zählen auch indirekt beteiligte Ressourcen, beispielsweise solche, die aus Importen resultieren. Die Utopie der sogenannten 8-Tonnen-Gesellschaft impliziert unter Einbeziehung des Ressourcenverbrauchs verschiedener Bereiche innerhalb eines Wirtschaftssystems eine Reduzierung des Gesamtmaterialverbrauch

¹ Übers. d. Verf. Vgl. Vereinte Nationen (Agenda 2030): 2015, S. 13.

² Vgl. Schneidewind (Die Große Transformation): 2018, S. 7.

³ Vgl. Schneidewind (Die Große Transformation): 2018, 10-12, 121-134; Polanyi (The great transformation): 1944, 11-14, 275-323.

auf etwa ein Fünftel des heutigen Verbrauchs in Deutschland⁴. Gleichzeitig zeigt das deutsche Bruttoinlandsprodukt (BIP) einen allgemeinen Aufwärtstrend. Seit den 1980er Jahren ist ein Rückgang des Materialverbrauchs zu verzeichnen, während die materielle Produktivität, beschrieben durch den Quotienten dieser beiden Indizes, deutlich zugenommen hat. Dies lässt den Schluss zu, dass eine absolute Entkopplung des materiell-ökonomischen Wohlstands vom Ressourcenverbrauch für Deutschland insgesamt bereits postuliert werden kann⁵. Die „Große Transformation“ als sozioökonomisches Paradigma verdeutlicht nach SCHNEIDEWIND, dass eine nachhaltige Entwicklung über die bereits beobachteten technologischen Effizienzgewinne hinaus nur in Kombination mit neuen Wohlstandsmodellen und Konsumverhalten möglich sein wird. Aus den dargelegten Überlegungen wird das Modell der doppelten Entkopplung abgeleitet, welches die beiden Richtungen Effizienz und Suffizienz umfasst (vgl. Abbildung 1.1 (a)). Die Entkopplung erster Ordnung bezieht sich auf die Entkopplung im klassischen Sinne, wie sie von DITTRICH ET AL. verwendet wird. Hierbei wird eine Steigerung der Ökoeffizienz angestrebt. Obschon in dieser Hinsicht in der Vergangenheit Fortschritte erzielt wurden, hat dies noch nicht zu einer absoluten Verringerung der global relevanten Umweltbelastungen beigetragen. Diese Entwicklung ist insbesondere auf die Überkompensation der relativen Einsparungen durch Wachstums- und Rebound-Effekte zurückzuführen. Der Fokus der zweiten Entkopplung liegt auf neuen Wohlstandsmodellen zur Entkopplung von Lebensqualität und materiellem Konsum. Dies erfordert eine Veränderung der makrosozialen und wirtschaftlichen Lebensstile, was einen grundlegenden Bewusstseinswandel mit sich bringt⁶.

Der Große Bewusstseinswandel sowie der damit einhergehende Übergang zu einer 8-Tonnen-Gesellschaft stellen transnationale und generationenübergreifende Unternehmungen von beträchtlicher Tragweite dar. Um Handlungsfähigkeit in verschiedenen gesellschaftlichen Bereichen zu gewährleisten, ist eine Strukturierung der „Großen Transformation“ in ökologische, ökonomische, institutionelle, kulturelle und technologische Umbruchprozesse erforderlich. Die Umsetzung dieser Maßnahmen muss durch inter- und transdisziplinär agierende Akteure vorgebracht werden. Eine weiterführende Untergliederung der fünf Transformationsdimensionen in sieben Arenen des Umbruchs erlaubt die gleichzeitige und kollaborative Gestaltung des Fortschritts durch jeweils fünf Akteursgruppen in gemeinsamer Verantwortung (vgl. Abbildung 1.1 (b)).⁷

⁴ Vgl. Umweltbundesamt (The use of natural resources): 2018, S. 42.

⁵ Vgl. Dittrich et al. (Aktualisierung Ressourcenkennzahlen): 2013, S. 18.

⁶ Vgl. Göpel (The Great Mindshift): 2016, S. 149–169; Schneidewind (Die Große Transformation): 2018, 54–64, 155–166.

⁷ Vgl. Schneidewind (Die Große Transformation): 2018, S. 11–16.

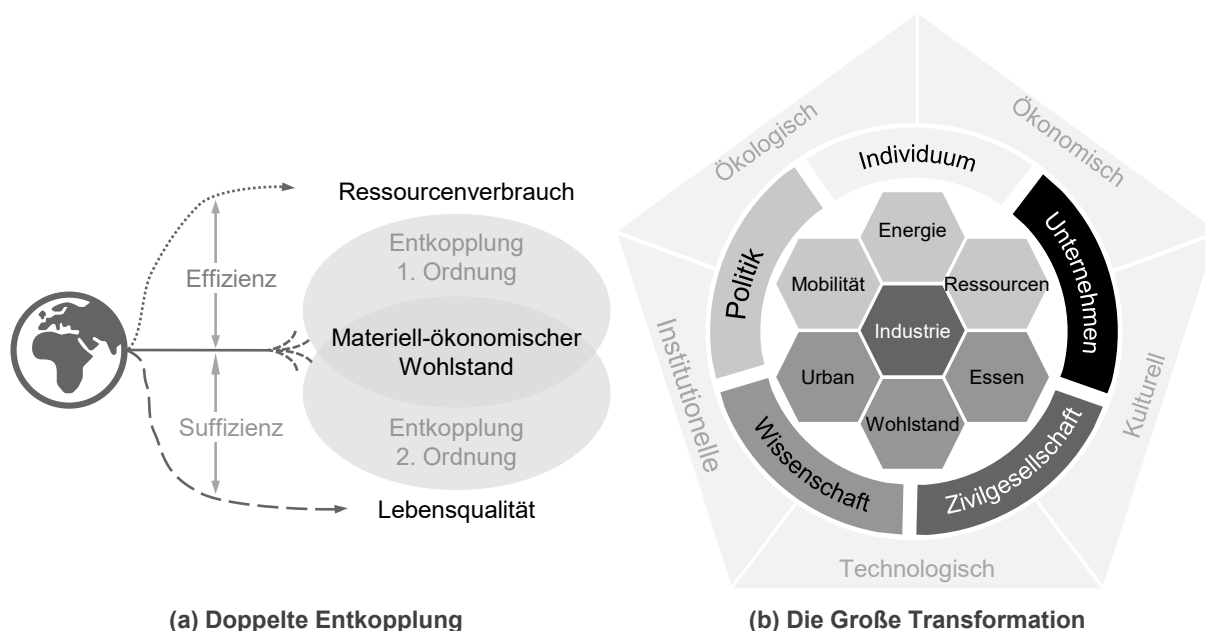


Abbildung 1.1: Konzept der doppelten Entkopplung bestehend aus Effizienz und Suffizienz (a) neben den fünf Dimensionen der „Großen Transformation“ sowie den fünf Akteursgruppen, die die sieben Turnaround-Arenen beeinflussen (b) i. A. a. SCHNEIDEWIND⁸

In Anbetracht der Dringlichkeit, die sich aus dem fortgeschrittenen Stadium der Klimakrise ergibt, wie KI-MONN in seiner Rede hervorhebt, ist eine rasche Reduzierung der Emissionen von größter Bedeutung. Eine effektive Implementierung setzt jedoch voraus, dass zuvor die maßgeblichen Einflussfaktoren identifiziert werden. Die Quantifizierung der Umweltauswirkungen produzierender Unternehmen ist jedoch mit einer hohen Komplexität verbunden und wird von einer Vielzahl von Interdependenzen beeinflusst. In diesem Kontext ist festzuhalten, dass insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) die für die Entwicklung einer solchen Bewertung notwendigen Ressourcen in aller Regel nicht allein aufbringen können. Daher können Aktivitäten verschiedener Akteursgruppen ohne große Wirkung verpuffen oder sich sogar gegenseitig behindern und zu Rebound-Effekten führen, wenn sie ohne vorherige Wissensgenerierung durchgeführt werden. Von entscheidender Bedeutung ist daher die Unterstützung von Unternehmen durch Gewährleistung von Zugang zu Expertenwissen, das nicht in ihrer eigenen Organisation vorhanden ist.

Die vorliegende Arbeit ist eingebettet in das Makroumfeld der „Großen Transformation“ und leistet einen Beitrag zur Entkopplung erster Ordnung. Dies erfolgt durch die Bereitstellung eines wissenschaftsbasierten methodischen Instrumentariums für die Akteure, welches eine verbesserte Quantifizierung der Nachhaltigkeit in den Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales ermöglicht. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse können die Akteure handeln.⁹

⁸ Vgl. Schneidewind (Die Große Transformation): 2018, 11-16, 59.

⁹ Vgl. Kubicek (Konstruktionsstrategie empirischer Forschung): 1976.

Die Branche des deutschsprachigen Werkzeugbaus nimmt bei dieser Transformation eine bedeutende Rolle ein. Die Funktion dieser Branche als Bindeglied zwischen Produktentwicklung und Serienproduktion macht sie zu einem der wichtigsten Befähiger in der industriellen Produktion.¹⁰ Ihre zentrale Bedeutung für die Nachhaltigkeitsbestrebungen in der gesamten Industrie resultiert aus dieser Rolle¹¹. Zudem ergeben sich durch die Position in der Wertschöpfungskette starke Multiplikationseffekte, sollte diese Transformation in der Branche Werkzeugbau gelingen.

1.2 Problemstellung

In den vergangenen drei Jahrzehnten hat sich das Thema Nachhaltigkeit zum zentralen Thema der zukünftigen Entwicklung der Menschheit herausgebildet (vgl. Kapitel 1.1). Infolgedessen erfährt das Konzept der Nachhaltigkeit eine verstärkte Aufmerksamkeit in politischen, wissenschaftlichen und unternehmerischen Kontexten.¹² In der Branche Werkzeugbau wurde bislang lediglich das herkömmliche Zieldreieck von Kosten, Zeit und Qualität berücksichtigt¹³. Der deutschsprachige Werkzeugbau sieht sich bereits seit geraumer Zeit in diesem Zieldreieck einem starken Wettbewerbsdruck ausgesetzt. Darüber hinaus fungieren diese herkömmlichen, für den Wettbewerb entscheidenden Kriterien vielfach lediglich als Voraussetzungen für die Teilnahme am Markt¹⁴. Die beschriebene Entwicklung wird zudem durch den Markteintritt neuer, internationaler Wettbewerber begünstigt. In erster Linie sind es Werkzeugbaubetriebe aus Asien, welche den deutschsprachigen Werkzeugbau einem beträchtlichen Wettbewerbsdruck aussetzen. Diese bieten Werkzeuge zu geringeren Kosten, zu einer kontinuierlich steigenden Qualität und trotz längerer Logistikwege zu wettbewerbsfähigen Lieferzeiten an. Folglich stellen bereits die herkömmlichen Zielgrößen eine signifikante Herausforderung dar.¹⁵ Die Erweiterung um das neue Feld der Nachhaltigkeit stellt für den deutschsprachigen Werkzeugbau eine zusätzliche Herausforderung dar, eröffnet jedoch auch die Möglichkeit, sich am Markt gegen den internationalen Wettbewerb durch ein neues Differenzierungsmerkmal durchzusetzen.¹⁶ Die sich daraus ergebende Wettbewerbsarena für den Werkzeugbau zeichnet sich dadurch aus, dass die neuen Anforderungen an nachhaltiges Handeln wie auch die herkömmlichen Anforderungen des Zieldreiecks besser erfüllt werden müssen als vom Wettbewerb.

Werkzeugbaubetriebe sehen sich mit der Herausforderung konfrontiert, nachhaltiges Handeln zusammen mit einem adäquaten Nachhaltigkeitscontrolling zu implementieren. Aktuell setzen sich bei internen als auch externen Anspruchsgruppen meist die ökonomischen Kennzahlen bei Geschäftsentscheidungen durch. Anspruchsgruppen wie beispielsweise Aufsichtsrat, Gesellschafter, Banken oder Akteure am Kapitalmarkt bewertenden unternehmerischen Erfolg

¹⁰ Vgl. Schuh et al. (Tool's life cycle): 2015, S. 275.

¹¹ Vgl. Boos et al. (Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit): 2020, S. 9.

¹² Vgl. Grunwald et al. (Nachhaltigkeit): 2022, S. 11.

¹³ Vgl. Eversheim et al. (Werkzeugbau mit Zukunft): 1998, S. 1–3.

¹⁴ Vgl. Boos et al. (Tooling in Germany 2020): 2021, S. 44.

¹⁵ Vgl. Boos et al. (World of Tooling 2022): 2022, S. 5; Boos et al. (Tooling in Germany 2023): 2024, S. 4.

¹⁶ Vgl. Boos et al. (Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit): 2020, S. 9.

oder das unternehmerische Risiko primär auf Basis der ökonomischen Kennzahlen. Hier müssen sich ebenfalls ökologische wie auch soziale Kennzahlen etablieren, um eine ganzheitliche Geschäftsentwicklung zu ermöglichen. In einem ersten Schritt müssen die Nachhaltigkeitsziele unter Einbezug der bestehenden Strategie und Unternehmensrandbedingungen für die konkreten Handlungsfelder Leistungsspektrum, Ressourcen, Prozess und Mitarbeitende in konkrete Ziele überführt werden. Dies ist erforderlich, um die Bewertung des Ist-Zustands, die Entwicklung und die Messung der Ziele zu ermöglichen.¹⁷ Die Verfügbarkeit entscheidender Informationen für die Nachhaltigkeitsbewertung der eigenen Geschäftsaktivitäten stellt eine wesentliche Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung der „Großen Transformation“ im Werkzeugbau dar. Dies bedingt die Implementierung eines Nachhaltigkeitscontrollings, welches die Interdependenzen der drei Nachhaltigkeitsdimensionen Ökonomie, Ökologie und Soziales berücksichtigt und eine Steuerung der Nachhaltigkeitsziele ermöglicht.¹⁸ Das Controlling fokussiert sich bislang in erster Linie auf betriebswirtschaftliche Aspekte¹⁹, sodass insbesondere die Dimensionen Ökologie und Soziales deutlich stärker in die Betrachtung miteinbezogen werden müssen. Die für das Nachhaltigkeitscontrolling erforderliche Leistungsmessung erfolgt unter Zuhilfenahme eines Kennzahlensystems.²⁰

Obgleich eine Vielzahl an Modellen zur Messung der Nachhaltigkeitsleistung von Unternehmen in der Forschung entwickelt wurde, konnte sich bislang kein Ansatz hinreichend in der Praxis etablieren. Des Weiteren ist es von essenzieller Bedeutung, die Eigenschaften sowie die Komplexität unterschiedlicher Branchen und Anwendungsfälle zu berücksichtigen, sodass die Entwicklung individueller Ansätze erforderlich ist.²¹ Für den Werkzeugbau besteht folglich die Herausforderung, adäquate Kennzahlen für die Messung der Nachhaltigkeitsleistung auszuwählen und diese in einem geeigneten System anzuwenden.

1.3 Zielsetzung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit verfolgt das **übergeordnete Ziel**, ein Kennzahlensystem für die Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau zu entwickeln. Wie zuvor in der Problemstellung (vgl. Kapitel 1.2) dargelegt, stehen Unternehmen der Branche Werkzeugbau beträchtlichen Herausforderungen gegenüber, die sich aus den steigenden und zunehmend komplexer werdenden Anforderungen in Bezug auf verschiedenste Nachhaltigkeitsaspekte ergeben. Eine der zentralen Herausforderungen besteht darin, zunächst den eigenen Status quo des Werkzeugbaubetriebs zu ermitteln, um auf dieser Basis Maßnahmen zur Steigerung der eigenen Nachhaltigkeit auf den Betrieb bezogen auszuwählen, umzusetzen und deren Erfolg zu messen. Um sich am Markt gegenüber internen sowie externen Anspruchsgruppen erfolg-

¹⁷ Vgl. Boos et al. (Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit): 2020, S. 13.

¹⁸ Vgl. Vollmar (Controlling und Nachhaltigkeit): 2022, S. 1128–1129.

¹⁹ Vgl. Vollmar (Controlling und Nachhaltigkeit): 2022, S. 1108.

²⁰ Vgl. Eckstein et al. (Bewertung von Nachhaltigkeit): 2016, S. 27.

²¹ Vgl. Searcy (Corporate Sustainability): 2012, S. 250–251.

reich durch die Steigerung der Nachhaltigkeit positionieren zu können ist es relevant die Wechselwirkung der Nachhaltigkeitsdimensionen durch ein integratives Kennzahlensystem aufzuzeigen. Nur so können diese, aktuell meist stark auf die ökonomischen Kennzahlen fokussierten, Anspruchsgruppen vom Mehrwert der ökologischen und sozialen Kennzahlen für den Unternehmenserfolg überzeugt werden. Bislang existiert kein Lösungsansatz, der die beschriebene Problemstellung in hinreichender Weise adressiert. In der wissenschaftlichen Literatur (vgl. Kapitel 3.3) finden sich zahlreiche Ansätze zur Messung der Nachhaltigkeit, die jedoch zumeist lediglich einzelne Aspekte der Nachhaltigkeit betrachten. Der Fokus der bisherigen Ansätze liegt zumeist auf der ökologischen Dimension, wobei das Zusammenspiel der drei Nachhaltigkeitsdimensionen für einen erfolgreichen Lösungsansatz von entscheidender Bedeutung ist. Nur durch eine ganzheitliche Betrachtung kann gewährleistet werden, dass die notwendige Steigerung der ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit die Wirtschaftlichkeit des Werkzeugbaubetriebs nicht beeinträchtigt. Zudem berücksichtigen die bisherigen Ansätze die besonderen Eigenschaften der Branche Werkzeugbau (vgl. Kapitel 2.1) nicht ausreichend.

Die **konkrete Zielstellung** der vorliegenden Arbeit ist es, ein Kennzahlensystem zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau zu entwickeln. Das Kennzahlensystem wird durch die Auswahl von Nachhaltigkeitskennzahlen sowie die strukturelle Gestaltung spezifisch für den Werkzeugbau ausgelegt. Die Kennzahlen beschreiben alle drei Nachhaltigkeitsdimensionen, deren Wirkzusammenhänge im Kennzahlensystem visualisiert sind. Die übersichtliche Visualisierung (vgl. Kapitel 5.4) reduziert die Komplexität des Systems derart, dass eine wirtschaftliche Anwendung im Werkzeugbau gewährleistet ist. Für eine stringente und fokussierte Forschung ist nach KUBICEK die Definition einer zentralen Forschungsfrage unerlässlich²². Die zentrale Forschungsfrage dieser Arbeit lautet wie folgt und wird in Kapitel 3.6 detailliert erörtert:

Wie muss ein Kennzahlensystem zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau ausgelegt sein?

1.4 Forschungsansatz der Arbeit

Die vorliegende Arbeit orientiert sich an dem allgemeinen Forschungsverständnis des Lehrstuhls für Produktionssystematik am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University. Um die wissenschaftlichen Grundlagen der vorliegenden Arbeit zu erläutern, erfolgt ein Rückgriff auf die Ausführungen vorangegangener Dissertationen.

Wissenschaftliche Forschung lässt sich als systematischer Prozess zur Erkenntnisgewinnung definieren, bei dem durch gezielte Untersuchungen neue Informationen und Erkenntnisse generiert werden. Es handelt sich um einen fortlaufenden Prozess, der ständig neue Fragen und Herausforderungen aufwirft sowie Ergebnisse veröffentlicht. Die Forschungsergebnisse beinhalten immer eine grundlegende Erkenntnisperspektive der Forschenden, da im Rahmen der

²² Vgl. Kubicek (Konstruktionsstrategie empirischer Forschung): 1976, S. 24–30.

Arbeit wertende Entscheidungen getroffen werden, die den Forschungsprozess beeinflussen.²³

Diese grundlegende Erkenntnisperspektive, auch „Belief System“ bezeichnet, repräsentiert ein grundlegendes Vorverständnis sowie Überzeugungen des Forschenden, welches nicht weiter begründet werden muss, sondern als gegeben akzeptiert wird²⁴. Es bildet die Grundlage für sämtliche nachfolgenden Entscheidungen im Rahmen der Forschung sowie für die Interpretation der Ergebnisse. Um die nötige Transparenz über die Erkenntnisperspektive zu schaffen, erfolgt im Folgenden eine Einordnung der vorliegenden Arbeit in das Spektrum der Wissenschaft. Gemäß ULRICH UND HILL lässt sich die Wissenschaft in Formal- und Realwissenschaft gliedern²⁵. Die Gliederung der Wissenschaften nach ULRICH UND HILL, ergänzt um die Verortung der Ingenieurwissenschaften, ist in Abbildung 1.2 dargestellt.

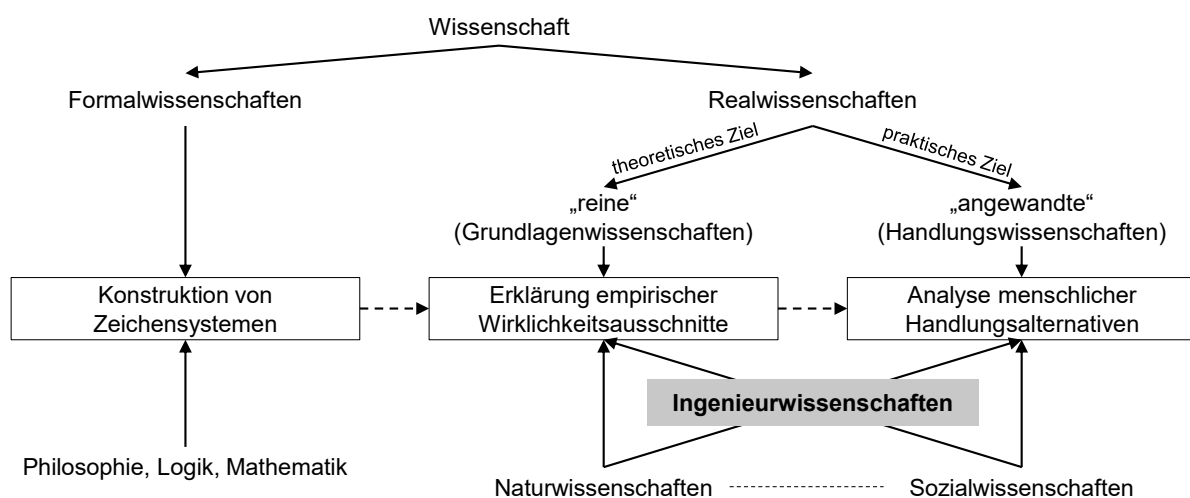


Abbildung 1.2: Forschungsmethodisches Vorgehen i. A. a. ULRICH UND HILL²⁶ ergänzt um die Ingenieurwissenschaften

Die **Formalwissenschaften** beschäftigen sich mit analytischen Aussagen, die sich auf abstrakte Objekte wie Zahlen und Zeichen beziehen. Dabei wird untersucht, ob diese Aussagen korrekt sind. Dazu werden logische oder theoretische Widersprüche gesucht²⁷. Da es sich um ein Konstrukt aus Ziel, Zeichensystemen und deren Verwendungsregeln handelt, welches sich durch seine rein theoretische Natur auszeichnet, ist eine Validierung in der Praxis nicht möglich. Beispiele für die Formalwissenschaften sind Logik, Mathematik und Philosophie²⁸.

Im Gegensatz dazu generieren **Realwissenschaften** Aussagen rein synthetischer Natur, weshalb neben der Untersuchung logischer Widersprüche eine Faktenanalyse erforderlich ist²⁹. In

²³ Vgl. Binder et al. (Technologiepotentiale): 1996, S. 3–4.

²⁴ Vgl. Guba et al. (Qualitative research): 1994, S. 107.

²⁵ Vgl. Ulrich et al. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen): 1976, S. 305.

²⁶ Vgl. Ulrich et al. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen): 1976, S. 305.

²⁷ Vgl. Schanz G. (Wissenstheoretische Grundfragen der Führungsforschung): 1987, S. 2039.

²⁸ Vgl. Ulrich et al. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen): 1976, S. 305.

²⁹ Vgl. Schanz G. (Wissenstheoretische Grundfragen der Führungsforschung): 1987, 2039.

diesem Kontext stehen die empirische Beschreibung, Erklärung und Veränderung von Ausschnitten der sinnlich wahrnehmbaren Realität im Mittelpunkt des Forschungsinteresses. Nach ULRICH UND HILL lässt sich die Realwissenschaft in die beiden Untergruppen der „reinen“ Grundlagenwissenschaften und „angewandten“ Handlungswissenschaften gliedern. Die Grundlagenwissenschaften umfassen die klassischen Naturwissenschaften, deren Ziel es ist, die Differenzen zwischen Theorie und beobachteten Ereignissen zu erklären. Beispiele hierfür sind die Chemie, Biologie oder Physik. Die Handlungswissenschaften sind die Sozialwissenschaften, welche das Handeln und Verhalten von Individuen, Gruppen sowie Gesellschaften untersuchen. Beispiele hierfür sind die Soziologie oder die Betriebswirtschaftslehre.³⁰

Ingenieurwissenschaften werden den Realwissenschaften zugeordnet, wobei eine eindeutige Zuordnung zu den Handlungs- oder Grundlagenwissenschaften nicht möglich ist. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich methodisch mit einem Problem des menschlichen Handelns und bezieht insbesondere durch die Berücksichtigung der ökonomischen Nachhaltigkeitsdimension die Betriebswirtschaftslehre mit ein. Damit wird diese ingenieurwissenschaftliche Arbeit in den Handlungswissenschaften verortet.

Um das **Subjektivitätskriterium** wissenschaftlicher Arbeiten zu umgehen, wird im Folgenden die Erkenntnisperspektive des Forschenden dargelegt. Diese besteht aus vorwissenschaftlichen und wertgebundenen Annahmen, die für die vorliegende Arbeit von Relevanz sind³¹. Diese Überzeugungen werden in der Wissenschaftstheorie als Paradigmen bezeichnet³². In der Betriebswirtschaftslehre sind vornehmlich der Systemansatz nach ULRICH UND HILL³³, der entscheidungstheoretische Ansatz nach HEINEN³⁴ sowie der faktortheorietische Ansatz nach GUTENBERG³⁵ von Relevanz. Der Ansatz nach ULRICH UND HILL eignet sich aufgrund seiner Praxisnähe und Interaktivität in besonderem Maße für eine ingenieurwissenschaftliche Arbeit und wird daher als wissenschaftstheoretische Grundlage dieser Arbeit gewählt.

In Anbetracht der Wahl des Ansatzes nach ULRICH UND HILL als grundlegende Wissenschaftstheorie sowie der Verortung dieser Arbeit in den angewandten Handlungswissenschaften erfolgt die Wahl der **Forschungsmethodologie** der explorativen Forschung. Diese beschreibt die Erarbeitung von theoretischen Aussagen und analytischen Lösungen auf Grundlage von systematischem Erfahrungswissen³⁶. Der Forschungszyklus nach TOMACZAK³⁷, wie er in Abbildung 1.3 dargestellt ist, wird dabei zugrunde gelegt.

³⁰ Vgl. Ulrich et al. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen): 1976, S. 305.

³¹ Vgl. Ulrich et al. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen): 1976, S. 306.

³² Vgl. Kuhn (Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen): 1988, S. 25.

³³ Vgl. Ulrich et al. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen): 1976, S. 307–309.

³⁴ Vgl. Heinen (Entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre): 1971, S. 89–99.

³⁵ Vgl. Gutenberg (Einführung in die Betriebswirtschaftslehre): 1958, S. 26; Thommen (Faktortheorietischer Ansatz): 2018, S. 1.

³⁶ Vgl. Kubicek (Konstruktionsstrategie empirischer Forschung): 1976, S. 13.

³⁷ Vgl. Tomczak (Forschungsmethoden in der Marketingwissenschaft): 1992, S. 84.

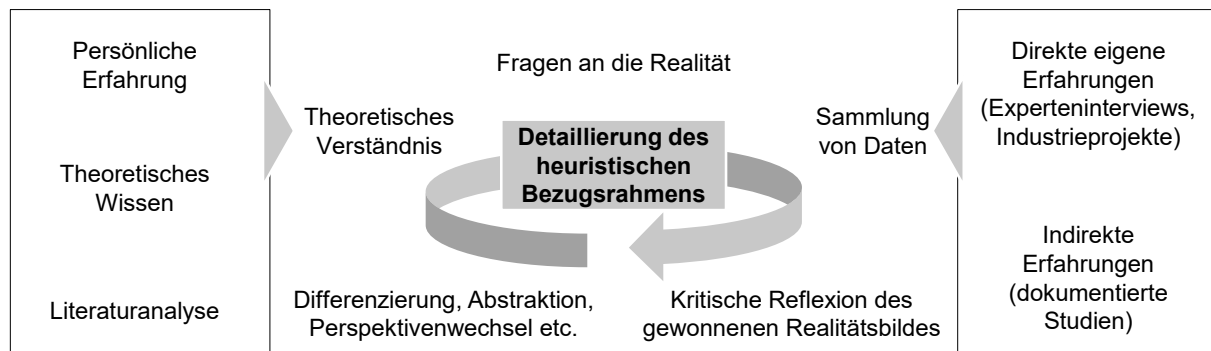


Abbildung 1.3: Forschungsmethodisches Vorgehen i. A. a. TOMACZAK³⁸ und KUBICEK³⁹

Der **heuristische Bezugsrahmen** stellt das zentrale Element der explorativen Forschung dar und reflektiert das Vorwissen des Forschenden. Ein heuristischer Bezugsrahmen entwickelt sich aus einem Problem oder Phänomen, das nicht hinreichend verstanden oder beherrscht wird. Der heuristische Bezugsrahmen dieser Arbeit ist in Abbildung 1.4 dargestellt und basiert auf der in Kapitel 1.2 dargestellten Problemstellung.⁴⁰

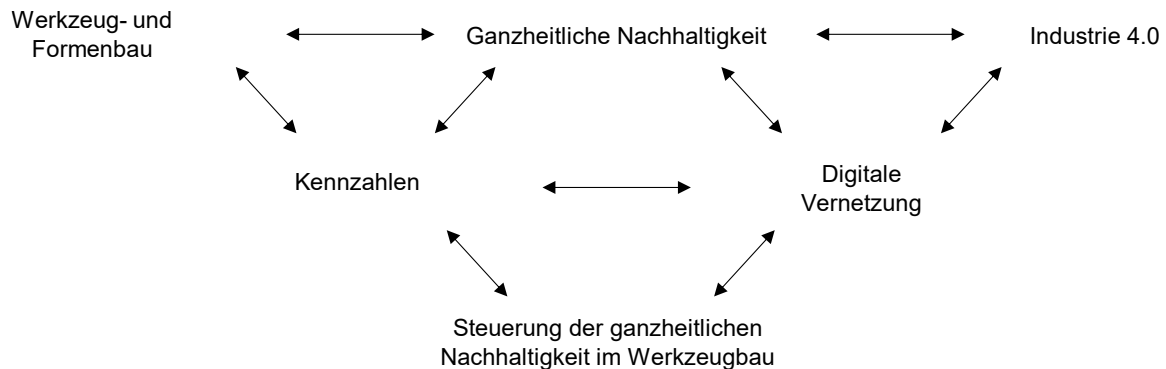


Abbildung 1.4: Heuristischer Bezugsrahmen⁴¹

Der heuristische Bezugsrahmen ist von der Grundidee der ganzheitlichen Nachhaltigkeit geprägt, welche den zentralen Referenzpunkt bildet. Die Herausforderung, Nachhaltigkeit messbar und damit steuerbar zu machen, stellt die grundlegende Problemstellung dar, weshalb das Themenfeld Nachhaltigkeit von essenzieller Bedeutung ist. Der Lösungsansatz zur Steuerung fokussiert sich auf die Branche des Werkzeug- und Formenbaus. Die Potenziale der Industrie 4.0 bilden eine Voraussetzung für die erfolgreiche Messbarmachung der Nachhaltigkeit. Dabei stellt die digitale Vernetzung eine notwendige Voraussetzung dar. Die Messbarmachung erfolgt in Form von Kennzahlen. Aus Kennzahlen und der digitalen Vernetzung ergibt sich schließlich das Gestaltungsmodell des Kennzahlensystems zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau.

³⁸ Vgl. Tomczak (Forschungsmethoden in der Marketingwissenschaft): 1992, S. 84.

³⁹ Vgl. Kubicek (Konstruktionsstrategie empirischer Forschung): 1976, S. 14–15.

⁴⁰ Vgl. Tomczak (Forschungsmethoden in der Marketingwissenschaft): 1992, S. 84.

⁴¹ Eigene Darstellung

Das theoretische Verständnis wird durch die praktische Erfahrung des Autors ergänzt. Das Erfahrungswissen resultiert aus der Leitung diverser Industrie- und Forschungsprojekte sowie Lehr- und Weiterbildungsveranstaltungen als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University. Der direkte Austausch mit der Branche Werkzeugbau im Rahmen verschiedener Projekte diente der Konkretisierung des Praxisdefizits. Die Forschungsergebnisse wurden durch Diskussionen in Arbeitskreisen und Netzwerkveranstaltungen wie dem AWK'23⁴² oder im Rahmen der Tätigkeit bei der WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH (WBA) beispielsweise dem jährlich stattfindenden WBA-Jahrestreffen⁴³ und Werkzeugbau-Kolloquium⁴⁴ kontinuierlich evaluiert und weiterentwickelt. Abschließend wurden die Ergebnisse dieser Arbeit in Zusammenarbeit mit repräsentativen Werkzeugbaubetrieben erfolgreich validiert.

1.5 Aufbau der Arbeit

Angewandte Forschung lässt sich nach ULRICH in sieben Komponenten unterteilen. Im ersten Schritt wird eine relevante Problemstellung aus der Praxis zunächst im Wissenschafts- und Praxiskontext untersucht. Aus den dabei gewonnenen Erkenntnissen lassen sich Kriterien zur Bewertung von Lösungsansätzen ableiten, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit auch zur Evaluation des entwickelten Gestaltungsmodells herangezogen werden. Im Anschluss erfolgt die Validierung des Modells, um dessen Eignung für den praktischen Einsatz zu überprüfen⁴⁵. Der Aufbau der Arbeit orientiert sich an den sieben Komponenten nach ULRICH, wie sie in Abbildung 1.5 dargestellt sind.

⁴² Persönlicher Austausch im Rahmen des WZL und Fraunhofer IPT (AWK'23, Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium „From Black to Green Production“): 2023

⁴³ Persönlicher Austausch im Rahmen des WBA (11., 12. und 13. Jahrestreffen der WBA-Community): 2021, 2022 und 2023

⁴⁴ Persönlicher Austausch im Rahmen des WZL und Fraunhofer IPT (20., 21. und 22. Internationales Kolloquium "Werkzeugbau mit Zukunft"): 2021, 2022 und 2023

⁴⁵ Vgl. Ulrich et al. (Management): 1984, S. 192–193.

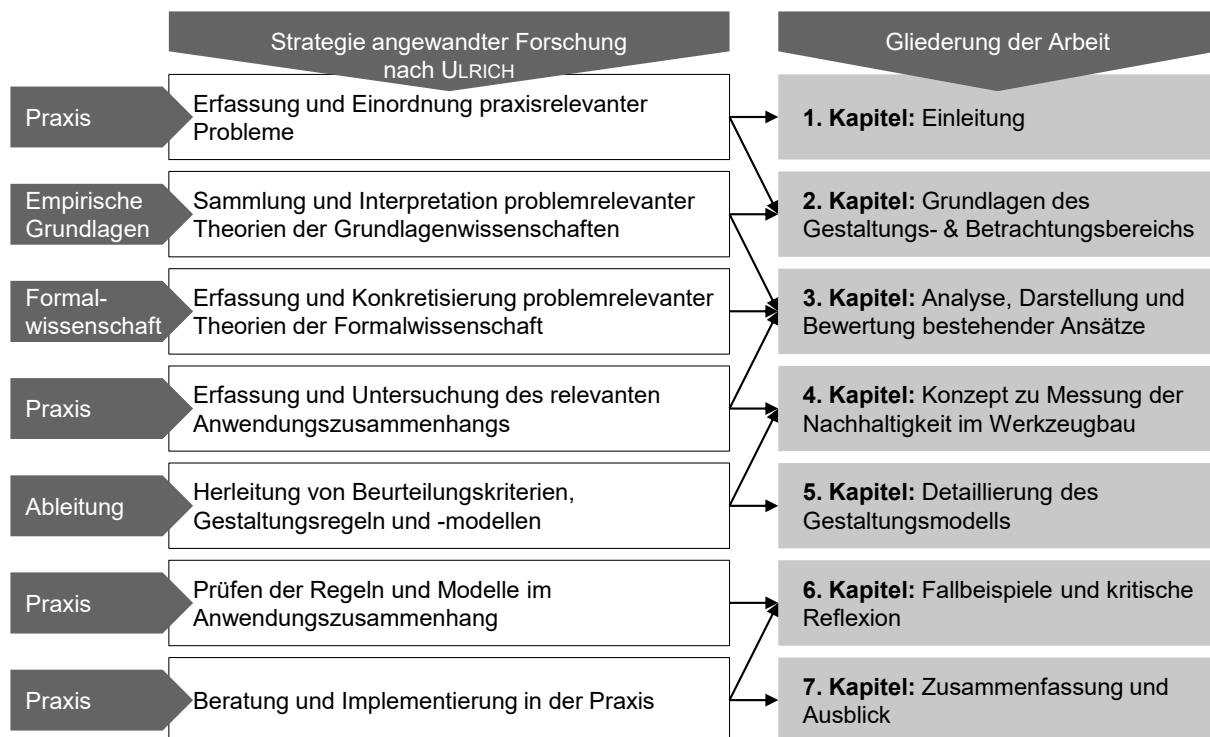


Abbildung 1.5: Aufbau der Arbeit entsprechend dem Vorgehen der angewandten Forschung i. A. a. ULRICH⁴⁶

Das **erste Kapitel** dient der Einführung in die Thematik der vorliegenden Arbeit sowie der Darlegung der daraus abgeleiteten Zielsetzung. Diese wird in die Formulierung der zentralen Forschungsfrage überführt. Im Anschluss erfolgt die Erläuterung des Aufbaus der Arbeit. Das **zweite Kapitel** dient der Vermittlung der für diese Arbeit notwendigen Grundlagen. Im Rahmen dessen erfolgt eine Definition der wesentlichen Begrifflichkeiten des Werkzeugbaus sowie eine Beschreibung der Branchenstruktur, des Leistungsspektrums und der Wertschöpfungskette des Werkzeugbaus. Im Folgenden wird auf die Definition von Einzelkennzahlen und Kennzahlensystemen eingegangen sowie die Verwendung von Kennzahlen im Werkzeugbau geschildert. Das finale Unterkapitel ist dem Themenkomplex der Nachhaltigkeit gewidmet. Das Verständnis und das Leitbild von Nachhaltigkeit werden erläutert, bevor auf die drei Dimensionen der ganzheitlichen Nachhaltigkeit – Ökologie, Ökonomie und Soziales – eingegangen wird. Im Anschluss werden die bekanntesten Modelle zur Verknüpfung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen vorgestellt. Abschließend erfolgt ein Überblick über die Steuerung von Nachhaltigkeit in Unternehmen sowie über Nachhaltigkeit im Werkzeugbau. Aus den vermittelten Inhalten wird der Handlungsbedarf aus der Praxis abgeleitet.

Im **dritten Kapitel** erfolgen die Beschreibung und Bewertung bestehender Ansätze in Bezug auf das Thema der vorliegenden Arbeit. Dazu wird ein Bewertungs- und Anforderungssystem entwickelt, welches eine Evaluierung von Ansätzen zur Steuerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau ermöglicht. In Folge wird aus den dargelegten Erkenntnissen der Handlungsbedarf

⁴⁶ Vgl. Ulrich et al. (Management): 1984, S. 193.

aus der Theorie abgeleitet. Im **vierten Kapitel** erfolgt die Konzeption des Gestaltungsmodells zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau. In diesem Zusammenhang werden die einzelnen Gestaltungselemente hergeleitet und beschrieben. In der abschließenden Synthese werden die fünf entwickelten Gestaltungselemente zum Gestaltungsmodell zusammengeführt. Im **fünften Kapitel** erfolgt die detaillierte Ausarbeitung des konzeptionierten Gestaltungsmodells zur Steuerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau. Die ausgearbeiteten Gestaltungselemente dienen der Beantwortung der zentralen Forschungsfrage sowie aller Unterfragen. Im **sechsten Kapitel** erfolgt die Prüfung der Praxistauglichkeit anhand von Fallbeispielen. Abschließend wird das erarbeitete Ergebnis unter Berücksichtigung des definierten Anforderungssystems sowie der Erfahrungen aus der Validierung kritisch diskutiert. Im **siebten Kapitel** erfolgt die Zusammenfassung der erarbeiteten Inhalte. Im Ausblick wird der weitere Forschungsbedarf aufgezeigt, der sich aus den Ergebnissen dieser Arbeit generiert hat.

2 Grundlagen

Im vorliegenden Kapitel erfolgt die Darstellung der für den Gestaltungs- und Betrachtungsbereich relevanten Grundlagen. Für eine erfolgreiche Messung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau ist zunächst der Betrachtungsbereich Werkzeugbau von Relevanz, welcher in Kapitel 2.1 dargelegt wird. In Kapitel 2.2 werden die notwendigen Grundlagen zum Thema Nachhaltigkeit erläutert, bevor in Kapitel 2.3 jene für das Thema der Messbarmachung dargelegt werden. Die Darstellung der relevanten Grundlagen schließt mit der Ableitung des Handlungsbedarfs aus der Praxis in Kapitel 2.4.

2.1 Werkzeugbau

Das Verständnis des Werkzeugbaus dieser Arbeit basiert auf dem Erfahrungswissen des Autors, welches sich aus der Arbeit in verschiedenen Forschungs- und Industrieprojekten als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University und Berater der WBA generiert hat. Struktur und Inhalt des Kapitels orientieren sich an verschiedenen vorausgegangenen Dissertationen⁴⁷.

2.1.1 Begriffsverständnis und Einordnung

In der Theorie sowie in der Praxis besteht kein einheitliches Verständnis der Begriffe „Werkzeug“ und „Werkzeugbau“. Für das grundlegende Verständnis dieser Arbeit ist dies jedoch von entscheidender Bedeutung. Daher werden die Begriffe „Werkzeug“ und „Werkzeugbau“ im Folgenden in ihrer Definition voneinander abgegrenzt.

Zunächst erfolgt die **Definition des Begriffs „Werkzeug“**. Vor der Definition des Werkzeugbaus ist zunächst die Bedeutung des Werkzeugs zu klären. Die zurückgezogen und nicht ersetzte Richtlinie 2815 des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) besagt, dass der Begriff „Werkzeug“ alle Fertigungsmittel umfasst, die mechanisch oder physikalisch-chemisch eingesetzt werden, um die Form oder Substanz eines Materials zu verändern⁴⁸. Die Definition von EVERSHEIM UND KLOCKE für den Werkzeugbau wird im Folgenden weiter konkretisiert. Demnach sind im Werkzeugbau solche Werkzeuge gemeint, die produktspezifisch vom produzierenden Gewerbe genutzt werden, um für das bearbeitete Material einen gewünschten Endzustand herzustellen.⁴⁹

⁴⁷ Vgl. Kühn (Leistungssysteme im Werkzeugbau): 2016; Frick (Geschäftsmodelle im Werkzeugbau): 2005; Kellenberg (Datenstrukturmodell von Werkzeugbaubetrieben): 2019; Boos (Bewertung von modularen Werkzeugen): 2008; Frick (Geschäftsmodelle im Werkzeugbau): 2006; Kuhlmann (Corporate Tooling): 2016; Klotzbach (Industrieller Werkzeugbau): 2007; Boshof (Dienstleistungen im Werkzeugbau): 2021; Salmen (Digital vernetzten Shopfloor im Werkzeugbau): 2016; Kozielski (Integratives Kennzahlensystem): 2013.

⁴⁸ Vgl. VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI 2815 Blatt 5, Begriffe): 1978.

⁴⁹ Vgl. Eversheim et al. (Werkzeugbau mit Zukunft): 1998, S. 1.

In der wissenschaftlichen Literatur findet sich folgende **Definition des Begriffs „Werkzeugbau“**: Werkzeugbau bezeichnet ein Unternehmen beziehungsweise die Abteilung eines Unternehmens, die Werkzeuge herstellt, sowie die zugehörige, werkzeugherstellende Branche⁵⁰. Der Begriff „Werkzeugbau“ fungiert dabei als Oberbegriff für „Formenbau“, „Werkzeug- und Formenbau“, „Werkzeug- und Anlagenbau“ sowie synonyme Bezeichnungen⁵¹. Es besteht die Möglichkeit, interne und externe Werkzeugbaubetriebe zu differenzieren, die sich zudem in ihren Zielsetzungen voneinander abgrenzen lassen. Eine Gegenüberstellung dieser Unterschiede ist in Abbildung 2.1 dargestellt.⁵²

Interner Werkzeugbau	Externer Werkzeugbau
• Eingegliedert in übergeordnetes Unternehmen • Mutterunternehmen ist Kapitalgeber • Mutterunternehmen ist Hauptkunde	• Selbstständiges Unternehmen • Beliebige Kapitalgeber • In der Regel weitgefächertes Kundenspektrum

Abbildung 2.1: Vergleich zwischen internem und externem Werkzeugbau nach EVERSHEIM ET.AL.⁵³

Der interne Werkzeugbau ist einem anderen Unternehmen untergeordnet, wobei die Leistungen des Werkzeugbaus primär von diesem Unternehmen bezogen werden. In der Konsequenz besteht eine enge Beziehung zwischen dem Werkzeugproduzenten als Lieferanten und dem übergeordneten Unternehmen als Kunden. Die Integration des Werkzeugproduzenten in das Mutterunternehmen kann dabei auf unterschiedliche Weise erfolgen, nämlich als Abteilung, als Cost-Center oder als Profit-Center⁵⁴. Im Rahmen einer Abteilung erfolgt eine Umlage der Kosten auf andere Bereiche des Mutterunternehmens⁵⁵. Der Erfolg eines Cost-Centers wird anhand der Einhaltung des Budgets gemessen, während der eines Profit-Centers am Gewinn gemessen wird⁵⁶. Der externe Werkzeugbau ist aus rechtlicher Sicht ein selbstständiges Unternehmen, dessen Ziel die Gewinnmaximierung ist⁵⁷. Im Gegensatz zum internen Werkzeugbau zeichnet er sich durch ein unabhängigeres Kunden-Lieferanten-Verhältnis aus⁵⁸. Eine Gegenüberstellung der beiden Organisationsformen ist in Abbildung 2.2 dargestellt.

⁵⁰ Vgl. Kühn (Leistungssysteme im Werkzeugbau): 2016, S. 33.

⁵¹ Vgl. Frick (Geschäftsmodelle im Werkzeugbau): 2006, S. 21.

⁵² Vgl. Eversheim et al. (Werkzeugbau mit Zukunft): 1998, S. 3.

⁵³ Vgl. Eversheim et al. (Werkzeugbau mit Zukunft): 1998, S. 3.

⁵⁴ Vgl. Eversheim et al. (Werkzeugbau mit Zukunft): 1998, S. 3–4.

⁵⁵ Vgl. Kelzenberg (Datenstrukturmodell von Werkzeugbaubetrieben): 2019, S. 47.

⁵⁶ Vgl. Jung (Controlling): 2014, S. 43–45.

⁵⁷ Vgl. Boos (Bewertung von modularen Werkzeugen): 2008, S. 28.

⁵⁸ Vgl. Eversheim et al. (Werkzeugbau mit Zukunft): 1998, S. 15.

	Abteilung	Cost-Center	Profit-Center
Ausrichtung	aufgabenorientiert	kostenorientiert	leistungsorientiert
Arbeitsweise	Kostenumlage aus anderen Bereichen	Eigenverantwortung bezüglich Kosten	Eigenverantwortung bezüglich Ergebnis
Vorteile	„unbeschränkte“ Finanzmittel	Kostensenkung durch Kostenverantwortung	Vergleichsmöglichkeit mit externen Anbietern
Nachteile	hohe Kosten durch fehlende Verantwortung	bedingter Rentabilitätsvergleich	hoher administrativer Aufwand

Abbildung 2.2: Organisationsformen interner Werkzeugbaubetriebe i. A. a. KUHLMANN⁵⁹ und E-VERSHEIM ET AL.⁶⁰

2.1.2 Branchenstruktur

Der Werkzeugbau in Deutschland wird maßgeblich von kleinen und mittleren Unternehmen geprägt, von denen 65 % nicht mehr als 50 Mitarbeitende beschäftigen und lediglich 1 % über 100 Mitarbeitende (vgl. Abbildung 2.3). Der Marktzugang teilt sich gleichmäßig auf externe und interne Werkzeugbaubetriebe auf, wobei circa die Hälfte der Betriebe einen Umsatz von weniger als 5 Mio. € erwirtschaftet. Die Schwerpunkte der Produktion liegen auf der Fertigung von Spritzgieß-, Druckguss-, Blech- und Massivumformwerkzeugen. Deutschland nimmt eine führende Position unter den europäischen Werkzeugbauländern ein, wenn man den Produktionswert und das Exportvolumen betrachtet. Im Jahr 2023 gab es 3.800 Werkzeugbaubetriebe mit insgesamt circa 54.000 Mitarbeitenden.⁶¹

⁵⁹ Vgl. Kuhlmann (Corporate Tooling): 2016, S. 27.

⁶⁰ Vgl. Eversheim et al. (Werkzeugbau mit Zukunft): 1998, S. 74–79.

⁶¹ Vgl. Boos et al. (Tooling in Germany 2023): 2024, S. 15.

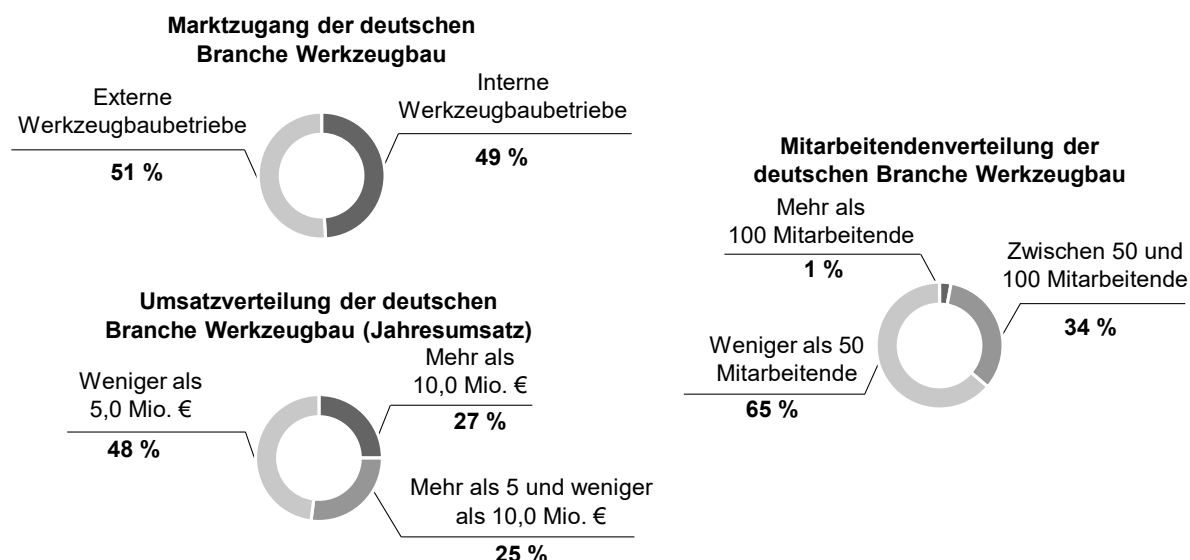


Abbildung 2.3: Übersicht der Struktur der Branche Werkzeugbau in Deutschland i. A. a. WBA⁶²

Trotz der geringen Größe nimmt die Branche auf dem Weltmarkt eine entscheidende Stelle ein. Im Jahr 2021 war Deutschland europaweiter Spitzenreiter in der Produktion von Werkzeugen und nimmt im internationalen Vergleich nach China, den USA und Japan den vierten Platz unter den größten Herstellern ein. Im Bereich der Werkzeugtechnologie ist Deutschland an der Weltspitze. Die enge Verzahnung zwischen dem Werkzeugbau und der Automobilindustrie sowie die hohe Diversifizierung der Wertschöpfung auf ein breites Feld von kleinen und mittleren Unternehmen sind maßgebliche Erfolgsfaktoren. Die in Deutschland hergestellten Produkte erfüllen höchste Ansprüche an Qualität und Komplexität, wobei sich der Werkzeugbau in Deutschland durch zuverlässige und effiziente Prozesse und Ressourcen sowie eine sehr gute Personal- und Maschinenausstattung auszeichnet. Gleichwohl verschärft sich der weltweite Wettbewerbsdruck auf dem Markt zunehmend, wobei einzelne ausländische Marktteilnehmer vor allem in Bezug auf die Qualität der Produkte aufholen. Da sie zudem Werkzeuge zu niedrigeren Preisen und mit kürzeren Lieferzeiten anbieten können, führt dies zu einer Minderung des für den Werkzeugbau in Deutschland typischen Vorsprungs in Bezug auf Qualität und die Wettbewerbsfähigkeit insgesamt. Dies resultiert in einer signifikanten Reduktion der Rendite des Sektors, die im Jahr 2022 auf ein Drittel des Werts von 2016 sank (vgl. Abbildung 2.4). Diese Entwicklung ist auf das steigende Lohnniveau sowie die grundsätzlich angespannte wirtschaftliche Situation in Deutschland zurückzuführen.⁶³

⁶² Vgl. Boos et al. (Tooling in Germany 2023): 2024, S. 15.

⁶³ Vgl. Boos et al. (Tooling in Germany 2023): 2024, S. 31–34.

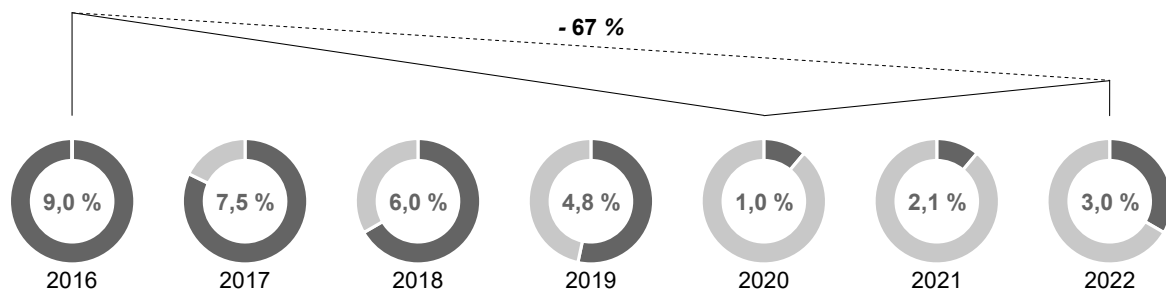


Abbildung 2.4: Entwicklung der Umsatzrendite in der Branche Werkzeugbau 2016 bis 2022 i. A. a. WBA⁶⁴

Gegenwärtig sind die rückläufige Anzahl an Auszubildenden sowie der bevorstehende Mangel an qualifizierten Fachkräften wesentliche Herausforderungen für den deutschen Werkzeugbau. Zudem tragen die schwierige Konjunkturlage, die durch die Auswirkungen der Coronapandemie sowie des Kriegs in der Ukraine geprägt ist, und die daraus resultierende Schwächung der Kaufkraft der Verbraucher zu einer Stagnation der Auftragszahlen seit 2022 bei. In der Konsequenz sahen sich einige Betriebe gezwungen, ihre Belegschaft in Kurzarbeit zu schicken, und die Zahl der Insolvenzfälle nahm zu. Um seine Technologieführerschaft zu behaupten und auch in den nächsten Jahren ökonomisch tragfähig und konkurrenzfähig zu agieren, ist es für den deutschen Werkzeugbau unerlässlich, sich zukunftsorientiert aufzustellen und zielgerichtet zu investieren.⁶⁵

2.1.3 Leistungsspektrum

Das Leistungsspektrum des Werkzeugbaus umfasst sowohl die produzierten Sachleistungen, welche das Kernprodukt Werkzeug beinhalten, als auch zusätzlich angebotene unterstützende Leistungen⁶⁶. Unter den weiteren Leistungen ist insbesondere der Bereich der Dienstleistungen zu nennen, der sich in der vorgelagerten Beratung, der nachgelagerten Instandhaltung und Teilefertigung sowie der Werkzeugherstellung widerspiegelt. Ein oberflächliches Verständnis des Leistungsspektrums ist an dieser Stelle ausreichend, weshalb im Folgenden lediglich das Kernprodukt Werkzeug näher erläutert wird. Werkzeuge lassen sich in verschiedenen Kategorien unterteilen, wobei die folgenden vier die häufigsten sind: Blechbearbeitungswerkzeuge, Kunststoffwerkzeuge, Massivumformwerkzeuge sowie Druck- und Gießwerkzeuge.⁶⁷ **Blechverarbeitungswerkzeuge** finden in der Produktion flächiger Teile Anwendung. In einem oder mehreren Bearbeitungsschritten formen beziehungsweise schneiden sie die Bauteile⁶⁸. Des Weiteren gehören **Massivumformwerkzeuge** zur Umformtechnik⁶⁹. Massivumformwerkzeuge formen die Rohteile unter großer Krafteinwirkung dreidimensional um⁷⁰.

⁶⁴ Vgl. Boos et al. (Tooling in Germany 2023): 2024, S. 13.

⁶⁵ Vgl. Boos et al. (Tooling in Germany 2023): 2024, S. 4.

⁶⁶ Vgl. Boshof (Dienstleistungen im Werkzeugbau): 2021, S. 53.

⁶⁷ Vgl. Eversheim et al. (Werkzeugbau mit Zukunft): 1998, S. 24–28.

⁶⁸ Vgl. Schuler GmbH (Handbuch der Umformtechnik): 1996, S. 123–127.

⁶⁹ Vgl. Eversheim et al. (Werkzeugbau mit Zukunft): 1998, S. 26.

⁷⁰ Vgl. Schuler GmbH (Handbuch der Umformtechnik): 1996, S. 433.

Kunststoffwerkzeuge werden für das Spritzgießen von Kunststoffen benötigt. **Gießwerkzeuge** kommen bei metallischen Werkstoffen für die Serienfertigung zum Einsatz.⁷¹ Werkzeuge, die keiner der genannten Kategorien zugeordnet werden können, werden als „Sonstige Werkzeuge“ bezeichnet⁷². In Abbildung 2.5 ist zur Übersicht das Leistungsspektrum des Werkzeugbaus dargestellt.

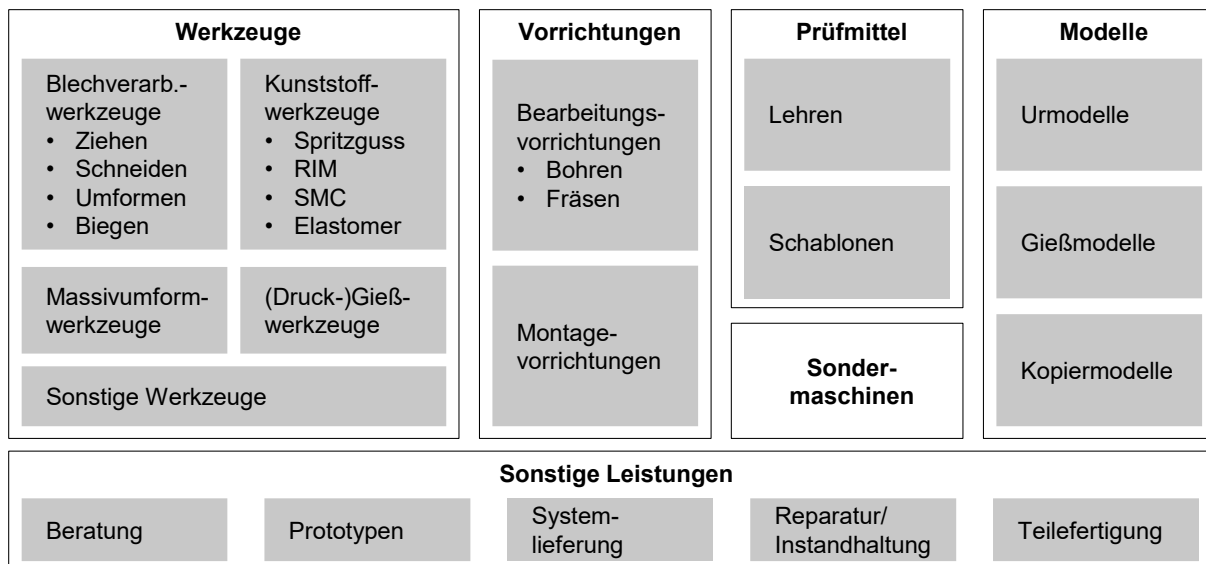


Abbildung 2.5: Leistungsspektrum des Werkzeugbaus nach EVERSHEIM ET AL.⁷³

2.1.4 Prozesskette

Der Werkzeugbau nimmt eine Schlüsselposition innerhalb der industriellen Wertschöpfungskette ein. Die Nachfrage nach Werkzeugen resultiert aus der Produktentwicklung, welche ihrerseits eine Reaktion auf die Nachfrage auf dem Markt darstellt. Werkzeuge sind für die Herstellung von Produkten unabdingbar und müssen die Prozessanforderungen der Hersteller erfüllen.⁷⁴ Die Prozesskette, die im Werkzeugbau zur Herstellung eines Werkzeugs durchlaufen wird, ist in Abbildung 2.6 dargestellt.

Der erste Schritt innerhalb der Prozesskette ist die **Auftragsakquise**, welche die Teilschritte Vertrieb und Kalkulation beinhaltet und ihren Ursprung in der Produktentwicklung des Kunden findet. Der Vertrieb ist für die Bearbeitung von Kundenanfragen sowie die Wahl angemessener Strategien für die Verhandlungen zuständig und übt dadurch einen starken Einfluss auf das Umsatzvolumen des Werkzeugbaubetriebs aus⁷⁵. Die anschließende Kalkulation erweist sich für zahlreiche Werkzeugbaubetriebe als anspruchsvoll, da eine unzureichende Informationslage und der Unikatcharakter der zu fertigenden Werkzeuge eine präzise Planung erschweren.

⁷¹ Vgl. Eversheim et al. (Werkzeugbau mit Zukunft): 1998, S. 26.

⁷² Vgl. Kelzenberg (Datenstrukturmodell von Werkzeugbaubetrieben): 2019, S. 53.

⁷³ Vgl. Eversheim et al. (Werkzeugbau mit Zukunft): 1998, S. 25.

⁷⁴ Vgl. Eversheim et al. (Werkzeugbau mit Zukunft): 1998, S. 1.

⁷⁵ Vgl. Klocke et al. (Zukunftsstudie Werkzeug- und Formenbau): 2005, S. 53.

Infolgedessen basiert die Kalkulation häufig auf groben Schätzungen⁷⁶. Der nächste Prozessschritt, die **Werkzeugentwicklung**, gliedert sich in die Methodenplanung und Konstruktion. Im Rahmen der Methodenplanung erfolgt die Bestimmung des Werkzeugkonzepts, welches im Anschluss einer Prozesssimulation unterzogen wird. Die Detailgestaltung des Werkzeugs erfolgt schließlich in der Konstruktion unter Zuhilfenahme von CAD-Modellen (engl. Computer-Aided Design)⁷⁷. Die Konstruktion nimmt im Werkzeugbau eine herausragende Stellung ein, da in diesem Schritt die für die Herstellung notwendigen Technologien festgelegt werden, wodurch auch die Langlebigkeit des Werkzeugs beeinflusst wird. Neben den Kosten werden auch die benötigten Ressourcen maßgeblich bestimmt.⁷⁸

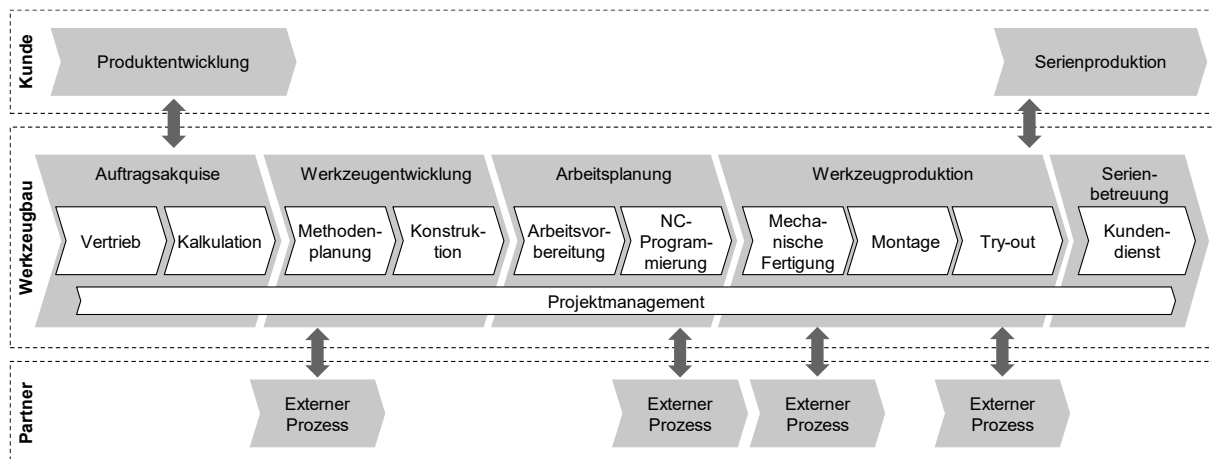


Abbildung 2.6: Prozesskette des Werkzeugbaus i. A. a. EVERSHEIM⁷⁹

Die **Arbeitsplanung** lässt sich in zwei Phasen unterteilen, nämlich in die Arbeitsvorbereitung und die NC-Programmierung (engl. Numerical Control). Im Rahmen der Arbeitsvorbereitung erfolgt die Festlegung der Reihenfolge der zu fertigenden Teile innerhalb der Fertigung sowie die Zuteilung der hierfür erforderlichen Maschinen. Konkret erfolgt die Erstellung von Arbeitsplänen inklusive zeitlichen Vorgaben für deren Bearbeitung⁸⁰. Im Rahmen der NC-Programmierung erfolgt die Überführung der CAD-Daten in Bearbeitungsprogramme für die Werkzeugmaschinen⁸¹. In der **Werkzeugproduktion** durchlaufen das Werkzeug beziehungsweise dessen Komponenten die Phasen der mechanischen Fertigung, der Montage sowie des Try-outs. Der Prozess der mechanischen Fertigung umfasst alle Arbeitsschritte, die mit einer Werkzeugmaschine durchgeführt werden.⁸² Im Rahmen der Montage erfolgt die Zusammenführung sämtlicher intern sowie extern bezogener Komponenten des Werkzeugs. Die Gewährleistung der geforderten Produktqualität erfordert die Mitwirkung von erfahrenen Fachkräften.⁸³ Im Try-out

⁷⁶ Vgl. Boos (Bewertung von modularen Werkzeugen): 2008, S. 42.

⁷⁷ Vgl. Klotzbach (Industrieller Werkzeugbau): 2007, S. 64.

⁷⁸ Vgl. Klocke et al. (Zukunftsstudie Werkzeug- und Formenbau): 2005, S. 53.

⁷⁹ Vgl. Hensen (Industrielle Werkzeugbaubetriebe): 2017, S. 48; Eversheim et al. (Werkzeugbau mit Zukunft): 1998, S. 107.

⁸⁰ Vgl. Klotzbach (Industrieller Werkzeugbau): 2007, S. 64.

⁸¹ Vgl. Boos (Bewertung von modularen Werkzeugen): 2008, S. 43.

⁸² Vgl. Boos (Bewertung von modularen Werkzeugen): 2008, S. 43.

⁸³ Vgl. Gebeshuber (Der Formen- und Werkzeugbau im Wandel der Zeit): 2008, S. 26.

erfolgt die Erprobung des Werkzeugs, wobei in kleinem Umfang werkzeugfallende Teile produziert sowie notwendige Optimierungen am Werkzeug selbst vorgenommen werden. Zudem wird das Zusammenwirken von Werkzeug und Umgebung aufeinander abgestimmt, um eine möglichst hohe Produktivität bei hoher Produktqualität zu erreichen.⁸⁴

Der finale Prozessschritt beinhaltet die Übergabe des Werkzeugs an den Kunden sowie die anschließende **Serienbetreuung**, welche durch den Kundendienst gewährleistet wird. Der Kundendienst bietet den Kunden Unterstützung in der Serienproduktion durch Serviceleistungen wie Instandhaltung und Reparatur an.⁸⁵ Das **Projektmanagement** begleitet alle fünf Prozessschritte in einer koordinierenden Funktion. Zu seinen Aufgaben gehören die Kommunikation mit dem Kunden, die Kontrolle der Erreichung der vorgegebenen Ziele sowie die Einhaltung des geforderten Fertigstellungstermins.⁸⁶

2.1.5 Anspruchsgruppen und Zielsystem

Die Anspruchsgruppen (auch Stakeholder genannt) des Werkzeugbaus lassen sich gemäß BOOS ET AL. in Kunden, Lieferanten, Politik und Gesellschaft, Mitarbeitende sowie Kapitalgebende unterteilen⁸⁷. Bislang stehen dabei insbesondere Kunden und Kapitalgebende im Fokus. In der Literatur werden von EVERSHEIM ET AL. Kunden und Kapitalgebende als Hauptanspruchsgruppen definiert. Die in Abbildung 2.7 dargestellten Hauptanspruchsgruppen sind mit den dazugehörigen Anforderungen an Unternehmen des Werkzeugbaus assoziiert. Die Anforderungen der Kapitalgebenden lassen sich wie folgt zusammenfassen: Das Unternehmen muss den wirtschaftlichen Erfolg maximieren.⁸⁸ Dies impliziert, dass das Unternehmen entweder so handeln muss, dass bei einem definierten Aufwand das bestmögliche Ergebnis oder mit minimalem Aufwand das definierte Ziel erreicht wird⁸⁹.

⁸⁴ Vgl. Frick (Geschäftsmodelle im Werkzeugbau): 2006, S. 28.

⁸⁵ Vgl. Hensen (Strategie industrieller Werkzeugbaubetriebe): 2017, S. 50.

⁸⁶ Vgl. Kühn (Leistungssysteme im Werkzeugbau): 2016, S. 44.

⁸⁷ Vgl. Boos et al. (Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit): 2020, S. 8.

⁸⁸ Vgl. Eversheim et al. (Werkzeugbau mit Zukunft): 1998, S. 4–6.

⁸⁹ Vgl. Pollack (Planung des Werkzeugbaus): 1995, 59–60; Eversheim et al. (Werkzeugbau mit Zukunft): 1998, S. 41.

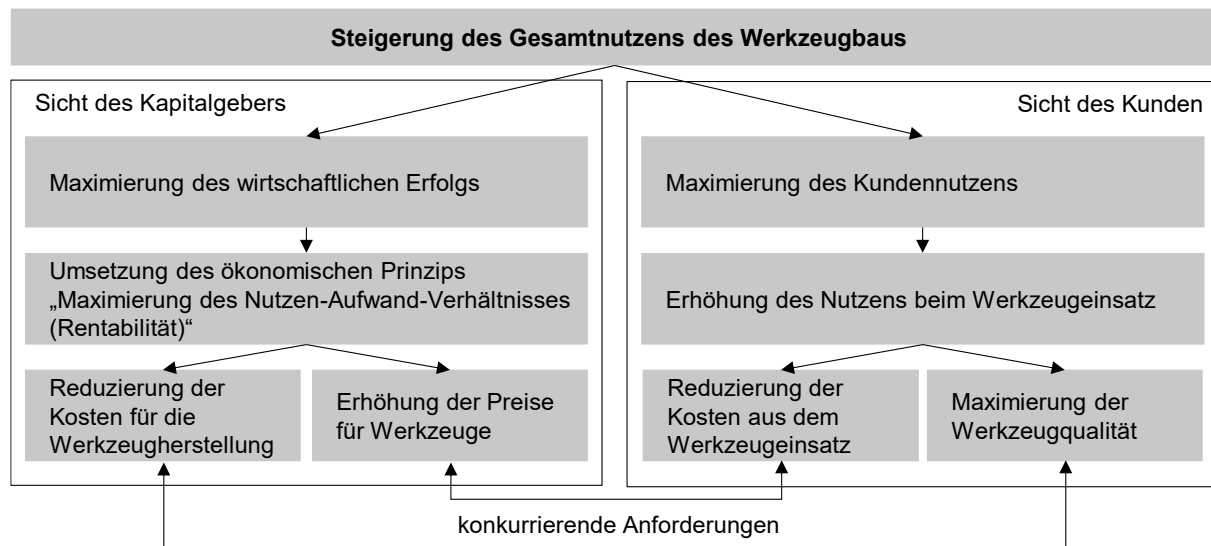


Abbildung 2.7: Konkurrierende Anforderung an den Werkzeugbau der beiden zentralen Anspruchsgruppen i. A. a. EVERSHEIM ET AL.⁹⁰

Aus Kundensicht ist die Steigerung des eigenen Nutzens von zentraler Bedeutung. Dies kann durch eine Optimierung des Werkzeugnutzens erreicht werden. Eine Reduktion beziehungsweise Minimierung der Werkzeugkosten oder eine maximale Werkzeugqualität stellt demgemäß ein Instrument zur Erreichung der zuvor genannten Ziele dar.⁹¹ Wie in der Abbildung dargestellt, besteht eine Wechselwirkung zwischen den Anforderungen der beiden Hauptanspruchsgruppen (vgl. Abbildung 2.7). Diese Korrelation lässt sich dadurch erklären, dass eine Reduktion der Herstellkosten in der Regel eine Verringerung der Werkzeugqualität nach sich zieht. Des Weiteren resultieren höhere Preise für Werkzeuge in einer Steigerung der Kosten für den Kunden. Somit ist bei Anpassungen in einem der Bereiche stets eine der beiden Parteien betroffen. Folglich ist eine angemessene Gewichtung erforderlich, um einen für beide Hauptanspruchsgruppen akzeptablen Kompromiss zu finden.⁹²

2.1.6 Erfolgsfaktoren

Im Rahmen seiner Dissertation hat KOZIELSKI eine Auswertung des Wettbewerbs „Excellence in Production“ (EiP) durchgeführt und auf der Basis dieser Auswertung Erfolgsfaktoren des Werkzeugbaus identifiziert. Das Resultat dieser Auswertung ist in Abbildung 2.8 dargestellt. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die Untersuchung der Erfolgsfaktoren des Werkzeugbaus aus dem Jahr 2009 stammt und trotz ihrer nach wie vor großen Relevanz eine Erweiterung erforderlich ist.

⁹⁰ Vgl. Eversheim et al. (Werkzeugbau mit Zukunft): 1998, S. 4–5.

⁹¹ Vgl. Pollack (Planung des Werkzeugbaus): 1995, S. 59.

⁹² Vgl. Eversheim et al. (Werkzeugbau mit Zukunft): 1998, S. 6.

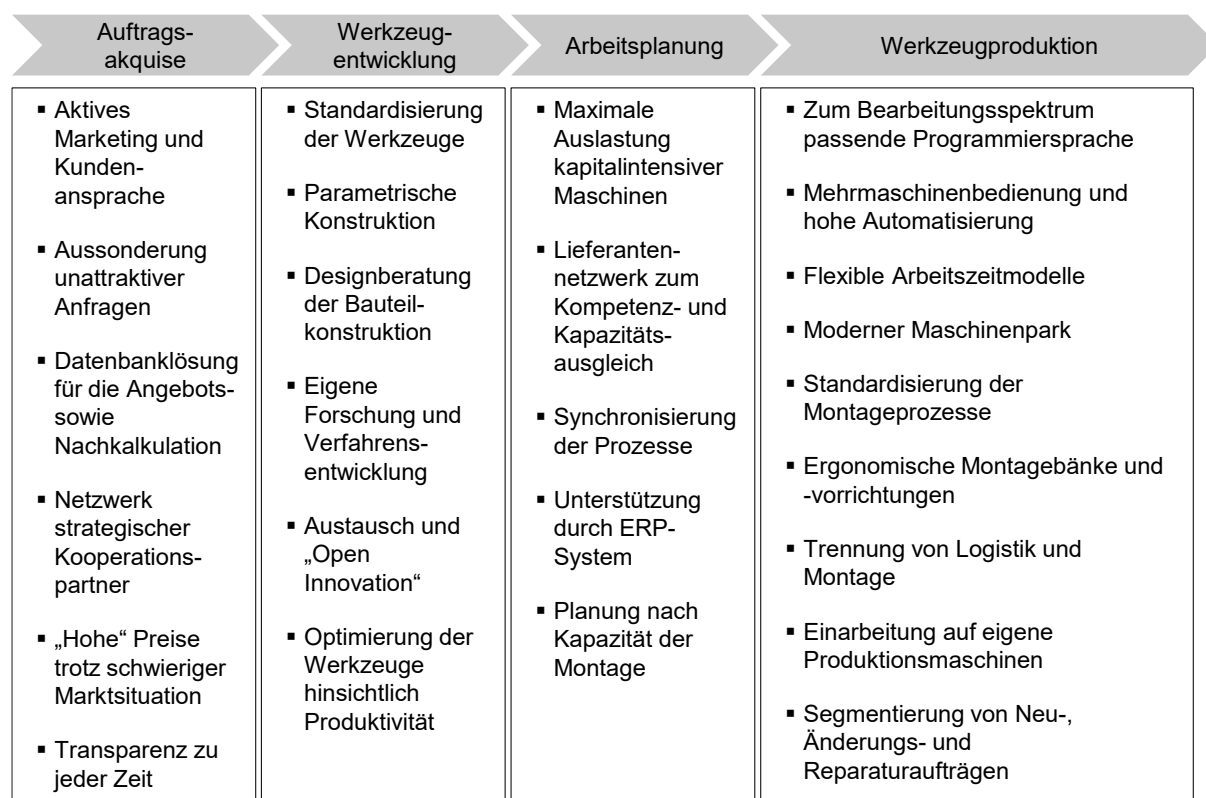


Abbildung 2.8: Erfolgsfaktoren des Werkzeugbaus i. A. a. KOZIELSKI⁹³

Nachhaltigkeit spielt im Werkzeugbau eine zunehmend wichtige Rolle, weswegen eine Erweiterung der Erfolgsfaktoren erforderlich ist. Dabei ist insbesondere die ökologische Komponente der Nachhaltigkeit von zunehmender Bedeutung. Diese Entwicklung hat zu neuen Herausforderungen für den Werkzeugbau geführt, welche im nachfolgenden Kapitel beschrieben werden und in Kapitel 2.2 weiter ausgeführt werden.

2.1.7 Aktuelle Herausforderungen des Werkzeugbaus

Die übergeordnete Herausforderung für den Werkzeugbau, insbesondere in Deutschland, besteht in der nachhaltigen Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit. Dies kann durch eine erfolgreiche Positionierung als verlässlicher Lösungspartner für Kunden aus dem produzierenden Gewerbe erreicht werden. Die Herausforderungen des Werkzeugbaus sind dabei von den allgemeinen Trends der Industrie abhängig.⁹⁴

Der **wirtschaftliche Druck** auf den Werkzeugbau stellt eine der großen Herausforderungen dar. So prognostiziert eine signifikante Anzahl von Unternehmen der Branche einen unzureichenden Auftragseingang für das Jahr 2025. In Formenbau der DACH-Region stellt sich

⁹³ Vgl. Kozielski (Integratives Kennzahlensystem): 2013, 24–27.

⁹⁴ Vgl. Salmen (Digital vernetzten Shopfloor im Werkzeugbau): 2016, 55–57.

dies als besonders kritisch dar. Hier gaben 44 % der Befragten eine aktuell zu niedrige Auslastung an⁹⁵. Die Situation wird durch verschiedene Faktoren verschärft. Dazu zählen drohende Handelskonflikte zwischen den USA und China sowie der EU. Diese können sich negativ auf die Gesamtlage der Wirtschaft auswirken. Des Weiteren vollzieht sich eine starke Transformation im Automobilsektor⁹⁶, welcher eine der bedeutenden Kundenbranchen repräsentiert. Die gegenwärtige wirtschaftliche Lage ist durch eine angespannte Situation gekennzeichnet, die durch den **zunehmenden Wettbewerb** mit Konkurrenten aus dem asiatischen Raum zusätzlich verschärft wird. Die Wettbewerbsfähigkeit der deutschsprachigen Werkzeugbaubetriebe wird durch die vergleichsweise geringen Lohnkosten der internationalen Konkurrenz beeinträchtigt. Des Weiteren ist ein Trend zur Verlagerung der Produktionsstandorte der Kunden ebenfalls ins Ausland zu beobachten. Somit resultieren bei den Kosten als auch den Lieferzeiten Wettbewerbsvorteile.⁹⁷ Der Werkzeugbau ist von den Auswirkungen des **Fachkräftemangels** ebenfalls betroffen. Gemäß dem DIHK-Report „Fachkräfte“ war es im Jahr 2024 für 43 % der 23.000 befragten Unternehmen zumindest teilweise nicht möglich, offene Stellen zu besetzen, da geeignete Arbeitskräfte nicht zur Verfügung standen⁹⁸. In Anbetracht der in der Regel mit hohen technischen Ansprüchen einhergehenden Tätigkeiten, hoher Qualitätsanforderungen sowie der Einzelstückfertigung ist der Werkzeugbau in besonderem Maße betroffen⁹⁹.

Die jüngste Herausforderung der **digitalen Transformation** des Werkzeugbaus wird von zahlreichen Betrieben bereits adressiert. Diese befähigt den Werkzeugbau, Daten zielgerichtet zu sammeln und zu analysieren. Das Ziel besteht in der Schaffung optimierter Prozesse innerhalb des Betriebs sowie in der Steigerung der Produktivität und Qualität¹⁰⁰. Die gegenwärtige digitale Transformation bildet die Grundlage für eine erfolgreiche Bewältigung der neuen Herausforderungen im Bereich der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau. In diesem Kontext fokussiert sich GUGLIELMINI insbesondere auf die ökologische **Nachhaltigkeit**. Der Fokus liegt demnach auf der Ressourcenschonung sowie der Reduktion der Emissionen von Treibhausgasen, um dem Klimawandel entgegenzuwirken.¹⁰¹ Darüber hinaus ergeben sich für den Werkzeugbau Herausforderungen in den sozialen und ökonomischen Dimensionen der Nachhaltigkeit.

Eine Differenzierung der Herausforderungen kann anhand einer Gliederung in **akute und langfristige Herausforderungen** sowie einer Unterteilung in die drei Nachhaltigkeitsdimensionen erfolgen. Akute Herausforderungen sind durch einen sehr dynamischen Charakter gekennzeichnet, während langfristige Herausforderungen eine absehbare Entwicklung über Jahre und Jahrzehnte aufweisen. Die im Folgenden konkret genannten Daten sowie insbesondere die akuten Herausforderungen verlieren durch ihren direkten Zeitbezug unmittelbar

⁹⁵ Vgl. Meusburger et al. (Marktbarometer): 2025, S. 10.

⁹⁶ Vgl. Boewe (Die Transformation der globalen): 2023, S. 8–9.

⁹⁷ Vgl. Werkzeugbau Ehlenbröcker GmbH (Die neuesten Entwicklungen): 2024.

⁹⁸ Vgl. Deutsche Industrie- und Handelskammer (DIHK) (DIHK-Fachkrätereport 2024/2025): 2024, S. 4.

⁹⁹ Konsortialprojekt der WBA „Mitarbeitendengewinnung – Jobs in der Branche Werkzeugbau attraktiv gestalten“, 2024

¹⁰⁰ Vgl. Boos et al. (Digitale Transformation im Werkzeugbau): 2019, 6–7.

¹⁰¹ Vgl. Guglielmini (Fertigung nachhaltige Zukunft): 2023, S. 13–15.

ihre Aktualität. Noch können diese repräsentativ für immer wieder neu auftretende, vergleichbare Herausforderungen im Kontext der Nachhaltigkeit gesehen werden. In Abbildung 2.9 ist eine Übersicht der Hausforderungen des Werkzeugbaus dargestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass insbesondere die kurzfristigen Herausforderungen zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden Arbeit dargestellt sind und mit der Zeit als exemplarisch angesehen werden können.

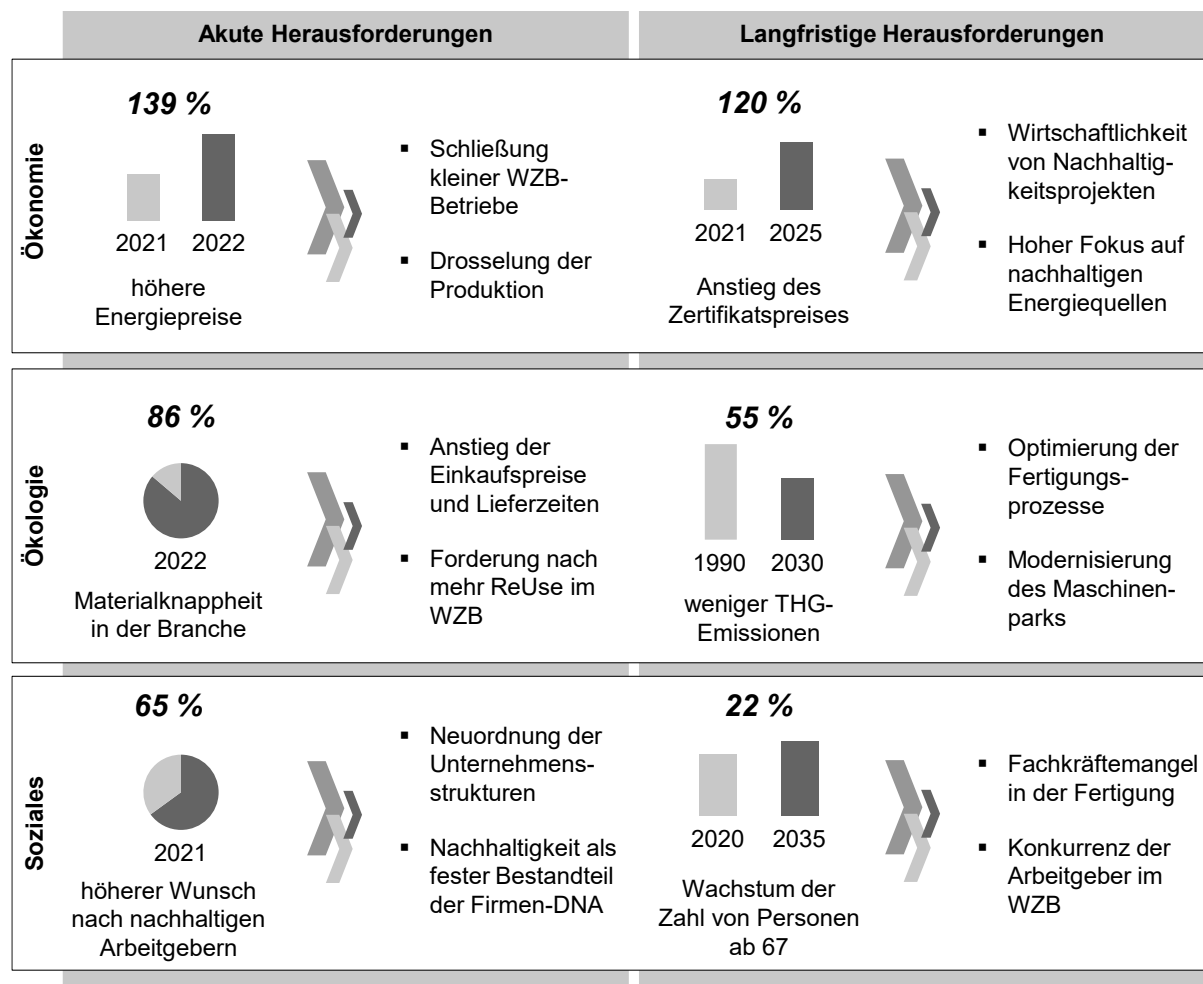


Abbildung 2.9: Langfristige und akute Herausforderungen im Werkzeugbau¹⁰²

Die kurzfristige Entwicklung der Energiepreise stellt eine **akute Hausforderung** dar, die mit hoher Dringlichkeit bewältigt werden muss. Diesbezüglich ist zu erwähnen, dass der Ölpreis vor allem durch den Angriffskrieg Russlands in der Ukraine einen Anstieg von 139 % im Vergleich zum Vorjahr aufwies¹⁰³. Dies hat für den Werkzeugbau insbesondere zwei Konsequenzen: Zum einen mussten vor allem kleinere Betriebe Insolvenz anmelden. Zum anderen sahen sich die Betriebe gezwungen, die Produktion zu drosseln, um auf diese Weise Einsparungen

¹⁰² Eigene Darstellung

¹⁰³ Vgl. Statistisches Bundesamt (Konjunkturindikatoren Preise): 2023, S. 1.

zu erzielen¹⁰⁴. Eine weitere Herausforderung für die Branche stellt die seitdem zu verzeichnende Knappheit an Material dar¹⁰⁵. Die resultierende Verzögerung der Lieferzeiten führt zu zusätzlichen Kosten¹⁰⁶. Zudem ist eine verstärkte Berücksichtigung der Kreislaufwirtschaft erforderlich, um die Endlichkeit der Ressourcen zu berücksichtigen¹⁰⁷. Auch für Arbeitnehmer gewinnt das ganzheitlich nachhaltige Verhalten des Arbeitgebers zunehmend an Bedeutung¹⁰⁸. Daher sind Firmen dazu angehalten, ihre internen Strukturen aufzubrechen und einen Wertewandel zu vollziehen¹⁰⁹.

Die Bekämpfung des Klimawandels stellt eine **langfristige Herausforderung** dar, die einen weiten Horizont erfordert, um die erforderlichen Maßnahmen effektiv umzusetzen. Daher sind Werkzeugbaubetriebe dazu verpflichtet, ihre Kohlenstoffdioxid-Äquivalent-Emissionen (CO₂e-Emissionen) durch entsprechende Zertifikate legalisieren zu lassen. Die Preisentwicklung der Zertifikate ist so konzipiert, dass sie langfristig ansteigt, um dadurch einen monetären Anreiz zu generieren, der eine Reduktion der Emissionen bewirken soll¹¹⁰. Diese Maßnahmen zielen darauf ab, den Fokus auf Projekte im Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit zu lenken. Gleichzeitig wird auf internationaler Ebene im Rahmen des Green Deals langfristig eine signifikante Reduktion der Treibhausgasemissionen gefordert¹¹¹. Damit dies gewährleistet werden kann, sind umfangreiche Investitionen für modernere Maschinen und optimierte Prozesse erforderlich. Als weiterer Faktor ist der demografische Wandel zu nennen, der dazu führt, dass die Mitarbeitenden im Durchschnitt zunehmend älter werden¹¹². Dies hat zur Konsequenz, dass immer mehr Menschen in den Ruhestand eintreten, wodurch sich der aktuelle Fachkräftemangel weiter verstärkt¹¹³. Dies verdeutlicht, dass sich der Werkzeugbau neben den ökonomischen Herausforderungen auch den ökologischen und sozialen Aspekten stellen muss. Infolgedessen gewinnt das Thema Nachhaltigkeit an Bedeutung.

2.2 Nachhaltigkeit

Die Bedeutung von Nachhaltigkeit nimmt sowohl auf politischer als auch auf gesellschaftlicher Ebene zu, wodurch auch in der Wissenschaft eine steigende Relevanz zu verzeichnen ist¹¹⁴. Auch für Unternehmen erfährt das Thema Nachhaltigkeit eine zunehmend hohe Priorisierung¹¹⁵. Im Folgenden wird zunächst auf das Verständnis und das Leitbild von Nachhaltigkeit eingegangen, bevor die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit und deren Zusammenhang erläutert werden. Abschließend wird die Rolle von Nachhaltigkeit im Werkzeugbau beschrieben.

¹⁰⁴ Vgl. Heseding (Jahres-Presskonferenz VDMA): 2023, S. 1.

¹⁰⁵ Vgl. ifo Institut (Materialknappheit): 2022, S. 1.

¹⁰⁶ Vgl. IHK Rhein-Neckar (Steigende Rohstoffpreise): 2020, S. 1–5.

¹⁰⁷ Vgl. Boos et al. (Kreislaufwirtschaft im Werkzeugbau): 2023, S. 1.

¹⁰⁸ Vgl. Gaskell (Employees demand): 2021, S. 1.

¹⁰⁹ Vgl. Butler (Do customers really care): 2018, S. 1.

¹¹⁰ Vgl. Die Bundesregierung (CO₂-Bepreisung): 2019, S. 1.

¹¹¹ Vgl. Europäische Kommission (Der europäische Grüne Deal): 2019, S. 5.

¹¹² Vgl. Statistisches Bundesamt (Pressemitteilung Nr. 459): 2021, S. 1.

¹¹³ Vgl. Pergler Media (Fachkräftemangel): 2022, S. 1.

¹¹⁴ Vgl. Michelsen et al. (Nachhaltige Entwicklung): 2014, S. 39.

¹¹⁵ Vgl. Fischer (Corporate Sustainability Governance): 2015, S. 15–24.

2.2.1 Begriffsverständnis und Einordnung

Der Begriff der Nachhaltigkeit wurde erstmals im 18. Jahrhundert definiert. Die erste Erwähnung des Begriffs „Nachhaltigkeit“ erfolgte im Jahre 1713 in der Abhandlung „Sylvicultura Oeconomica oder hauswirthliche Nachricht und naturgemäße Anweisung zur wilden Baum-Zucht“. CARLOWITZ postuliert, dass Wälder kontinuierlich, beständig und nachhaltig genutzt werden sollen. Diese Vorgehensweise zielt darauf ab, eine Reduktion des forstwirtschaftlichen Bestandes zu verhindern, sofern dieser nicht durch entsprechende Maßnahmen kompensiert werden kann.¹¹⁶ In der Folge wurde der Begriff in der Weise weiterentwickelt, dass der Fokus auf dem ökologischen Aspekt liegt. Diese Auffassung wies bis ins 20. Jahrhundert hinein eine bemerkenswerte Konstanz auf. Der Begriff der Nachhaltigkeit hat sich jedoch dahingehend weiterentwickelt, dass nicht lediglich die Forstwirtschaft, sondern die Umwelt im Allgemeinen betrachtet wird. Dies wird ersichtlich anhand des Aktionsplans der Vereinten Nationen (UN, engl. United Nations) aus dem Jahre 1973, in dem unter anderem eine umfassendere Umweltberichterstattung sowie ein steigender Umweltschutz vereinbart wurde¹¹⁷. Von entscheidender Bedeutung ist hierbei, dass diese Einigung auf internationaler Ebene getroffen wurde, wodurch die Relevanz von Nachhaltigkeit als weltweit relevantes Thema unterstrichen wird. Die 1980 von der International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) veröffentlichte World Conservation Strategy (WCS) erweiterte den Nachhaltigkeitsbegriff erneut. Dies war eine Konsequenz des zunehmenden Bewusstseins für die Endlichkeit von natürlichen Ressourcen und die steigende Belastung des natürlichen Ökosystems. In diesem Kontext wurde sich ebenfalls auf internationaler Ebene darauf geeinigt, dass auch die Bedürfnisse zukünftiger Generationen gesichert sein müssen.¹¹⁸

Das Konzept der Nachhaltigkeit hat sich etabliert und zielt darauf ab, dass nur in dem Maße Ressourcen verbraucht werden dürfen, wie dieser Verbrauch durch entsprechende Maßnahmen kompensiert werden kann. Die zugrundeliegende Motivation hierbei ist, dass auch zukünftige Generationen durch natürliche Regeneration Zugang zu den verbrauchten Ressourcen erhalten. Diese Beschreibung deckt sich mit der der nachhaltigen Entwicklung, welche nachfolgend näher erläutert wird.¹¹⁹

¹¹⁶ Vgl. Carlowitz (Sylvicultura Oeconomica): 1713.

¹¹⁷ Vgl. United Nations (Action plan for the human environment): 1973.

¹¹⁸ Vgl. Union for Conservation of Nature and Natural Resources (World conservation strategy): 1980, 2–3.

¹¹⁹ Vgl. Grober (Die Entdeckung der Nachhaltigkeit): 2010, S. 94.

2.2.2 Nachhaltige Entwicklung

*„Eine nachhaltige Entwicklung erfüllt die Bedürfnisse der Gegenwart, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen.“*¹²⁰

BRUNDTLAND für die UN, 1987

Das einleitende Zitat gibt die Definition der nachhaltigen Entwicklung der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD, engl. Organization for Economic Cooperation and Development) wieder. Demnach strebt nachhaltige Entwicklung einen Zustand der Nachhaltigkeit auf internationaler, gesellschaftlicher Ebene an¹²¹. Erreicht wäre dieser Zustand dann, wenn der gesamten heutigen und zukünftigen Weltbevölkerung ein gutes Leben gesichert ist¹²².

Die erfolgreiche Umsetzung dieser Vision wurde durch verschiedene Dokumente vorangebracht, welche im Rahmen der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro im Jahre 1992 verfasst wurden. Von den auf der Konferenz verabschiedeten Dokumenten ist die Agenda 21 von besonderer Relevanz. In diesem Dokument werden Ziele definiert, die darauf abzielen, die Rolle von Umwelt und Mensch langfristig zu stärken sowie eine nachhaltige Nutzung der Ressourcen zu gewährleisten.¹²³ Darüber hinaus thematisiert die Agenda 21 die ökonomische Dimension der Nachhaltigkeit¹²⁴. Im Laufe der Zeit erfuhr die Agenda 21 eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Ziele. In der Folge wurde eine Unterteilung der Ziele in verschiedene Dimensionen vorgenommen sowie die Entwicklung von Modellen zu deren Beschreibung initiiert¹²⁵. Die Betrachtung von Nachhaltigkeit erfolgt unter Zuhilfenahme von Modellen, welche zwei bis acht Dimensionen umfassen. In seiner Modellbeschreibung präsentiert TREMMEL ein Mehr-Dimensionen-Modell, in dem die Anzahl der Dimensionen variiert werden kann, wobei jedoch eine gleichmäßige Gewichtung aller Dimensionen gewährleistet ist¹²⁶. In der wissenschaftlichen Literatur findet das Drei-Dimensionen-Modell, welches die Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales betrachtet, die größte Anwendung. Für den Ansatz der drei Dimensionen lassen sich folgende Argumente anführen: Erstens werden neben den natürlichen Lebensgrundlagen auch soziale, kulturelle und ökonomische Werte berücksichtigt. Zweitens wird auf ökologische, ökonomische und soziale Unsicherheiten für die Gesellschaft eingegangen.¹²⁷ Schlussendlich etablierte sich jedoch das Modell, welches Nachhaltigkeit in drei Dimensionen gliedert. Diese sind die ökologische, die ökonomische und

¹²⁰ Übers. d. Verf. Vgl. Brundtland (Our Common Future): 1987, S. 41.

¹²¹ Vgl. Michelsen et al. (Nachhaltige Entwicklung): 2014, S. 13.

¹²² Vgl. Di Giulio (Idee der Nachhaltigkeit): 2004, S. 55–56.

¹²³ Vgl. Michelsen et al. (Nachhaltige Entwicklung): 2014, S. 14–17.

¹²⁴ Vgl. Vereinte Nationen (Agenda 21): 1992, S. 3.

¹²⁵ Vgl. Nowak (Betriebswirtschaftliche Kennzahlen): 1966, S. 28.

¹²⁶ Vgl. Tremmel (Nachhaltigkeit als politische und analytische Kategorie): 2003, 116–123.

¹²⁷ Vgl. Michelsen et al. (Nachhaltige Entwicklung): 2014, S. 29.

die soziale Dimension¹²⁸. Das Drei-Dimensionen-Modell ist ebenfalls unter dem Namen Drei-Säulen-Modell bekannt und wird in Abbildung 2.10 (a) dargestellt¹²⁹.

Die ökologische Dimension umfasst dabei die Betrachtung sämtlicher Aspekte der natürlichen Umwelt. Eine Betrachtung der natürlichen Umwelt unter Einbezug der finanziellen Aspekte sowie gesellschaftlicher Belange ist jedoch ebenfalls erforderlich. Eine Betrachtung der genannten drei Dimensionen ist erforderlich, da eine rein eindimensionale Betrachtung keine hinlängliche Grundlage für nachhaltige Entscheidungen darstellt. Diesbezüglich sei darauf verwiesen, dass der Schutz sämtlicher natürlicher Ressourcen ohne Berücksichtigung der wirtschaftlichen Auswirkungen nicht möglich ist.¹³⁰ Dies veranschaulicht, dass die Umsetzung von Nachhaltigkeit keine triviale Angelegenheit ist, da die verschiedenen Interdependenzen der drei Dimensionen beachtet werden müssen. WÜHLE spricht in diesem Zusammenhang von Konflikten und Herausforderungen des Drei-Dimensionen-Modells, wie in Abbildung 2.10 (b) verdeutlicht wird¹³¹.

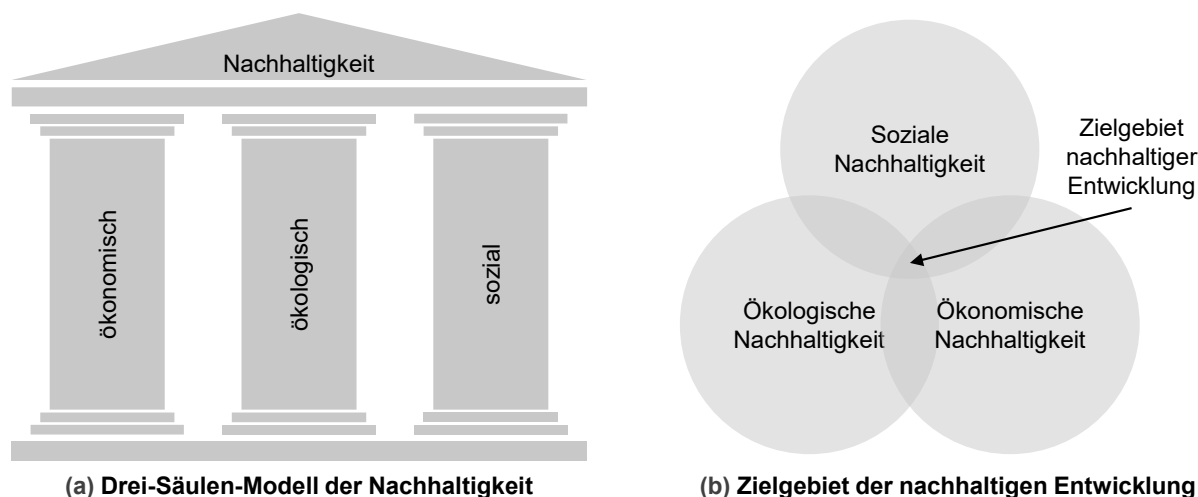


Abbildung 2.10: Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit i. A. a. HAUFF (a)¹³² und Zielgebiet der nachhaltigen Entwicklung i. A. a. WÜHLE (b)¹³³

Es lassen sich Überschneidungen zwischen den einzelnen Dimensionen feststellen, die sich im Zentrum aller drei Dimensionen bündeln (vgl. Abbildung 2.10 (b)). Diese Überschneidungen veranschaulichen die Konflikte und Herausforderungen, die zwischen den Dimensionen bestehen, und es gilt, diese zu bewältigen. Das Ziel der nachhaltigen Entwicklung besteht genau in der Bewältigung dieser Konflikte¹³⁴.

¹²⁸ Vgl. Deutscher Bundestag (Abschlußbericht der Enquete-Kommission): 1998, 17–18.

¹²⁹ Vgl. Hauff (Nachhaltige Entwicklung): 2021, S. 14–16.

¹³⁰ Vgl. Deutscher Bundestag (Abschlußbericht der Enquete-Kommission): 1998, S. 17–18.

¹³¹ Vgl. Wühle (Making Sustainability Measurable): 2023, S. 214–216.

¹³² Vgl. Hauff (Nachhaltige Entwicklung): 2021, S. 14.

¹³³ Vgl. Wühle (Making Sustainability Measurable): 2023, S. 215.

¹³⁴ Vgl. Deutscher Bundestag (Abschlußbericht der Enquete-Kommission): 1998, S. 17; Wühle (Making Sustainability Measurable): 2023, S. 214–216.

Um diese Mission erfolgreich umzusetzen, haben die Vereinten Nationen 17 Ziele der nachhaltigen Entwicklung (SDGs, engl. Sustainable Development Goals)¹³⁵ formuliert, welche in Abbildung 2.11 dargestellt sind. Hierbei handelt es sich um Ziele der Agenda 2030, welche eine Weiterentwicklung der Agenda 21 darstellen¹³⁶.



Abbildung 2.11: Die 17 SDGs, Darstellung der Vereinten Nationen¹³⁷

Neben den genannten Zielen lässt sich eine deutliche Botschaft der Vereinten Nationen ausmachen, welche besagt, dass das aktuelle Handeln auf internationaler Ebene nicht ausreicht, um die Interessen zukünftiger Generationen sicherzustellen. Eine weitere Herausforderung stellt die Bewältigung der Nachwirkungen der Corona-Pandemie (2019) dar. Laut der Agenda 2030 ist aufgrund dieser beiden Herausforderungen ein drastischer Trendwechsel erforderlich, um langfristig ein gutes Leben gewährleisten zu können. Um dieser Herausforderung Rechnung zu tragen, ist es erforderlich, in allen drei Dimensionen der Nachhaltigkeit zu handeln.¹³⁸ Diese werden nachfolgend näher erläutert.

2.2.3 Ökologische Nachhaltigkeit

Die Grundidee der **ökologischen Nachhaltigkeit** besteht in der Erhaltung der bestehenden natürlichen Ökosysteme. Die Erfüllung menschlicher Bedürfnisse ist von der Funktion der Ökosysteme abhängig, beispielsweise hinsichtlich der Bereitstellung von Rohstoffen oder verschiedener Stoffkreisläufe. Das oberste Ziel der ökologischen Nachhaltigkeit besteht in der Erhaltung der genannten Ökosysteme mit ihrer Artenvielfalt und ihren Kreisläufen für zukünftige Generationen.¹³⁹ Um dieses Ziel zu erreichen, haben die Enquete-Kommission und der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen fünf Regeln formuliert:¹⁴⁰ Der Abbau erneuerbarer Ressourcen hat in einer Weise zu erfolgen, dass die Rate ihrer Regeneration nicht überschritten wird.

¹³⁵ Vgl. United Nations (Transforming our world): 2015, S. 14.

¹³⁶ Vgl. Die Bundesregierung (Bericht Agenda 2030): 2021, 8.

¹³⁷ Vgl. United Nations (Transforming our world): 2015, S. 14.

¹³⁸ Vgl. Die Bundesregierung (Bericht Agenda 2030): 2021, S. 8.

¹³⁹ Vgl. Deutscher Bundestag (Abschlußbericht der Enquete-Kommission): 1998, S. 25.

¹⁴⁰ Vgl. Deutscher Bundestag (Abschlußbericht der Enquete-Kommission): 1998, S. 25; Sachverständigenrat für Umweltfragen (Umweltgutachten 1994): 1994, S. 10.

- Der Verbrauch nicht-erneuerbarer Ressourcen ist nur in dem Maße zulässig, in dem es möglich ist, einen physischen und funktionell gleichwertigen Ersatz durch gleich oder höherwertige (nicht-) erneuerbare Ressourcen zu schaffen.
- Stoffeinträge in die Umwelt sind lediglich in dem Maße zulässig, in dem die Belastbarkeit der Umwelt nicht überschritten wird.
- Menschliche Einträge in die Umwelt müssen in einem ausgewogenen Verhältnis stehen, sodass den Ökosystemen ausreichend Zeit zur Verfügung steht, um auf die Einflüsse zu reagieren.
- Es ist erforderlich, menschliches Handeln zu vermeiden, welches Gefahren oder unvermeidbare Risiken für die menschliche Gesundheit nach sich zieht.

Obleich die Natur bis heute einer Übernutzung durch den Menschen unterzogen wurde, ist es nun erforderlich, zu handeln. Dies ist dadurch begründet, dass unser Ökosystem lebensrelevant für den Menschen ist. Die Agenda 2030 stellt den internationalen Konsens dar, dieses Ökosystem im Zuge der ökologischen Nachhaltigkeit zu schützen und zu regenerieren. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die Lebensgrundlage Ökosystem für den Menschen erhalten bleibt.¹⁴¹

2.2.3.1 Klimawandel

„Veränderung des Klimazustands, die (zum Beispiel durch statistische Tests) anhand von Veränderungen des Mittelwerts und/ oder der Variabilität der Klimaeigenschaften festgestellt werden kann und die über einen längeren Zeitraum, in der Regel Jahrzehnte oder länger, anhält.“¹⁴²

IPCC in Climate Change, 2021

Das einleitende Zitat gibt die Definition des Begriffs **Klimawandel** seitens des INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) wieder. Seit Beginn der Industrialisierung haben anthropogene Aktivitäten den natürlichen Treibhauseffekt, der die Welt erst bewohnbar macht, in einer Weise verstärkt, die in der Geschichte beispiellos ist. Die signifikante Zunahme der Emissionen hat zu einer Verstärkung der natürlichen Klimavariabilität der Erde geführt. In der Regel wird diese durch nicht-menschliche Faktoren wie Modulationen der Sonnenaktivität, Vulkanausbrüche und – auf längeren Zeithorizonten – orbitale Effekte zusammen mit der Platten tektonik hervorgerufen. Die umfassende und rasche Änderung dieser Ursache-Wirkungs-Beziehungen führte dazu, dass sich nahezu alle Experten auf das Konzept der vom Menschen verursachten globalen Erwärmung geeinigt haben¹⁴³. Die menschlichen Einflüsse sind erwie senermaßen so umfangreich und schwerwiegend, dass sie neben dem Klimawandel zu zahlreichen Umweltgefahren beitragen¹⁴⁴. Diese Entwicklung hat dazu geführt, dass die heutige

¹⁴¹ Vgl. Hauff (Nachhaltige Entwicklung): 2021, S. 36; Die Bundesregierung (Bericht Agenda 2030): 2021, S. 8.

¹⁴² Übers. d. Verf. Vgl. IPCC (Climate Change 2021): 2021, S. 2222.

¹⁴³ Vgl. Neukom et al. (Variability in global temperature): 2019; Brönnimann et al. (Little Ice Age): 2019; Neukom et al. (No coherent warm and cold periods): 2019.

¹⁴⁴ Vgl. Soode et al. (Comparison of product carbon footprint): 2013, S. 1280.

Zeit informell als Anthropozän bezeichnet wird. Diesbezüglich sei auf die von CRUTZEN ET AL. geprägte, neue geochronologische Epoche verwiesen, welche sich vom Holozän unterscheidet¹⁴⁵. In Anerkennung dieser Tatsache hat die RAHMENÜBEREINKOMMEN DER VEREINTEN NATIONEN ÜBER KLIMAÄNDERUNGEN (UNFCCC, engl. United Nations Framework Convention on Climate Change; kurz Klimarahmenkonvention) den menschlichen Faktor hervorgehoben, indem sie den Klimawandel ausdrücklich als *„direkt oder indirekt auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen, die die Zusammensetzung der globalen Atmosphäre verändern und die zusätzlich zu den über vergleichbaren Zeiträumen beobachteten natürlichen Klimaschwankungen auftreten“*¹⁴⁶ definiert. Die Trägheit ganzer Ökosysteme bedingt eine Fortsetzung der Dynamik der globalen Erwärmung über mehrere Jahrzehnte, selbst bei sofortiger Einstellung der Treibhausgasemissionen¹⁴⁷. Folglich ist im Rahmen dieser Arbeit der Klimawandel stets als auf anthropogene Aktivitäten zurückzuführen und hauptsächlich durch diese verursacht zu verstehen.

Der Begriff **Treibhausgase** (THG) umfasst alle gasförmigen Bestandteile der Atmosphäre, die zur Aufrechterhaltung der Erdoberfläche beitragen, indem sie Strahlung bestimmter Wellenlängen absorbieren und emittieren. Infolgedessen stellen sie einen wesentlichen Bestandteil des Klimasystems der Erde dar. Die kurzwellige Strahlung der Sonne wird durch die Atmosphäre hindurchgelassen, während die längere infrarote oder terrestrische Strahlung absorbiert wird. Dies verhindert, dass die von der Erdoberfläche, den Luftmolekülen der Atmosphäre, den Ozeanen und den Wolken reflektierte Strahlung zurück ins Weltall entweicht. Dies führt zu einer Erwärmung der Erdoberfläche, die als Treibhauseffekt bezeichnet wird.

Treibhausgase können sowohl natürlichen als auch anthropogenen Ursprungs sein. Zu den am weitesten verbreiteten natürlichen Treibhausgasen zählt Wasserdampf (H_2O), der etwa 55 % zum natürlichen Treibhauseffekt beiträgt. Des Weiteren ist ein Beitrag von 39 % zum Treibhauseffekt durch Kohlendioxid (CO_2) zu verzeichnen. Zu den weiteren natürlichen Treibhausgasen zählen Methan (CH_4), Ozon (O_3) und Distickstoffoxid (N_2O). Die anthropogenen Wasserdampfemissionen werden nicht als zusätzlicher Beitrag zum Klimawandel angesehen. Gleichwohl weisen andere vom Menschen verursachte Treibhausgase signifikante Klimawirkungen auf, wie beispielsweise Schwefelhexafluorid (SF_6) und flüchtige und persistente Halogenkohlenwasserstoffe aus der Industrie. Zu diesen gehören Fluorkohlenwasserstoffe (HFC), Fluorchlorkohlenwasserstoffe (CFC), Perfluorkohlenwasserstoffe (PFC) und Perfluormethan. Einige dieser Gase sind zudem ozonabbauend und unterliegen der Regulierung durch das Montrealer Protokoll. Dies impliziert, dass sie eine höhere Durchlässigkeit für ultraviolette (UV) Strahlung aufweisen oder die UV-hemmende Schicht der Atmosphäre zerstören, was eine weitere Förderung der globalen Erderwärmung zur Folge hat. Die zunehmende Bedeutung der

¹⁴⁵ Vgl. Crutzen et al. (The 'Anthropocene'): 2021, S. 19–21.

¹⁴⁶ Übers. d. Verf. Vgl. UNFCCC (United Nations Framework Convention): 1992, S. 3.

¹⁴⁷ Vgl. (Life Cycle Assessment): 2018, S. 201–204.

Eindämmung des Klimawandels resultierte schließlich in der Verabschiedung von Klimaschutzabkommen wie dem 1997 verabschiedeten Kyoto-Protokoll¹⁴⁸. Dieses legt eine globale Obergrenze mit Reduktionszielen für die folgenden sechs Treibhausgase fest, welche auch als „Kyoto-Gase“ bezeichnet werden. Zu den genannten Gasen zählen Kohlenstoffdioxid (CO_2), Methan (CH_4), Distickstoffmonoxid (N_2O), Fluorkohlenwasserstoffe (HFC), Perfluorkohlenwasserstoffe (PFC) sowie Schwefelhexafluorid (SF_6). Ein weiteres Gas, nämlich Stickstofftrifluorid (NF_3), wurde kürzlich im Rahmen der sogenannten Doha-Runde¹⁴⁹ für die zweite Erfüllungsperiode im Jahr 2022 hinzugefügt.¹⁵⁰

Die Vielzahl an Einflussfaktoren sowie die jeweils komplexen Ursache-Wirkungs-Prinzipien erschweren die Vergleichbarkeit und die Greifbarkeit der Ergebnisse von Folgenabschätzungen. Die Reduktion auf eine gemeinsame Messgröße, das CO_2e , erleichtert das Erfassen der Auswirkungen, indem eine einheitliche Skala eingeführt wird. Da Kohlenstoffdioxid (CO_2) als Hauptverursacher der vom Menschen verursachten globalen Erwärmung gilt, wurde es als Stellvertreter für das globale Erwärmungspotenzial (engl. Global Warming Potential, GWP) anderer Stoffe und Treibhausgase gewählt. Die Darstellung erfolgt in Form der CO_2 -Menge, welche den gleichen Strahlungsantriebseffekt wie der ursprünglich gemessene Stoff hervorgerufen würde. Die spezifischen CO_2e von Treibhausgasen, wie die sechs ursprünglichen Kyoto-Gase, sind im Anhang in Tabelle 7.1 durch ihr GWP_{100} dargestellt.¹⁵¹

In Abhängigkeit von ihren chemisch-physikalischen Eigenschaften zeigen Treibhausgase eine unterschiedliche Wirkung auf die Umwelt. Dies äußert sich in einem unterschiedlich effektiven Strahlungsantrieb. Diese Unterschiede werden durch das **GWP** abgebildet. Des Weiteren findet beim GWP-Index eine Berücksichtigung der unterschiedlichen Zeiträume statt, in denen die Stoffe in der Atmosphäre aktiv sind, im Verhältnis zur bewusst festgelegten Wirkungsdauer. Diese Dauer wird in der Regel, wie vom IPCC empfohlen, auf 100 Jahre festgelegt. Alternativ lässt sich eine Dauer von 20 Jahren wählen, um den Einfluss von kurzlebigen oder flüchtigen Stoffen wie Methan, Sulfataerosolen, Stickoxiden (NO_x) und flüchtigen organischen Verbindungen (engl. Volatile Organic Compounds, VOC) zu betonen. Ebenfalls besteht die Möglichkeit, eine Dauer von 500 Jahren zu verwenden, um Auswirkungen über Jahrhunderte hinweg aufzuzeigen. Zur differenzierten Angabe des zu verwendenden Faktors wird die Verwendung der Indizes GWP_{100} , GWP_{20} und GWP_{500} empfohlen, welche eine bessere Unterscheidung ermöglichen.¹⁵² Der jeweilige GWP-Wert kann der Tabelle 7.1 im Anhang entnommen werden und ist gemäß Formel 2.1 berechenbar.

¹⁴⁸ Vgl. United Nations (Kyoto protocol): 1998.

¹⁴⁹ Vgl. United Nations (Doha amendment): 2022.

¹⁵⁰ Vgl. IPCC (Climate Change 2021): 2021, S. 2233; Rosenbaum et al. (Life Cycle Impact Assessment): 2018, S. 204–207; Reschke (Schlussbericht Carbon Footprinting): 2019, S. 11.

¹⁵¹ Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (14067:2018, Greenhouse gases): 2018, S. 20; IPCC (Climate Change 2021): 2021, S. 2224.

¹⁵² Vgl. IPCC (Climate Change 2021): 2021, 2224, 2232; Rosenbaum et al. (Life Cycle Impact Assessment): 2018, S. 204–206.

Formel 2.1: Berechnung des globalen Erwärmungspotenzials (GWP)

$$GWP_T^i = \frac{\int_0^T a_i \cdot C_i(t) dt}{\int_0^T a_{CO_2} \cdot CO_2(t) dt}$$

a_i = Absorptionsfaktor der Wärmestrahlung (sofortiger Strahlungsantrieb) nach einem Anstieg der Konzentration des Gases i um eine Einheit - auch als globaler Erwärmungskoeffizient bezeichnet

$C_i(t)$ = Konzentration des zum Zeitpunkt t nach der Emission verbleibenden Gases i

T = Anzahl der Jahre, für die die Integration durchgeführt wird (wie 20 oder 100 Jahre)

2.2.3.2 Messen von Treibhausgasemissionen

Die Erfassung von Treibhausgasemissionen stellt einen der wesentlichen Aspekte ökologischer Nachhaltigkeit dar. Zu diesem Zweck ist die Verwendung einer vergleichbaren Bezugsgröße erforderlich, wie sie der **CO₂-Fußabdruck** (CFP, engl. Carbon Footprint) darstellt. Obgleich sich die Bedeutung von Fußabdrücken im Laufe der Zeit weiterentwickelt hat und sie gegenwärtig in einer Vielzahl von Kontexten Anwendung finden, sind die grundlegenden Implikationen nach wie vor evident, wie sie bereits vor 300 Jahren erkannt wurden. Das menschliche Leben hinterlässt Spuren auf der Erde, die aufgrund ihrer Signalfunktion für den Betrachter unmittelbar nachvollziehbar sind. Im Gegensatz zu anderen Umweltmanagement- und Berichterstattungsstandards, welche sich primär an Prozessarchitekturen orientieren – wie beispielsweise Green Business Process Management (GreenBPM) oder das Eco-Management and Audit Scheme (EMAS)¹⁵³ der EUROPÄISCHEN UNION (EU) – fokussieren sich der CO₂-Fußabdruck (CFP) auf die Darstellung der kumulierten Menge an direkten und indirekten CO₂-Emissionen, welche mit dem spezifischen Interessenbereich assoziiert sind. Die Erstellung eines CO₂-Fußabdrucks ist für eine Vielzahl von Bereichen und Objekten möglich. Dazu zählen unter anderem ganze Länder, Institutionen, der private Konsum, Reisemodalitäten sowie die gesamte Produktionskette eines Produkts oder eines Produktionsprozesses eines Unternehmens.¹⁵⁴

Die in diesem Kontext relevanten Aktivitäten, wie beispielsweise die Auswirkungen der Forstwirtschaft auf den Klimawandel, werden in Abbildung 2.12 exemplarisch dargestellt. Im Umweltbereich werden CO₂e-Fußabdrücke als Instrument der Kommunikation mit verschiedenen Anspruchsgruppen eingesetzt, beispielsweise mit dem Ziel, deren Bewusstsein für die Thematik zu schärfen. Der CO₂e-Fußabdruck ist speziell auf den Klimawandel ausgerichtet und genießt breite Akzeptanz. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Konzept für die Erstellenden einfach durchführbar, in vielen Kontexten anwendbar und gut visualisierbar ist. Zudem

¹⁵³ Vgl. Peverali et al. (Umweltorientiertes Prozessmanagement): 2021.

¹⁵⁴ Vgl. Lewandowski et al. (Berechnung des CO₂-Fußabdrucks): 2021, S. 17; IPCC (Climate Change 2022): 2022, S. 1796.

ermöglicht es den Empfangenden ohne Expert*innenwissen, durch die Komplexitätsreduktion und Induktivität von der einfachen Verständlichkeit zu profitieren.¹⁵⁵

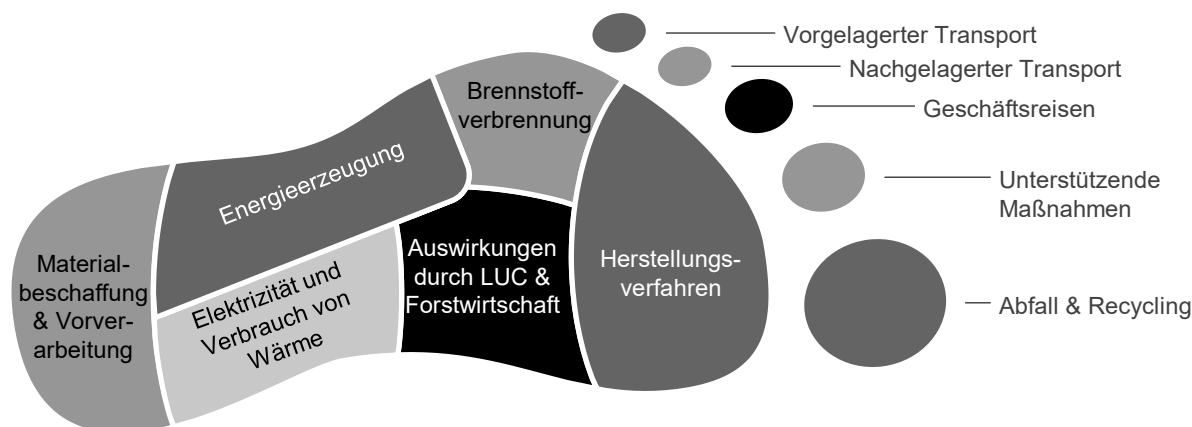


Abbildung 2.12: Schematische Darstellung eines CO₂e-Fußabdrucks, der eine Vielzahl von Unternehmensaktivitäten zeigt¹⁵⁶

Diese Vereinfachung ist jedoch auch der Grund für die berechtigte Kritik am Konzept des CO₂e-Fußabdrucks, welche sich auf zwei wesentliche Einschränkungen fokussiert: Erstens wird ausschließlich der Klimawandel als einzige Wirkungskategorie betrachtet, während andere Umweltaspekte sowie wirtschaftliche und soziale Aspekte unberücksichtigt bleiben. Zweitens ist die Methodik selbst Gegenstand kontroverser Debatten.¹⁵⁷ Eine ganzheitliche Ökobilanz ist jedoch unabdingbar, um die komplexen Interdependenzen in Form von Trade-offs, Co-Benefits oder Rebound-Effekten zwischen den verschiedenen Umweltkategorien adäquat zu erfassen. Diese Problematik wird auch als „Burden Shifting“ bezeichnet. Folglich reflektiert ein CO₂e-Fußabdruck nicht die gesamte Umweltleistung und kann nicht zur Darstellung der vielschichtigen ökologischen Nachhaltigkeit herangezogen werden. Er ist lediglich dazu geeignet, Entscheidungen in Bezug auf eine spezifische Kategorie zu unterstützen.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass aufgrund methodischer Unterschiede eine Kombination verschiedener Fußabdrücke nicht möglich ist, um den Umfang der erfassten Auswirkungen zu erweitern. Wirkungsbezogene Fußabdrücke und mengenbezogene Fußabdrücke – wie beispielsweise Fußabdrücke für den Autoverkehr oder volumetrische Wasserfußabdrücke – unterscheiden sich in ihrem Grundprinzip voneinander. Ferner sind Fußabdrücke in Bezug auf ihre Systemgrenzen in der Regel nicht aufeinander abgestimmt. Dies birgt die Gefahr, dass Faktoren ausgelassen oder doppelt gezählt werden, was wiederum zu Verzerrungen führen kann.¹⁵⁸ Eine sich in der Entwicklung befindende Fußabdruck-Methode ohne diese Einschrän-

¹⁵⁵ Vgl. Rosenbaum et al. (Life Cycle Impact Assessment): 2018, S. 196–197.

¹⁵⁶ Eigen Darstellung

¹⁵⁷ Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (14067:2018, Greenhouse gases): 2018, 72-24.

¹⁵⁸ Vgl. Bhatia et al. (Product Life Cycle Accounting): 2011, S. 7; Rosenbaum et al. (Life Cycle Impact Assessment): 2018, S. 197–198; Garcia et al. (Carbon footprint of particleboard): 2014, S. 205.

kungen ist der Product Environmental Footprint (PEF), welche derzeit Untersuchungsgegenstand der EUROPÄISCHEN KOMMISSION ist. Dieser wird nach dem Product Carbon Footprint (PCF) und dem Company Carbon Footprint (CCF) diskutiert werden.

Der Begriff „**Product Carbon Footprint**“ (PCF) bezeichnet eine spezielle Art von Fußabdruck, welcher die Treibhausgasbilanz eines Produkts in Bezug auf eine definierte Nutzungseinheit in einer definierten Anwendung über dessen gesamten Lebenszyklus hinweg darstellt. In diesem Kontext kann ein PCF als Beispiel für eine Art von Umweltlabel betrachtet werden. Dabei lassen sich drei Ausprägungen unterscheiden: Typ I: Die Erfüllung bestimmter, geforderter Kriterien wird durch Dritte garantiert, Typ II: Selbstdeklaration von Umweltinformationen und Typ III: Zertifizierte Ergebnisse durch Dritte ohne Vergleich mit anderen Produkten. Die auf diese Weise erreichte CO₂e-Visualisierung unterstützt sowohl die Kunden bei der Entscheidung für einen nachhaltigen Konsum als auch Produzenten bei der Herstellung nachhaltiger, weniger umweltintensiver Güter. Dies fördert die Transparenz in der vor- und nachgelagerten Lieferkette mit den beteiligten Akteuren sowie das Bewusstsein für Treibhausgasemissionen. Dadurch wird die Identifikation von besonders emissionsintensiven Beiträgen ermöglicht, was die Grundlage für deren Reduktion darstellt. Weiterhin stellen sie eine Hilfestellung bei der Verfolgung der Fußabdruck-Performanz dar, welche von Unternehmen zur Entwicklung einer eigenen Klimastrategie genutzt werden kann. Damit tragen sie zur Förderung einer nachhaltigen Gesellschaft durch Verhaltensänderung bei.¹⁵⁹

Der begrenzte Anwendungsbereich des CO₂e-Fußabdrucks im Allgemeinen findet ebenfalls auf die PCFs Anwendung. Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass ein Fußabdruck zwar visuell und vereinfacht dargestellt werden kann, der numerische Wert von CO₂e jedoch immer noch zu abstrakt ist, um von Verbrauchern als Maß für die Umweltauswirkungen eines Produkts verinnerlicht zu werden. Des Weiteren ist der Ursprung der PCFs umstritten, da sie in erster Linie von verschiedenen privaten Institutionen wie Nichtregierungsorganisation (engl. Non-Governmental Organization, NGOs) und Unternehmen vorangetrieben wurden. Dabei standen meist die Markenbildung und das grüne Marketing im Vordergrund. Es wäre wünschenswert gewesen, wenn die Forschung bei der Entwicklung eines regulativen Instruments zur Eindämmung des Klimawandels die Führung übernommen hätte.¹⁶⁰

Analog zum PCF wird der **Company Carbon Footprint** (CCF) als spezieller Fußabdruck für einen definierten Anwendungsfall erstellt. Im Gegensatz zum PCF, der sich auf einzelne Produkte bezieht, wird beim CCF das ganze Unternehmen betrachtet. Um die Breite des Einflusses eines Unternehmens auf den Klimawandel möglichst vollständig abzubilden, werden nicht nur die direkten Emissionen, die unmittelbar mit der Bereitstellung von Gütern und Dienstleistungen verbunden sind, berücksichtigt. Zusätzlich werden auch indirekte Emissionen durch

¹⁵⁹ Vgl. Gensch (Der Product Carbon Footprint): 2013, S. 63–64; Inaba et al. (Carbon footprint of products): 2016, S. 15–16.

¹⁶⁰ Vgl. Soode et al. (Comparison of product carbon footprint): 2013, S. 1281.

unterstützende Aktivitäten wie Verwaltung, Investitionen, Mitarbeitendenreisen, Lieferanten, Gemeinkosten und weitere mit einbezogen.¹⁶¹

Der Begriff „**Cradle-to-X**“ (C-2-x) steht stellvertretend für die verschiedenen Möglichkeiten, Systemgrenzen entlang des Lebenszyklus zu definieren. Im Rahmen der Produktbewertung, wie beispielsweise dem PCF, können grundsätzlich drei Typen unterschieden werden: Cradle-to-Gate, Gate-to-Gate und Cradle-to-Grave. Wie in Abbildung 2.13 dargestellt, beginnt eine Cradle-to-Gate-Bewertung mit der Rohstoffgewinnung und der Energieerzeugung und umfasst den gesamten Lebenszyklus eines Produkts bis zum Verlassen des Standorts des Herstellers, der die Bewertung durchführt, unmittelbar nach der Produktion. Infolgedessen wird die gesamte vorgelagerte Lieferkette in die Betrachtung mit einbezogen. Die Bezeichnung „Gate-to-Gate“ entspricht nicht der vorgegebenen Systematik der Benennung, da sie die gesamte vorgelagerte und nachgelagerte Wertschöpfungskette unberücksichtigt lässt. In der vorliegenden Betrachtung wird der Begriff „Cradle“ nicht einbezogen. Im Rahmen dieser Untersuchung wird ausschließlich der Standort des Herstellers betrachtet. Dies kann eine sinnvolle Vorgehensweise sein, sofern vor dem „Gate“ keine oder lediglich unzureichende Daten gewonnen werden können. Der Begriff „Standort“ und „Gate“ sind in diesem Kontext nicht geografisch zu verstehen, da es sich nicht um die Tore eines einzigen physischen Standorts handeln muss. Der betreffende Standort kann mehrere, auch regional verstreute, Einrichtungen umfassen. Die Cradle-to-Grave-Quantifizierung umfasst den gesamten Produktlebenszyklus, beginnend bei der Materialgewinnung über die Nutzungsphase bis hin zur Abfallbeseitigung. Dadurch wird eine vollständige Erfassung der Umweltwirkungen gewährleistet, aus der sich der vollständige PCF ableiten lässt. Um die Bedeutung des Recyclings als Ersatz für die Verwendung neuer Materialien zu betonen, wird der Begriff mitunter auch auf Cradle-to-Cradle ausgedehnt, um die Grundsätze einer Kreislaufwirtschaft zu unterstreichen.¹⁶² Eine Übersicht verschiedener Systemgrenzen ist in Abbildung 2.13 dargestellt.

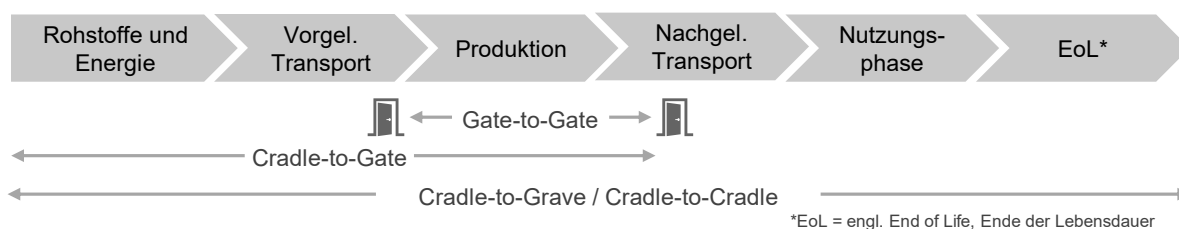


Abbildung 2.13: Die verschiedenen PCF-Systemgrenzen: Gate-to-Gate, Cradle-to-Gate, Cradle-to-Grave / Cradle-to-Cradle

Der Begriff „**THG-Bilanzierung**“ bezeichnet den Prozess der Bilanzierung, Erfassung und Konsolidierung der jeweiligen Emissionen durch ein Unternehmen, welches entweder Anteils-eigner ist oder die Kontrolle über die entsprechenden Aktivitäten ausübt. Die bilanzierten Emis-

¹⁶¹ Vgl. Lewandowski et al. (Berechnung des CO₂-Fußabdrucks): 2021, S. 18.

¹⁶² Vgl. Bhatia et al. (Product Life Cycle Accounting): 2011, 39, 134; Wu et al. (Evolution of global greenhouse gas standards): 2015, S. 144.

sionen müssen mit ihrem Ursprung, das heißt Betrieb, Standort, Geschäftsprozesse und Eigentümer, verknüpft werden¹⁶³. Die Motivation für Unternehmen, eine THG-Bilanzierung durchzuführen, basiert in der Regel auf fünf Hauptzielen. Diese sind: (i) die Unterstützung von Produkt- und Prozessentwicklungen, (ii) die Verwendung von Umweltzeichen zu Marketingzwecken, (iii) die Entwicklung und Auswahl von Indikatoren zur Überwachung der Umweltleistung von Produkten oder Anlagen, (iv) die Auswahl von Zulieferern oder Subunternehmern und (v) die strategische Planung¹⁶⁴. Der Zweck (ii) steht zudem in Zusammenhang mit der Kohlenstoffberichterstattung.

In der Folge der Rechnungslegung erfolgt die **THG-Berichterstattung**, welche die Aufgabe der Mitteilung der bewerteten Daten an die Beteiligten umfasst. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Format und der Stil der Präsentation der Ergebnisse an die Bedürfnisse der verschiedenen Zielgruppen anzupassen sind, da diese die Ergebnisse möglicherweise unterschiedlich nutzen.¹⁶⁵

2.2.3.3 Scope-Gliederung von Treibhausgasemissionen

Die Gliederung der Treibhausgasemissionen in drei Scopes wurde erstmals im Jahr 2004 mit dem Greenhouse Gas Protocol (GHG-Protocol) eingeführt und etablierte sich in der Folgezeit als Standard in der wissenschaftlichen Literatur. Das Ziel besteht in der Steigerung der Transparenz durch die Kategorisierung der Treibhausgasemissionen nach ihrer Herkunft in Bezug auf das bewertete Unternehmen. Die Kategorie der direkten Treibhausgasemissionen umfasst alle Quellen, die sich im Eigentum oder unter der Kontrolle der Organisation befinden. Indirekte Emissionen hingegen stehen in Zusammenhang mit den Aktivitäten der Organisation, stammen jedoch nicht aus Quellen, die ihr gehören oder von ihr kontrolliert werden. Dies erleichtert die Ableitung gezielterer Maßnahmen, da Verbesserungen auf bestimmte Bereiche und die jeweiligen Beteiligten der Lieferkette ausgerichtet werden können.¹⁶⁶

Alle direkten Emissionen werden dem **Scope 1** zugeordnet. Diese Emissionen entstehen in der Regel am Produktionsstandort des berichtenden Unternehmens selbst, da für die jeweiligen Quellen entweder Eigentum (Equity-Share-Ansatz) oder Kontrolle (zwei Kontrollansätze: finanziell oder operativ) gilt. In diesem Kontext sind insbesondere die mobile Verbrennung von firmeneigenen Fahrzeugen sowie die stationäre Verbrennung für die eigene Energieerzeugung zu nennen. Des Weiteren sind diffuse Emissionen zu berücksichtigen. Die Verbrennung von Biomasse wird in der Regel separat ausgewiesen.

Der **Scope 2** umfasst diejenigen indirekten Emissionen, die mit der Erzeugung der von der Organisation eingekauften Energie verbunden sind. Im Allgemeinen wird zwischen Emissions-

¹⁶³ Vgl. Ranganathan et al. (The Greenhouse Gas Protocol): 2004, S. 20.

¹⁶⁴ Vgl. Owsianiak et al. (LCA applications): 2018, S. 35.

¹⁶⁵ Vgl. Ranganathan et al. (The Greenhouse Gas Protocol): 2004, S. 20.

¹⁶⁶ Vgl. Ranganathan et al. (The Greenhouse Gas Protocol): 2004, 17-19, 24-33.

faktoren bei der Erzeugung (EFG, engl. Emission Factors at Generation), wo die Treibhausgase physisch anfallen, und Emissionsfaktoren beim Verbrauch (EFC, engl. Emission Factors at Consumption) differenziert. Letztere berücksichtigen zusätzlich die Verluste im physischen Verteilungsnetz. Die Verwendung von Emissionsfaktoren bei der Erzeugung in Scope-2-Berechnungen wird aus Gründen der Transparenz, Konsistenz und zur Vermeidung von Doppelzählungen empfohlen.

Alle übrigen indirekten Emissionen werden dem **Scope 3** zugeordnet, dessen Berichterstattung mitunter lediglich als fakultativ erachtet wird, wie im GHG-Protokoll dargelegt. Dementsprechend kann es für Unternehmen ratsam sein, keine vollständigen Ökobilanzen für alle potenziellen Verursacher zu erstellen. Folglich besteht die Möglichkeit, sich bei der Bewertung auf eine begrenzte Anzahl von THG-intensiven Aktivitäten zu fokussieren, wobei lediglich diejenigen Aktivitäten berücksichtigt werden, die für die Geschäftsziele von essenzieller Bedeutung sind.¹⁶⁷ Die Annahme, dass Scope 3 von untergeordneter Bedeutung wäre, ist eine Fehlinterpretation. Wie von OLIVER WYMAN und CARBON DISCLOSURE PROJECT (CDP) berichtet, entfallen bereits über 80 % der berichteten Emissionen auf diesen Bereich. Allerdings gestaltet sich die Nachverfolgung und Quantifizierung dieser Emissionen als wesentlich schwieriger. Infolgedessen werden aussagekräftige Scope-3-Informationen von weniger als 35 % der Unternehmen in Sektoren mit hoher Auswirkung offengelegt.¹⁶⁸ Die Scope-Gliederung entlang der Wertschöpfungskette ist in Abbildung 2.14 anhand von Beispielen dargestellt.

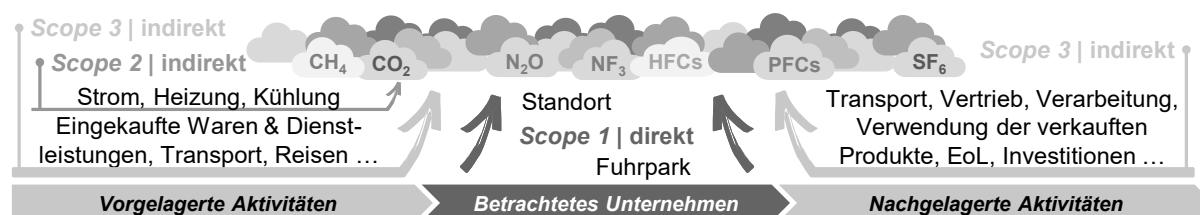


Abbildung 2.14: Scope-Gliederung entlang der Wertschöpfungskette mit Beispielen und angepassten Kategorien i. A. a. Bhatia¹⁶⁹

2.2.4 Ökonomische Nachhaltigkeit

Das Ziel der **ökonomischen Nachhaltigkeit** besteht in der Förderung des Wirtschaftswachstums, welches die Grundlage für eine generationenübergreifende Sicherstellung einer angemessenen Lebensqualität bildet¹⁷⁰. Die Enquete-Kommission definiert diesbezüglich, dass verfügbare Mittel und Arbeitskräfte so einzusetzen sind, dass eine optimale Versorgung der Bevölkerung mit Gütern und Dienstleistungen gewährleistet wird. Darüber hinaus hat die Enquete-Kommission vier Regeln vorgeschlagen, deren Beachtung die Gewährleistung der zuvor genannten Aspekte sichert.¹⁷¹

¹⁶⁷ Vgl. Bhatia et al. (Product Life Cycle Accounting): 2011, S. 6.

¹⁶⁸ Vgl. Oliver Wyman et al. (Running hot): 2021, 6, 29.

¹⁶⁹ Vgl. Bhatia et al. (Corporate Value Chain): 2011, S. 31–32.

¹⁷⁰ Vgl. Hauff (Nachhaltige Entwicklung): 2021, S. 37.

¹⁷¹ Vgl. Deutscher Bundestag (Abschlußbericht der Enquete-Kommission): 1998, 26–27.

- Um die ökonomische Nachhaltigkeit zu gewährleisten, ist es erforderlich, die Wirtschaftsordnung so zu gestalten, dass persönliche Initiativen und ein Eigeninteresse bezüglich des Dienstes am Gemeinwohl geschaffen werden.
- Die Preise auf den Märkten sollen die Knappheit von Ressourcen, Senken, Produktionsfaktoren, Gütern und Dienstleistungen adäquat widerspiegeln.
- Eine entsprechende Gestaltung des Wettbewerbs gewährleistet die Entstehung und Aufrechterhaltung funktionsfähiger Märkte. Des Weiteren wird eine Förderung von Innovationen sowie eine langfristige Perspektive als erstrebenswert erachtet.
- Weiter ist sicherzustellen, dass nicht nur die ökonomische Leistungsfähigkeit, sondern auch das Produktiv-, Sozial- und Humankapital langfristig mindestens erhalten bleiben.

HAUFF unterstreicht, dass Produktionsweisen und Konsumverhalten vor dem Hintergrund der ökologischen Nachhaltigkeit sowie zur Erreichung der ökonomischen Nachhaltigkeit einer kritischen Reflexion und gegebenenfalls einer Anpassung bedürfen¹⁷². Diese These wird von LAWN weiter konkretisiert. LAWN betont, dass ein bestimmtes Konsumniveau negative Auswirkungen auf das Ökosystem haben wird. Um auch in Zukunft ein gutes Leben zu ermöglichen, muss das Konsumniveau angepasst werden.¹⁷³ Darüber hinaus ist nach JACKSON zu berücksichtigen, dass eine Steigerung des Wohlstands nicht mit ökonomischer Nachhaltigkeit gleichgesetzt werden kann. Dies begründet sich darin, dass ein Teil der Gesellschaft bereits über ein gutes Leben verfügt, während in vielen Regionen der Welt Armut vorherrscht.¹⁷⁴ Vor allem aber wird finanzieller Wohlstand immer noch als Indikator für eine hohe Lebensqualität verwendet, was nach HAUFF nicht dem Ziel nachhaltiger Entwicklung entspricht¹⁷⁵.

2.2.5 Soziale Nachhaltigkeit

Soziale Nachhaltigkeit basiert auf einer solidarischen Gesellschaft. Eine solche Gesellschaft ist demokratisch, rechtsstaatlich, frei, sozial gerecht, wohlhabend und ökologisch verantwortlich¹⁷⁶. Der Fokus der sozialen Nachhaltigkeit liegt folglich auf immateriellen Gütern, die eine hohe Lebensqualität auszeichnen, wie beispielsweise Bildung, die gleichmäßig in der Gesellschaft verteilt sind¹⁷⁷. Um den Zielzustand zu erreichen, hat die Enquete-Kommission vier Regeln definiert, die dazu zu befolgen sind:¹⁷⁸

¹⁷² Vgl. Hauff (Nachhaltige Entwicklung): 2021, S. 37.

¹⁷³ Vgl. Lawn (Toward sustainable development): 2020, 18–20.

¹⁷⁴ Vgl. Jackson (Jackson 2017): 2017, S. 4.

¹⁷⁵ Vgl. Hauff (Nachhaltige Entwicklung): 2021, S. 39.

¹⁷⁶ Vgl. Deutscher Bundestag (Abschlußbericht der Enquete-Kommission): 1998, S. 27.

¹⁷⁷ Vgl. Hauff (Nachhaltige Entwicklung): 2021, S. 39; Pichler (Leitbild Nachhaltiger Entwicklung): 2020, S. 94.

¹⁷⁸ Vgl. Deutscher Bundestag (Abschlußbericht der Enquete-Kommission): 1998, S. 28.

- Die Gewährleistung der Menschenwürde und einer freien Persönlichkeitsentfaltung durch den Rechtsstaat soll generationenübergreifend sichergestellt werden.
- Die Unterstützung aller Mitglieder der Gesellschaft erfolgt entsprechend der geleisteten Unterstützung oder der Bedürftigkeit. Im Gegenzug sind die Mitglieder dazu verpflichtet, die Gesellschaft im Rahmen ihrer Leistungsfähigkeit zu unterstützen.
- Soziale Sicherungssysteme sind in ihrer Ausgestaltung von der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit abhängig.
- Das Leistungspotenzial der Gesellschaft soll generationenübergreifend mindestens erhalten bleiben.

In diesem Kontext kann der Begriff „Leistungspotenzial“ als die emotionale Bereitschaft zur Unterstützung sowie die geistige, rechtliche und materielle Absicherung eines solidarischen Zusammenlebens definiert werden. Diese Solidarität erstreckt sich von der Unterstützung innerhalb der privaten Sphäre bis hin zur Solidarität mit der Gesellschaft als Ganzes.¹⁷⁹ In allen drei dargestellten Dimensionen der Nachhaltigkeit zeigt sich, dass noch einige Herausforderungen zu überwinden sind, um den angestrebten Zielzustand der Nachhaltigkeit zu erreichen. Das folgende Kapitel widmet sich der Analyse dieser Herausforderungen.

2.2.6 Herausforderungen der Nachhaltigkeit

Die Welt steht aktuell vor diversen Aufgaben, die es zu bewältigen gilt, um den Zustand der Nachhaltigkeit zu erreichen. Diese sind unter anderem in der Agenda 2030 festgehalten. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um Ziele, die verschiedene Aspekte der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit berücksichtigen¹⁸⁰. ROUT ET AL. haben diese Ziele zusammengefasst und ebenfalls einen Zustand beschrieben, der sich langfristig global einstellen soll. In Tabelle 2.1 sind diese Herausforderungen zusammengefasst.

Tabelle 2.1: Herausforderungen der Nachhaltigkeit nach ROUT ET AL.¹⁸¹

Herausforderung	Bewältigungsansatz
Ökologische Balance	Stabilisierung des Ökosystems und Erhalt sowie Erweiterung der Biodiversität durch den Schutz natürlicher Ressourcen und Schaffung neuer Lebensräume.
Gesundheit und Sicherheit	Schaffen einer sicheren und gesunden Umwelt.
Verschmutzung	Gewährleistung einer verbesserten Umwelt durch die Verringerung von Umweltverschmutzungen und die Verwendung ökologischer Technologien.
Klimawandel	Steigerung der Resilienz der Umwelt gegenüber den Folgen des Klimawandels.
Soziale Angelegenheiten	Reduktion von Kriminalität und Ausgleich der Chancenungleichheit.

¹⁷⁹ Vgl. Deutscher Bundestag (Abschlußbericht der Enquete-Kommission): 1998, S. 28.

¹⁸⁰ Vgl. United Nations (Transforming our world): 2015, S. 1.

¹⁸¹ Vgl. Rout et al. (Introduction to sustainability): 2020, S. 4.

Abfall	Verringerung von Abfällen durch die Verwendung und Erweiterung von Recyclingsystemen.
Wasser	Drosselung des Frischwasserverbrauchs durch erhöhte Aufbereitung von Abwasser und die Etablierung solcher Technologien.
CO ₂ e-Emissionen	Verbreitung von energieeffizienten und emissionsarmen Technologien zu Reduktion von CO ₂ e-Emissionen.
Ökonomische Aspekte	Gewährleistung von Stabilität, Wachstum und Effizienz in der Ökonomie durch den Erhalt oder Ausbau der Produktivität.

In diesem Zusammenhang ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich bei der Erreichung des Zielzustands, in Analogie zum Zielbild des Werkzeugbaus, Konflikte bilden. So werden beispielsweise verstärkt Investitionen in ökologisch wertvolle Technologien gefordert. Diese in der Regel hohen Investitionen könnten sich jedoch negativ auf das wirtschaftliche Wachstum auswirken. An dieser Stelle ist es erforderlich, angemessene Kompromisse zu erarbeiten, um eine ganzheitliche Nachhaltigkeit zu schaffen¹⁸². Auch der Werkzeugbau, als integraler Bestandteil der Industrie und damit befähigt zur Steigerung der Nachhaltigkeit, ist hier gefordert und steht ebenfalls vor diesen Herausforderungen.

2.2.7 Nachhaltigkeit im Werkzeugbau

Innerhalb des Werkzeugbaus werden diverse Ansätze verfolgt, um den Herausforderungen der Nachhaltigkeit gerecht zu werden. Der hohe Verbrauch von Energie und Ressourcen in der Branche stellt einen wesentlichen Grund dafür dar, dass eine Produktionswende erforderlich ist. In diesem Kontext wurden sechs branchenspezifische Potenziale identifiziert, die es zu erschließen gilt. In diesem Zusammenhang sind insbesondere die Handlungsfelder Leistungsspektrum, Ressourcen, Prozesse und Mitarbeitende hinsichtlich der Herausforderungen der Nachhaltigkeit zu adressieren. Der Fokus liegt primär auf einer Verbesserung der CO₂e-Bilanz der Unternehmen. Darüber hinaus ist Nachhaltigkeit in allen drei Dimensionen der Nachhaltigkeit im Zielbild der Werkzeugbaubetriebe zu verankern. Dies dient ebenfalls der verbesserten Bindung sowohl von Kunden als auch Mitarbeitenden. Die sechs Potenziale der Nachhaltigkeit für den Werkzeugbau werden nachfolgend aufgelistet:¹⁸³

- Differenzierung im Wettbewerb
- Berücksichtigung von Nachhaltigkeit bei Kundenanfragen
- Verbesselter Zugang zu Kapitalgebern
- Neue Leistungsangebote
- Material- und Energiekostensparnis
- Höhere Attraktivität als Arbeitgeber

Als Partner der Branche unterstützen das Werkzeugmaschinenlabor **WZL** der RWTH Aachen University und die **WBA** Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH die Bestrebungen des

¹⁸² Vgl. Rout et al. (Introduction to sustainability): 2020, 3.

¹⁸³ Vgl. Kelzenberg (Nachhaltigkeit im Werkzeugbau): 2021, S. 1.

Werkzeugbaus zur Steigerung der Nachhaltigkeit. In Deutschland engagieren sich neben den zuvor genannten Akteuren auch der Verband Deutscher Werkzeug- und Formenbauer (VDWF)¹⁸⁴ und die Forschungsgemeinschaft Deutscher Werkzeug- und Formenbauer (FDWF). Der VDWF bietet verschiedene Hilfestellungen an, darunter eine Vorlage für die Selbstverpflichtung eines Werkzeugbaubetriebs zu nachhaltigem Wirtschaften¹⁸⁵. Die FDWF wiederum fördert Forschungsprojekte zur nachhaltigen Ressourcennutzung in der industriellen Produktion¹⁸⁶. In Österreich unterstützt das **Kunststoff-Cluster** in diesem Bereich mit verschiedenen Projektformen¹⁸⁷. Darüber hinaus sind aus Beratungsprojekten die Bemühungen der einzelnen Werkzeugbaubetriebe bekannt. Die wissenschaftliche Arbeit an den Fragestellungen durch weitere Universitäten lässt sich anhand veröffentlichter Abschlussarbeiten nachzuvollziehen. Im Jahr 2024 wurde beispielsweise an der Alpen-Adria-Universität Klagenfurt eine Wirtschaftlichkeitsanalyse von Spritzgussanlagen in Bezug auf Nachhaltigkeit in Europa¹⁸⁸ durchgeführt. Im Jahr 2022 wurde an der Westsächsischen Hochschule Zwickau die Analyse von Werkstoffen und Fertigungsverfahren im Karosseriebau unter Berücksichtigung der technologischen und strategischen Ausrichtung der Porsche Werkzeugbau GmbH Schwarzenberg¹⁸⁹ vorgenommen. An dieser Stelle soll das „**Kompendium für die Bewertung und Gestaltung nachhaltigen Wirtschaftens im Werkzeug- und Formenbau**“ hervorgehoben werden. Diese Veröffentlichung zeichnet sich durch eine besonders gelungene Synthese der diversen Einzelthemen aus, die in Form eines praxisorientierten Leitfadens mit minimalen Einstiegshürden für den Werkzeugbau präsentiert werden. Die Nachhaltigkeit des Werkzeugbaubetriebs wird ganzheitlich betrachtet und es werden je Nachhaltigkeitsdimension schnell zu realisierende Maßnahmen vorgestellt. Darüber hinaus wird auf weitere Ansätze verwiesen, wie beispielsweise den Ansatz der Gemeinwohlökonomie. Insofern kann das Kompendium als eine grundlegende Einführung in das Thema Nachhaltigkeit für den Werkzeugbau betrachtet werden.¹⁹⁰ Weitere Ansätze zur Steigerung und insbesondere zur Steuerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau werden im Detail in Kapitel 3 vorgestellt und anschließend hinsichtlich der Erfüllungsgrads der definierten Anforderungen der vorliegenden Arbeit bewertet.

Ein Ansatz zur Reduktion des CO₂e-Fußabdrucks im Werkzeugbau stellt der **CO₂e-Werkzeugpass** dar. Der CO₂e-Werkzeugpass stellt die tatsächlichen Emissionen, die für die Herstellung eines Werkzeuges emittiert wurden, in Scope 1, 2 und 3 dar. Darüber hinaus ermöglicht er detaillierte Analysen einzelner Emissionsquellen zur internen Optimierung. Zudem erlaubt er eine transparente Kommunikation der Emissionen als PCF gegenüber dem Kunden.¹⁹¹

¹⁸⁴ Vgl. VDWF (Kompendium für die Bewertung): 2024.

¹⁸⁵ Vgl. VDWF (VDWF-Selbstverpflichtung nachhaltiges Wirtschaften): 2024.

¹⁸⁶ Vgl. FDWF (Forschungs-Roadmap): 2024, S. 3.

¹⁸⁷ Vgl. Kunststoff-Cluster (Kunststoffstandort Österreich): 2023, S. 10–11.

¹⁸⁸ Vgl. Brunner (Wirtschaftlichkeitsanalyse von Spritzgussanlagen): 2024.

¹⁸⁹ Vgl. Fabian Wenzel (Analyse von Werkstoffen und Fertigungsverfahren): 2022.

¹⁹⁰ Vgl. VDWF (Kompendium für die Bewertung): 2024.

¹⁹¹ Vgl. Boos et al. (Stellhebelanalyse Nachhaltigkeit): 2022, S. 1.

Ein weiterer Ansatz, der im Bereich der Produktion und Fertigung derzeit verfolgt wird, ist die **Kreislaufwirtschaft**. Auch diesbezüglich wird eine Verbesserung des ökologischen Fußabdrucks der Unternehmen angestrebt. Der Kerngedanke besteht in der ordnungsgemäßen Entsorgung und Wiederaufbereitung von Produkten nach ihrer Verwendung, um die Umweltbelastung zu reduzieren. Hierzu ist eine entsprechende Produktentwicklung erforderlich. In diesem Zusammenhang wurden die Handlungsfelder Produktarchitektur, Innovationsstrategie, Geschäftsmodell und Wertschöpfungsstrategie definiert. Eine Anpassung der Strategie in den genannten Handlungsfeldern ermöglicht die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft und somit eine Verbesserung des ökonomischen und ökologischen Werkzeugbaus.¹⁹² Das Umdenken erstreckt sich dabei nicht nur auf die Produkte selbst, sondern ebenfalls auf den Fertigungs-Standort. Der Standort wird zur Upgrade-Fabrik transformiert, um den Herausforderungen der Nachhaltigkeit zu begegnen und die Kreislaufwirtschaft zu unterstützen.¹⁹³

Im Speziellen werden im Bereich der **Produktarchitektur** sowie der **Produktionsprozesse** diverse Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz sowohl hinsichtlich des Energieeinsatzes als auch der Ressourcenverwendung erforscht. Zu diesem Zweck wird ein Fertigungsprozess auf sämtlichen Ebenen der Produktion modelliert und anschließend hinsichtlich des Material- und Energieverbrauchs optimiert. Um die Wirksamkeit von Konzepten wie beispielsweise der Kreislaufwirtschaft zu überprüfen, werden diverse Daten während der Prozesse aufgezeichnet. Ein digitaler Zwilling soll langfristig Aufschluss darüber geben, wie wirksam Nachhaltigkeitsstrategien in Zukunft sind.¹⁹⁴

Im Rahmen des Wettbewerbs EIP wurde eine Befragung von Werkzeugbaubetrieben durchgeführt, um Informationen über deren Bestrebungen im Bereich Nachhaltigkeit zu gewinnen. In 65 % der Werkzeugbaubetriebe ist die Strategie unter anderem auf Nachhaltigkeit ausgerichtet. Zudem liegt die ReUse-Quote aktuell bei 8,3 % und die Hälfte der Branche bemüht sich um die Messung von CO₂e-Emissionen. Allerdings sind dies lediglich einzelne Schritte und es mangelt an einem ganzheitlichen Ansatz sowie einer zugehörigen Bewertungsmethode, um ganzheitlich und zielgerichtete die Nachhaltigkeit zu steigern.¹⁹⁵ Ein entsprechendes Kennzahlensystem kann dazu die Grundlage bieten.

2.3 Kennzahlensystem

Die erfolgreiche Erreichung des Zustandes der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau erfordert die Messbarkeit der entsprechenden Leistung. Ein Kennzahlensystem stellt eine Methode zur Leistungsmessung dar, weshalb im Folgenden eine kurze Einführung sowohl in Kennzahlen als auch in Kennzahlensysteme gegeben wird. Zu diesem Zweck werden zunächst Kennzahlen definiert und anschließend erläutert, wie diese in ein System überführt werden können.

¹⁹² Vgl. Schuh et al. (Ordnungsrahmen zirkuläre Produktionswirtschaft): 2023, S. 313.

¹⁹³ Vgl. Schuh et al. (Grüne Re-Montage Upgrade-Fabrik): 2023, S. 337–339.

¹⁹⁴ Vgl. Bergs et al. (Energie- und Ressourceneffizienz in der Fertigung): 2023, S. 177–179.

¹⁹⁵ WZL der RWTH Aachen University und Fraunhofer IPT Aachen (Datenbank): 2019-2024

2.3.1 Leistungsmessung

Die Beurteilung der Sinnhaftigkeit einer Veränderung oder Investition in einem Unternehmen erfordert die Ermittlung und Abwägung des durch die entsprechenden Maßnahmen generierten Mehrwerts. Die Leistungsmessung, auch als Performance-Messung bezeichnet, stellt in diesem Kontext die Evaluierung der Unternehmensentwicklung auf Basis von Messwerten dar¹⁹⁶. Der dadurch entstehende Informationsfluss unterstützt bei der Steuerung und Planung im Unternehmen. Die Leistungsmessung lässt sich dabei in drei Schritte unterteilen¹⁹⁷:

- Ableitung von Messobjekten und Messgrößen
- Messung
- Bewertung und Nutzung der Messergebnisse

Der Begriff „Messobjekt“ bezeichnet den zu bewertenden Umstand in einem Unternehmen. Messgrößen stellen ein Instrument zur möglichst realen Abbildung dieses Umstands dar. Die Ermittlung dieser Messgröße erfolgt durch eine entsprechende Messung. Im letzten Schritt werden die Ergebnisse dieser Messung zur Analyse verwendet, um auf Basis der Ergebnisse eine strategische Entscheidung treffen zu können. Die Messgrößen oder auch Kennzahlen weisen unterschiedliche Eigenschaften auf, die nachfolgend näher beschrieben werden.

2.3.2 Begriffsverständnis und Einordnung von Kennzahlen

Die exakte Definition des Begriffes „Kennzahl“ war über einen langen Zeitraum Gegenstand kontroverser Diskussionen. Die Diskussion drehte sich insbesondere um die Frage, welche Arten von Zahlen tatsächlich als Kennzahlen zu bezeichnen sind und welche nicht. MELLER-ROWICZ¹⁹⁸ und SCHULZ-MEHRIN sowie eine Vielzahl weiterer Autoren vertraten die Auffassung, dass lediglich Verhältniszahlen als Kennzahlen bezeichnet werden können¹⁹⁹. Der Grund hierfür liegt darin, dass absolute Zahlen oder Grundzahlen keine hinlänglichen Informationen übermitteln und lediglich auf einen Zustand hinweisen. Eine Bewertung der Situation kann folglich nur erfolgen, wenn die genannten Zahlen in Relation zueinander gesetzt werden.²⁰⁰ STAEHLE und weitere Autoren vertraten allerdings die Meinung, dass auch absolute Zahlen eine Kennzahl sein können. Dies setzt jedoch voraus, dass der Zahl ausreichend betriebswirtschaftliche Information zugemessen werden kann. STAEHLE definiert Kennzahlen demnach wie folgt: *„Betriebswirtschaftliche Kennzahlen sind dann Verhältniszahlen und absolute Zahlen, die in konzentrierter, über einen zahlenmäßig erfassbaren betriebswirtschaftlichen Zustand informieren“*²⁰¹.

In diesem Kontext ist zu erörtern, wie der Begriff „betriebswirtschaftlich“ zu definieren ist. SCHOTT postuliert, dass Kennzahlen *„betriebliche Fakten, Vorgänge, Entwicklungstendenzen,*

¹⁹⁶ Vgl. Gleich (Das System des Performance): 2001, S. 11–13.

¹⁹⁷ Vgl. Grüning (Performance-Measurement-Systeme): 2002, S. 14.

¹⁹⁸ Vgl. Mellerowicz (Allgemeine Betriebswirtschaftslehre): 1963, S. 121.

¹⁹⁹ Vgl. Otto Schulz-Mehrin (Betriebswirtschaftliche Kennzahlen), S. 11.

²⁰⁰ Vgl. Staehle (Kennzahlen und Kennzahlensysteme): 1969, S. 49.

²⁰¹ Vgl. Staehle (Kennzahlen und Kennzahlensysteme): 1969, S. 50.

Ziele, Ergebnisse“ angemessen widerspiegeln sollten²⁰². Der Begriff „Kennzahl“ wurde ursprünglich nahezu ausschließlich im Kontext der Betriebswirtschaftslehre verwendet, weswegen sich eine Vielzahl von Definitionen auf diesen Bereich beschränken. In seiner Betrachtung erweitert GLADEN den Fokus und definiert Kennzahlen als Zahlen, die in der Unternehmensanalyse allgemein Anwendung finden. Des Weiteren erfolgt durch ihn eine Unterteilung der Kennzahlen in drei Gruppen. Zunächst beschreibt er *„Kennzahlen im weiteren Sinne“*. Diese bilden quantitative Informationen ab, welche dazu verwendet werden, eine Analyse oder eine gezielte Steuerung im Unternehmen durchzuführen. Ebenfalls existieren *„Kennzahlen im engeren Sinne“*, welche als verdichtete Messgrößen zu betrachten sind. Diese werden verdichtet, um einen Umstand zu beschreiben, der sich in Zahlen ausdrücken lässt. Zuletzt werden *„Indikatoren“* genannt, mit denen versucht wird, einen Zustand möglichst realitätsnah zu beschreiben, der sich nicht ohne Weiteres abbilden lässt. Außerdem ist zu sagen, dass Kennzahlen im weiteren Sinne in Kennzahlen im engeren Sinne und Indikatoren unterteilt werden.²⁰³

Eine zusammenfassende Betrachtung der verschiedenen Beschreibungen von Kennzahlen ergibt, dass diese sich gemäß STAUDT wie folgt definieren lassen. Eine Kennzahl ist demnach *„eine Zahl, die in Bezug auf ein Erkenntnisziel relevant ist und damit im Vergleich zu anderen Zahlen einen besonderen Aussagewert hat, unabhängig von ihrer quantitativen Struktur“*²⁰⁴. Aus diesem Grund sind im weiteren Verlauf dieser Arbeit Kennzahlen gemäß dieser Definition zu verstehen.

2.3.3 Arten von Kennzahlen

Aus der Diskussion um die Definition des Begriffes „Kennzahl“ lässt sich ableiten, dass lediglich bestimmte Zahlen als Kennzahl bezeichnet werden können. An dieser Stelle ist es sinnvoll, eine Einteilung vorzunehmen und die verschiedenen Arten von Kennzahlen zu definieren. Eine mögliche Einteilung stellt die nach STAEHLE in Abbildung 2.15 dar. Weitere relevante Autoren führen eine ähnliche Einteilung durch, weswegen im Folgenden die Darstellung nach STAEHLE verwendet wird²⁰⁵. Demnach werden Kennzahlen zunächst in absolute Zahlen und Relativzahlen eingeteilt.

²⁰² Vgl. Schott (Kennzahlen): 1991, S. 19.

²⁰³ Vgl. Gladen (Kennzahlen- und Berichtssysteme): 2003, S. 13.

²⁰⁴ Vgl. Staudt (Kennzahlen und Kennzahlensysteme): 1985, S. 22.

²⁰⁵ Vgl. Schott (Kennzahlen): 1991, S. 20; Siegwart (Kennzahlen für die Unternehmensführung): 1998, S. 25.

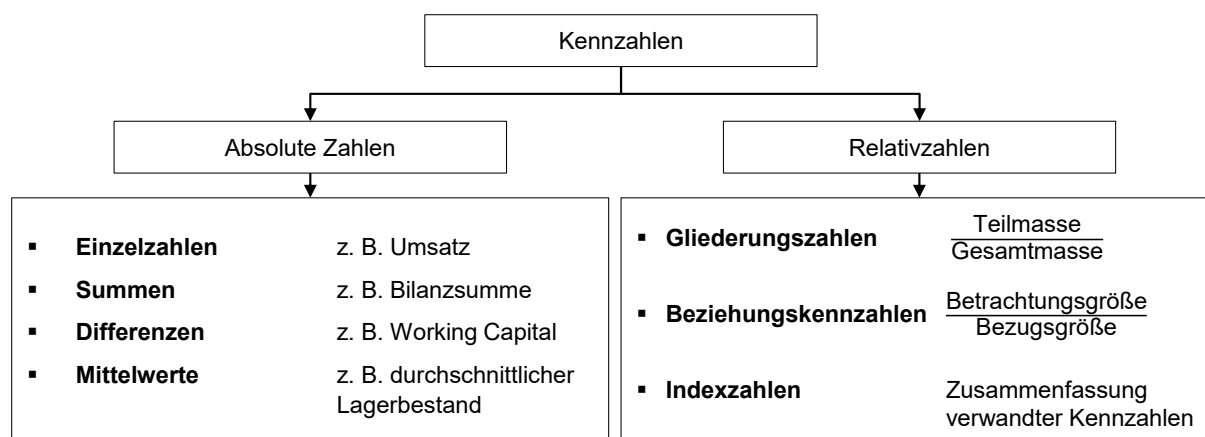


Abbildung 2.15: Arten von Kennzahlen i. A. a. STAEHLE²⁰⁶

Absolute Zahlen sind solche Zahlen, die keiner weiteren Zahl in einer Beziehung gegenübergestellt werden. Eine weitere Differenzierung erfolgt anhand der Kriterien Einzelzahlen, Summen, Differenzen und Mittelwerte.²⁰⁷ Im Gegensatz dazu werden bei **Relativzahlen** die Zahlen zueinander in Beziehung gesetzt. In diesem Kontext wird ein Verhältnis zwischen Zahlen geschaffen, weshalb auch der Begriff „Verhältniskennzahlen“ verwendet wird. Auch Relativzahlen lassen sich in verschiedene Kategorien unterteilen. Zunächst existieren Gliederungszahlen, welche eine statistische Teilmasse durch die dazugehörige Gesamtmasse teilen. Weiter bilden Beziehungskennzahlen das Verhältnis logisch verknüpfter Zahlen ab. Zuletzt werden Kennzahlen, die miteinander verwandt, aber zeitlich und örtlich verschieden sind, zu sogenannten Indexkennzahlen zusammengefasst.²⁰⁸

2.3.4 Begriffsverständnis und Einordnung von Kennzahlensystemen

Die isolierte Betrachtung einzelner Kennzahlen führt zu einer eingeschränkten Aussagekraft, da die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Kennzahlen unberücksichtigt bleiben. Um die Aussagekraft zu erhöhen, ist eine Verknüpfung der Kennzahlen erforderlich. Eine hierarchische Anordnung der Kennzahlen ist hierfür sinnvoll.²⁰⁹ Die Anordnung der Kennzahlen erfolgt mittels mathematischer Verknüpfungen, wobei Rechensysteme zum Einsatz kommen, oder aber sachlogische Verknüpfungen für die Ordnungssysteme verwendet werden²¹⁰. **Rechensysteme** dienen der hierarchischen Anordnung von Kennzahlen, wobei mittels mathematischer Verknüpfung eine Spitzenkennzahl ermittelt und die Informationen des Systems in einer Aussage zusammengefasst werden können²¹¹. Im Rahmen von **Ordnungssystemen** erfolgt eine Kategorisierung der Kennzahlen nach bestimmten Sachverhalten, wodurch die

²⁰⁶ Vgl. Staehle (Kennzahlen und Kennzahlensysteme): 1969, S. 52.

²⁰⁷ Vgl. Staehle (Kennzahlen und Kennzahlensysteme): 1969, S. 49.

²⁰⁸ Vgl. Staehle (Kennzahlen und Kennzahlensysteme): 1969, S. 53.

²⁰⁹ Vgl. Preißler (Betriebswirtschaftliche Kennzahlen): 2008, S. 17.

²¹⁰ Vgl. Weber et al. (Einführung in das Controlling): Mai 2020, S. 193.

²¹¹ Vgl. Behrens (Angewandtes Unternehmenscontrolling): 2018, S. 361.

Wirkzusammenhänge der Kennzahlen beschrieben werden²¹². Des Weiteren sind auch Mischformen aus Rechen- und Ordnungssystemen denkbar, sodass die jeweiligen Vorteile beider Systeme genutzt und deren Nachteile vermieden werden können²¹³. In seiner Analyse verschiedener Beschreibungen von Kennzahlensystemen gelangt GLADEN zu folgender Definition: „Darunter [Kennzahlensystemen] versteht man die Gesamtheit von geordneten Kennzahlen, die die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Größen aufzeigen und so betriebswirtschaftlich sinnvolle Aussagen über Unternehmen und ihre Teile vermitteln. Kennzahlensysteme können für Analysezwecke und für Steuerungszwecke hergeleitet werden.“²¹⁴

In Anbetracht der Tatsache, dass sich die in der vorliegenden Arbeit behandelten Kennzahlen nicht ausschließlich auf betriebswirtschaftliche Aussagen beschränken, ist die vorgenannte Definition zu erweitern. Ein Kennzahlensystem bezeichnet demnach alle sinnvoll verknüpften Kennzahlen, mit denen fundierte Aussagen über Unternehmen getroffen werden können.

2.3.5 Arten von Kennzahlensystemen

In der wissenschaftlichen Literatur findet sich eine Vielzahl an unterschiedlichen Systematisierungsansätzen für Kennzahlensysteme. In der nachfolgenden Abbildung 2.16 erfolgt eine Darstellung verschiedener Arten von Kennzahlensystemen. Demnach lassen sich Kennzahlensysteme in Ordnungs- und Rechensysteme unterteilen. Auf der untersten Ebene erfolgt eine weitere Unterteilung der Ordnungs- und Rechensysteme in verschiedene Kennzahlensysteme, welche die jeweiligen Funktionen näher erläutern. Dabei stehen auf der einen Seite Analyse-Kennzahlensysteme und auf der anderen Seite Steuerungs-Kennzahlensysteme, welche entweder zur Ursachenforschung oder Maßnahmenfindung verwendet werden.

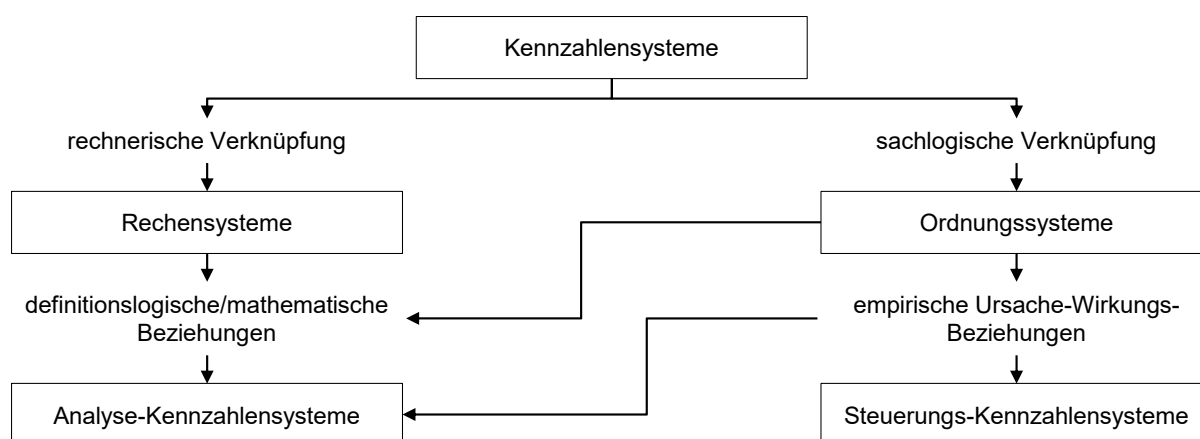


Abbildung 2.16: Arten von Kennzahlensystemen i. A. a. GLADEN²¹⁵

²¹² Vgl. Zdrowomyslaw et al. (Betriebsvergleiche und Benchmarking): 2002, S. 89.

²¹³ Vgl. Preißler (Betriebswirtschaftliche Kennzahlen): 2008, S. 21–22.

²¹⁴ Vgl. Gladen (Kennzahlen- und Berichtssysteme): 2003, S. 91.

²¹⁵ Vgl. Gladen (Kennzahlen- und Berichtssysteme): 2003, S. 121.

Ordnungssysteme sind dadurch gekennzeichnet, dass sie eine hierarchische Struktur aufweisen, wobei diese jedoch nicht rechnerisch, sondern sachlogisch aufgebaut ist²¹⁶. Dies impliziert, dass Kennzahlen auf verschiedenen Ebenen in einem logischen Zusammenhang stehen. Da Ordnungssysteme nicht rechnerisch verknüpft sind, besteht eine höhere Flexibilität beim Aufstellen und Anpassen des Systems. Andererseits birgt ein Ordnungssystem das Risiko, dass Kennzahlen und Zusammenhänge einer gewissen Subjektivität unterliegen.²¹⁷

Rechensysteme sind dadurch gekennzeichnet, dass ihre Kennzahlen rechnerisch verknüpft sowie hierarchisch geordnet sind. Kennzeichnend für ein Rechensystem ist zudem eine Baumstruktur, die das Kennzahlensystem aufweist²¹⁸. Ein Beispiel für ein Rechensystem wurde vom Zentralverband der Elektrotechnischen Industrie (ZVEI) entwickelt und ist in Abbildung 2.17 dargestellt²¹⁹. Dabei ist zunächst die Baumstruktur erkennbar, aus der die hierarchische Ordnung ersichtlich wird. Des Weiteren ist der mathematische Zusammenhang zwischen den einzelnen Ebenen dargestellt. So wird der Quotient aus A und B gebildet, indem die Quotienten aus C und B sowie D und B aufsummiert werden.

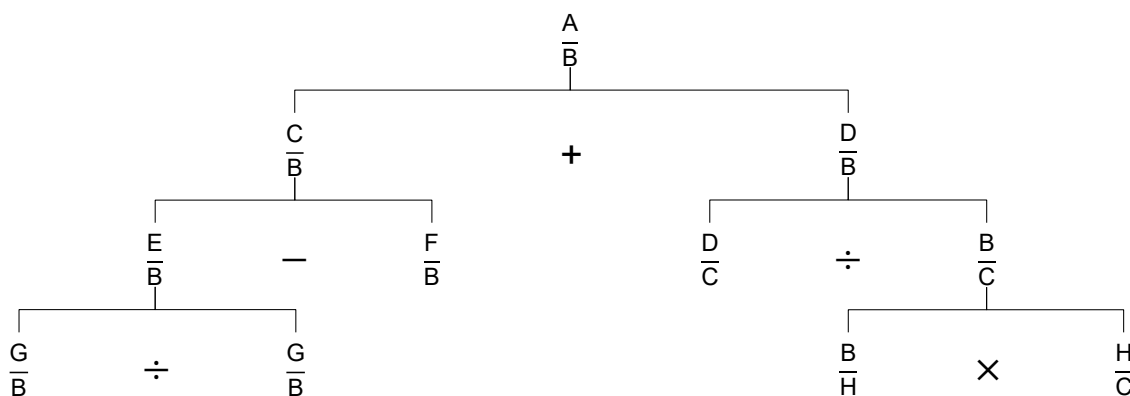


Abbildung 2.17: Beispiel für ein Rechensystem anhand des ZVEI-Kennzahlensystems i. A.
a. ZVEI²²⁰

²¹⁶ Vgl. Lachnit (Systemorientierte Jahresabschlußanalyse): 1979, S. 30–31.

²¹⁷ Vgl. Gladen (Kennzahlen- und Berichtssysteme): 2003, S. 120–123.

²¹⁸ Vgl. Gladen (Kennzahlen- und Berichtssysteme): 2003, S. 116.

²¹⁹ Vgl. Zentralverband der Elektrotechnischen Industrie (ZVEI-Kennzahlensystem): 1976, S. 113; Horváth (Controlling): 2002, S. 571.

²²⁰ Vgl. Zentralverband der Elektrotechnischen Industrie (ZVEI-Kennzahlensystem): 1976, S. 113.

2.4 Handlungsbedarf aus der Praxis

„Zur zielführenden Steigerung der Nachhaltigkeit in den drei Dimensionen Ökonomie, Ökologie und Soziales bedarf es jedoch zunächst der Transparenz über die gegenwärtige Nachhaltigkeitsleistung.“²²¹

Prof. Dr. Wolfgang Boos, Geschäftsführender Gesellschafter der WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH, 2023

Die Branche Werkzeugbau sieht sich mit einer Vielzahl an akuten **Herausforderungen** ebenso wie mit langfristigen Herausforderungen konfrontiert, die sich in einem stetigen Wandel befinden. Dazu zählen unter anderem die Reduktion von Emissionen sowie weitere Themenfelder, die in Kapitel 2.1 näher erörtert wurden. Es ist festzuhalten, dass sich der ökonomische Wettbewerb um die Nachhaltigkeitsdimensionen Ökologie und Soziales erweitert. Die Bedeutung von Nachhaltigkeit nimmt seit der ersten Entwicklung des Nachhaltigkeitsbegriffs stetig zu, und Nachhaltigkeit umfasst immer mehr Sachverhalte. Auch Unternehmen aus dem Werkzeugbau stehen vor der Herausforderung, ökologisch und sozial nachhaltiges Handeln mit den ökonomischen Zielen zu vereinbaren (vgl. Kapitel 2.2).

Es lässt sich festhalten, dass ein Großteil der Betriebe in der Branche **Werkzeugbau** bereits ein Engagement für verschiedene Nachhaltigkeitsinitiativen aufweist, um den genannten Herausforderungen zu begegnen. In einer Umfrage unter den Teilnehmenden des Wettbewerbs EIP zum Werkzeugbau des Jahres 2024 gaben 64 % der Werkzeugbaubetriebe an, dass sie Nachhaltigkeit als strategischen Faktor zur Optimierung ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte berücksichtigen. Unter den zehn erstplatzierten Werkzeugbaubetrieben im selben Jahr betrug der Anteil bereits 90 %. Gleichzeitig geben noch 14 % der Betriebe an, Nachhaltigkeit lediglich in vereinzelt Maßnahmen sowie ohne konkrete Strategie zu adressieren. Dies demonstriert, dass eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsbetrachtung für nachhaltig erfolgreiche Betriebe unabdingbar ist und bereits strategisch Berücksichtigung findet. Des Weiteren geben 52 % der Unternehmen an, CO₂e-Emissionen bezogen auf das Unternehmen auszuweisen. In der vorliegenden Untersuchung wurde jedoch nicht berücksichtigt, in welchem Detaillierungsgrad die Erfassung der CO₂e-Emissionen erfolgt. Bei der Ausweisung der Emissionen bezogen auf das Werkzeug sind es bereits nur noch 39 %. Lediglich 35 % der teilnehmenden Werkzeugbaubetriebe haben Ziele zur Emissionsreduktion definiert. Dies demonstriert, dass Nachhaltigkeit für die Branche Werkzeugbau von Relevanz ist. Einzelne Maßnahmen werden ergriffen, wobei bisher der Fokus neben der Strategie auf den CO₂e-Emissionen liegt.²²²

Der Austausch und die Zusammenarbeit mit einer Vielzahl an Werkzeugbaubetrieben in diversen Konsortialprojekten, darunter die Projekte „Nachhaltige Leistungssysteme im Werkzeugbau“, „Messbarmachung der Nachhaltigkeit“ und „Nachhaltigkeitscontrolling“ schärfen den

²²¹ Vgl. Boos et al. (Nachhaltigkeit im Werkzeugbau): 2023, S. 1.

²²² WZL der RWTH Aachen University und Fraunhofer IPT Aachen (Datenbank): 2019-2024

Eindruck der Daten. Im Rahmen des Konsortialprojekts zu nachhaltigen Leistungssystemen im Werkzeugbau²²³ lag der Fokus auf der Identifikation zukünftiger Anforderungen an den Werkzeugbau sowie der Erarbeitung potenzieller nachhaltiger Leistungssysteme. In diesem Kontext wurde eine Analyse der Kundensicht durchgeführt. Auf Basis der ermittelten Anforderungen wurden zukünftige Leistungssysteme entwickelt, welche die Kunden des Werkzeugbaus bei der Umsetzung einer nachhaltigen Unternehmensstrategie unterstützen. Für eine valide Bewertung sowie adäquate Kommunikation der identifizierten Maßnahmen und Leistungssysteme ist die Implementierung eines ganzheitlichen Nachhaltigkeitskennzahlensystems unabdingbar. Im Rahmen des Konsortialprojekts zur Messbarmachung der Nachhaltigkeit²²⁴ wurden erste Versuche unternommen, die abstrakte Nachhaltigkeit konkret zu erfassen und somit messbar zu machen. Auf diese Weise konnte der Bedarf an einem solchen Ansatz aufgezeigt, gleichzeitig aber auch die mit ihm einhergehende Komplexität verdeutlicht werden. Im Rahmen des Konsortialprojekts zum Nachhaltigkeitscontrolling²²⁵ wurde der Fokus auf die EU-Richtlinie zur Unternehmens-Nachhaltigkeitsberichterstattung (engl. Corporate Sustainability Reporting Directive, CSRD) gelegt. Infolge der Analyse der Regularien wurde eine für den Werkzeugbau geeignete Berichtsvorlage zur Erstellung des unternehmensindividuellen Nachhaltigkeitsberichts entwickelt. Die Erstellung des Berichts basiert maßgeblich auf der Verwendung von Kennzahlen, welche die Belastbarkeit des Berichts gewährleisten und den diesbezüglichen Anforderungen genügen müssen. Folglich werden aufgrund der fortschreitenden Berichtspflicht auch die ersten Werkzeugbaubetriebe verpflichtet, einen Nachhaltigkeitsbericht zu veröffentlichen, wodurch sie Kennzahlen für alle Dimensionen der Nachhaltigkeit benötigen. Im Rahmen mehrerer bilateraler Beratungsprojekte zur Berechnung der CO₂e-Emissionen je Werkzeug (CO₂e-Werkzeugpass) bekräftigt sich das fortbestehende Interesse und der Bedarf der Werkzeugbaubetriebe für die Messbarmachung der Nachhaltigkeit spezifisch für ihre Branche. Die entwickelte Methode zur Berechnung der bei der Werkzeugherstellung entstandenen CO₂e-Emissionen stellt eine sehr detaillierte Auswertung dar und bildet eine solide Grundlage für die zwingend erforderliche Erweiterung der Betrachtung über die CO₂e-Emissionen hinaus. Folglich sind die Erwartungen an den zu entwickelnden Lösungsansatz, dass die einzelnen Nachhaltigkeitsinitiativen zusammengeführt und gesteuert werden können.

Die Studie „Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit“ verdeutlicht sowohl die Herausforderungen als auch das Potenzial der Nachhaltigkeit als Differenzierungsfaktor im Wettbewerb der Werkzeugbaubetriebe. Neben einem Zielbild werden Maßnahmen zur Steigerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau präsentiert. Weiter wird auch in dieser Studie auf die entscheidende Rolle eines Nachhaltigkeitsmanagements hingewiesen, welches die Verantwortung für die Steuerung der Nachhaltigkeitsinitiativen trägt.²²⁶

²²³ Konsortialprojekt der WBA „Nachhaltige Leistungssysteme im Werkzeugbau – durch Produkte und Dienstleistungen die Nachhaltigkeit beim Kunden erhöhen“, 2022

²²⁴ Konsortialprojekt der WBA „Messbarmachung der Nachhaltigkeit – Kennzahlensystem für den nachhaltigen Werkzeugbau“, 2023

²²⁵ Konsortialprojekt der WBA „Nachhaltigkeitscontrolling – Entwicklung eines Nachhaltigkeitsberichts für den Werkzeugbau entsprechend der europäischen Berichtspflicht (CSRD)“, 2024

²²⁶ Vgl. Boos et al. (Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit): 2020, S. 13–15.

Bei der Betrachtung des Werkzeugbaus sind spezifische Eigenschaften zu berücksichtigen. Die Branche ist durch kleine Unternehmen geprägt und fertigt Produkte primär in der Kleinserienfertigung, wobei sie eine bedeutende Stellung in der Wertschöpfungskette einnimmt. Daher muss das Nachhaltigkeitsmanagement sowohl den Anforderungen der Kunden, der Lieferanten, der Mitarbeitenden, der Kapitalgebenden als auch denen von Politik und Gesellschaft gerecht werden. Die Messung und Analyse von Kennzahlen der drei Nachhaltigkeitsdimensionen stellen eine unabdingbare Voraussetzung für ein effektives Nachhaltigkeitsmanagement und die kontinuierliche Verbesserung der Nachhaltigkeit im Unternehmen dar. Werkzeugbaubetriebe sehen sich dabei mit der Herausforderung konfrontiert, keine adäquaten Strukturen zur Einordnung der Daten zu besitzen.

Im gängigen Verständnis der drei Nachhaltigkeitsdimensionen – Ökologie, Ökonomie und Soziales – wird die Beziehungen zwischen den drei Dimensionen entweder ausgeblendet oder lediglich unzureichend berücksichtigt. Die Abbildung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen mit ihren Wechselwirkungen kann mittels **Kennzahlen und Kennzahlensystemen** erfolgen (vgl. Kapitel 2.3). In der Praxis des Werkzeugbaus findet die Nutzung von Kennzahlen bislang nur in geringem Umfang statt, wobei entsprechende Strukturen entweder gar nicht oder nur unvollständig vorhanden sind.²²⁷ Die systematische Datenerfassung stellt keine Ausnahme dar, da das Verständnis für einen Mehrwert in den meisten Fällen noch nicht vorhanden ist. Des Weiteren werden 16 % der Daten lediglich in Papierform vorgehalten, was die Erfassung zusätzlich erschwert.²²⁸ Die Digitalisierung und Verknüpfung der Daten im Werkzeugbau wird beispielsweise in den Dissertationen von KELZENBERG²²⁹ und GRABERG²³⁰ thematisiert. Diese Entwicklungen finden mit der Zeit ihren Weg in die Praxis der Werkzeugbaubetriebe. Somit wurde in der Theorie die Grundlage für die Digitalisierung und Vernetzung des Werkzeugbaus erarbeitet, sodass diese nun in die Anwendung überführt werden kann. Damit ist die Voraussetzung geschaffen, um die nötigen Daten für die Messung der Nachhaltigkeit in Kennzahlen bereitzustellen.

Im Rahmen der **Vorstudie** für diese Arbeit wurde eine Umfrage unter 80 deutschsprachigen Werkzeugbaubetrieben durchgeführt. Das Ziel der Vorstudie bestand in der Identifikation von Hemmnissen, welche die Nachhaltigkeitsbestrebungen von Werkzeugbaubetrieben am stärksten beeinträchtigen. Die in Abbildung 2.18 zusammengefassten Resultate zeigen, dass die befragten Werkzeugbaubetriebe insbesondere die Einführung von Kennzahlen, mehr Transparenz und Bewertungskriterien sowie die Entwicklung von Lösungen, die auf die spezifischen Anforderungen des Werkzeugbaus zugeschnitten sind, als wesentliche Faktoren zur Überwindung von Hemmnissen im Kontext der Nachhaltigkeit erachten. Dies verdeutlicht die

²²⁷ Vgl. Kelzenberg (Datenstrukturmodell von Werkzeugbaubetrieben): 2019, S. 74.

²²⁸ Vgl. Boos et al. (Smart Tooling): 2016, S. 32–33.

²²⁹ Vgl. Kelzenberg (Datenstrukturmodell von Werkzeugbaubetrieben): 2019.

²³⁰ Vgl. Graberg (Digitaler Schatten im Werkzeugbau): 2022.

Relevanz der Entwicklung von Nachhaltigkeitskennzahlensystemen, welche auf die Besonderheiten des Werkzeugbaus zugeschnitten sind, um die identifizierten Hemmnisse zu überwinden.²³¹

Woran scheitern die Nachhaltigkeitsbestrebungen des Werkzeugbaus?

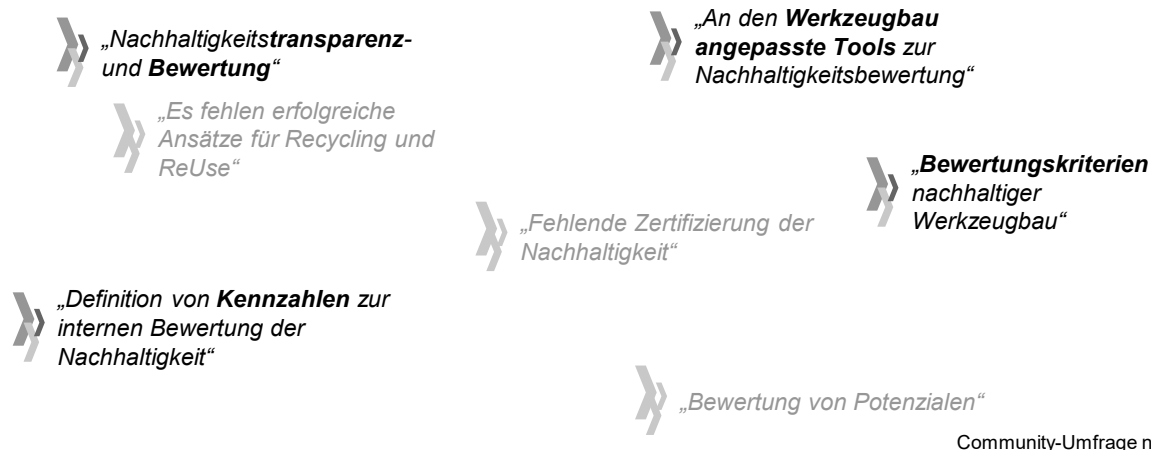


Abbildung 2.18: Umfrageergebnis zum zentralen Hemmnis des Werkzeugbaus bei der Steigerung der Nachhaltigkeit²³²

Die Zusammenführung des ganzheitlichen, integrativen Ansatzes zur Erfüllung der Nachhaltigkeit und der spezifischen Eigenschaften des Werkzeugbaus zu einem Kennzahlensystem, welches die Nachhaltigkeitsleistung im Werkzeugbau misst, ist erforderlich. **Aus der Praxis heraus besteht Handlungsbedarf.**

²³¹ WBA (Umfrage unter 80 Werkzeugbaubetrieben), 2022

²³² Eigene Darstellung, Auszug Ergebnisse WBA (Umfrage unter 80 Werkzeugbaubetrieben), 2022

3 Analyse bestehender Ansätze

In diesem Kapitel erfolgt eine Analyse des Grads, in dem bereits bestehende wissenschaftliche Arbeiten den in Kapitel 2.4 identifizierten Handlungsbedarf aus der Praxis adressieren. Ziel ist es, den Forschungsbedarf zur erfolgreichen Messung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau zu konkretisieren. Im Folgenden wird eine Bewertungssystematik aufgestellt, welche die Definition eines Bewertungssystems sowie die Herleitung des Anforderungssystems umfasst. Zudem werden die relevanten wissenschaftlichen Ansätze beschrieben. Auf Basis der erarbeiteten Bewertungssystematik erfolgt im Anschluss die Darstellung des Erfüllungsgrads der verschiedenen Ansätze. Aus der Analyse der bestehenden Ansätze lässt sich der Handlungsbedarf aus der Theorie ableiten, woraus sich die Detaillierung der Forschungsfrage ergibt.

3.1 Bewertungssystem

In der Wissenschaft ist die Likert-Skala²³³ ein etablierter Standard zur Bewertung von Aussagen oder Ansätzen. Auch in der vorliegenden Arbeit soll sie als Bewertungssystem eingesetzt werden. Dabei kann die Bewertung unterschiedlich detailliert erfolgen. Somit ist zu entscheiden, in wie viele Abstufungen die Likert-Skala für den gegebenen Anwendungsfall gegliedert werden sollte. Eine geringe Anzahl von zwei, drei oder vier Abstufungen ermöglicht eine schnellere Bewertung, jedoch keine so detaillierte wie Skalen mit neun oder mehr Punkten. Skalen mit fünf, sieben und zehn Stufen haben sich als besonders praktikabel erwiesen.²³⁴ So lässt sich auch erklären, warum eine Gliederung in fünf oder sieben Abstufungen besonders verbreitet ist²³⁵. Zur Evaluierung der bestehenden Ansätze im Kontext des Werkzeugbaus hat sich eine diskrete Skala mit fünf Merkmalsausprägungen etabliert²³⁶. Eine Likert-Skala mit fünf Abstufungen stellt somit für den Anwendungsfall in der vorliegenden Arbeit im Kontext des Werkzeugbaus einen guten Kompromiss aus Handhabbarkeit und Detaillierungsgrad dar.

Im Folgenden findet eine Skala mit fünf Ausprägungen des Erfüllungsgrads der identifizierten Anforderungen Anwendung. Die grafische Darstellung der Ausprägungen erfolgt in Form von Harvey Balls²³⁷. Dabei repräsentiert ein voller Harvey Ball die Ausprägung „sehr hoch“. Der Grad der Füllung nimmt von links nach rechts von „sehr hoch“ über „erfüllt“, „gering“, „sehr gering“ bis „nicht erfüllt“ ab, was einem unausgefüllten Harvey Ball entspricht. Die Ausprägungen der Bewertung sind in Abbildung 3.1 dargestellt.

²³³ Vgl. Likert (Measurement of Attitudes): 1932, S. 25–27

²³⁴ Vgl. Chyung et al. (Evidence-Based Survey Design): 2017, S. 6–7.

²³⁵ Vgl. South et al. (Effective Use of Likert): 2022, 3, 6–7.

²³⁶ Vgl. Boshof (Dienstleistungen im Werkzeugbau): 2021, S. 69–70; Haase (Datenbasierte Werkzeuglebenszykluskostenanalyse): 2024, S. 73–74; Schweins (Nachhaltiger Werkzeuglebenszyklus): 2023, S. 71–72.

²³⁷ Vgl. Kett et al. (Management Skills): 2010, S. 128–129.



Abbildung 3.1: Ausprägungen des Bewertungssystems²³⁸

3.2 Anforderungssystem

Die Anforderungen an ein Kennzahlensystem unterlagen im Verlauf der Zeit einer kontinuierlichen Veränderung und Erweiterung. An dieser Stelle soll zunächst auf den Umgang mit Kennzahlen im Allgemeinen hingewiesen werden. In diesem Kontext trifft SCHOTT mehrere Aussagen. Zunächst ist die Entscheidung zu treffen, Kennzahlen allgemein zu verwenden, da diese eine hohe Relevanz für Entscheidungsprozesse aufweisen. Des Weiteren sollten ebenfalls negative Kennzahlen berücksichtigt werden, um eine ganzheitliche Betrachtung des Unternehmens zu gewährleisten. Darüber hinaus ist eine Verknüpfung der Kennzahlen erforderlich, um deren Aussagekraft zu erhöhen. Zudem ist der zeitliche Bezug zu berücksichtigen. Eine Kennzahl stellt im ersten Moment lediglich die Betrachtung eines einzelnen Zeitpunktes dar. Werden mehrere Zeitpunkte betrachtet, wird der Blick auf einen Zeitraum geworfen, was wiederum bessere Rückschlüsse zulässt. Zur besseren Veranschaulichung sollten diese Kennzahlen in einer visuellen Form dargestellt und auch Wechselwirkungen veranschaulicht werden.²³⁹

Auf Basis der dargelegten Überlegungen entwickelt SCHOTT fünf Anforderungen an ein Kennzahlensystem. Das System sollte demnach dreidimensional und flexibel ausgestaltet sein. Darüber hinaus sind Kausalitäten sowohl innerhalb des Systems als auch zwischen den Zahlen abzubilden. Zudem ist sicherzustellen, dass ein Bezug zu Entscheidungsträgern gegeben ist. Dies impliziert, dass das System ein Problem oder ein Unternehmen ganzheitlich abbildet, um fundierte Entscheidungen zu ermöglichen. Zuletzt sollte ein Kennzahlensystem Spielraum für spekulatives Denken bieten, was die Ableitung von Handlungsalternativen einschließt.²⁴⁰

Auch GLADEN vertritt die Auffassung, dass kausale Zusammenhänge in einem mehrdimensionalen System dargestellt werden sollten. Darüber hinaus definiert GLADEN drei zusätzliche Attribute. Das Kennzahlensystem sollte darüber hinaus klar sowie einfach gestaltet werden. Auf diese Weise fördert es ein besseres Verständnis und ermöglicht eine größere Anzahl an Kennzahlen. Allerdings sollte diese aufgrund der Übersichtlichkeit beschränkt werden.²⁴¹

Einen umfassenden Überblick über die Anforderungen an ein Kennzahlensystem liefert BROWN. Die bisher erläuterten Anforderungen werden um die Aspekte „interessenorientiert“ und „lösungsorientiert“ erweitert. Der lösungsorientierte Aspekt impliziert, dass ein Kennzahlensystem auf Erfolgsfaktoren basieren sollte, um Fortschritte je Bereich messen zu können.

²³⁸ Eigene Darstellung

²³⁹ Vgl. Schott (Kennzahlen Kompaß des Unternehmens): 1965, 15–17.

²⁴⁰ Vgl. Schott (Kennzahlen): 1991, S. 31.

²⁴¹ Vgl. Gladen (Kennzahlen- und Berichtssysteme): 2003, S. 92.

Darüber hinaus sollte das Kennzahlensystem sämtliche Anspruchsgruppen (vgl. Kapitel 2.1.5) adressieren, um sicherzustellen, dass diese über die für sie relevanten Vorgänge und Entscheidungen im Unternehmen informiert sind.²⁴² Die Anforderungen an ein Kennzahlensystem sind in Abbildung 3.2 zusammengefasst.

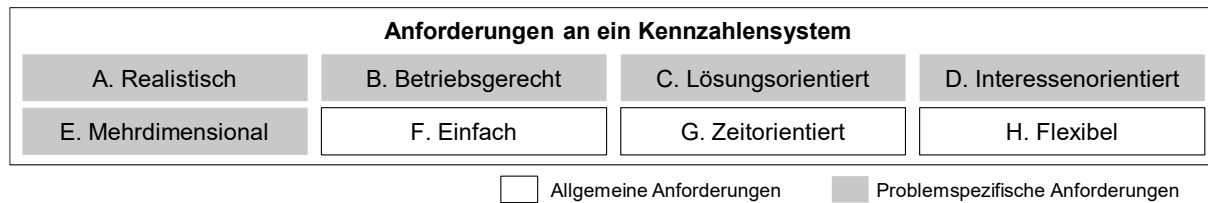


Abbildung 3.2: Anforderungen an ein Kennzahlensystem i. A. a. BROWN²⁴³

3.2.1 Allgemeine Anforderungen

Die Anforderungen Einfachheit, Zeitorientierung und Flexibilität besitzen einen allgemeinen Charakter, sodass eine explizite Anpassung zur Steuerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau nicht erforderlich ist. Dennoch lassen sich diese Anforderungen präzisieren. Zum einen sollte darauf geachtet werden, dass die Kennzahlenmenge so gering wie möglich gehalten wird, um ein gutes Verhältnis von Aufwand zu Nutzen zu erreichen. Um die Zeit in Betracht zu ziehen und zur Schaffung von mehr Transparenz können Zielgrößen für das Ende einer Periode angegeben und final abgeglichen werden. Zum anderen sollte das System auch für zukünftige Aspekte der Nachhaltigkeit so gestaltet sein, dass diese jederzeit ergänzt werden können.

Die **Effizienz** stellt ein grundlegendes Kriterium bei der Bewertung der vorliegenden Ansätze dar. Dabei werden sowohl der Aufwand als auch der Nutzen geprüft. Bezüglich des Aufwands werden vor allem die Komplexität der mathematischen Beziehungen sowie die tatsächliche Umsetzung der Nachhaltigkeitsmessung bewertet. Der Nutzen wird anhand der anspruchsgerechten Darstellung bewertet.²⁴⁴ Die fünf Ausprägungen der allgemeinen Anforderung „Effizienz“ werden wie folgt definiert:

- *Nicht erfüllt:* Es gibt weder eine visuelle noch eine Darstellung in Textform des Kennzahlensystems.
- *Sehr gering:* Wenn keine visuelle Darstellung hergeleitet wurde und die Inhalte des Ansatzes lediglich erläutert werden, stellt dies keinen besonderen Nutzen dar. Jedoch wurden komplexe mathematische Zusammenhänge gewählt, die darüber hinaus nicht nachzuvollziehen sind. Dies wird als hoher Aufwand gewertet.
- *Gering:* Es wird eine visuelle Darstellung hergeleitet. Jedoch wurden komplexe mathematische Zusammenhänge gewählt, die darüber hinaus nicht nachzuvollziehen sind. Dies wird als hoher Aufwand gewertet.

²⁴² Vgl. Brown (Kennzahlen): 1997, S. 3–13.

²⁴³ Vgl. Brown (Kennzahlen): 1997, 3–13.

²⁴⁴ Vgl. Brown (Kennzahlen): 1997, S. 4–5.

- *Hoch*: Ein hoher Nutzen ist dann gegeben, wenn die Darstellung anschaulich ist und ebenfalls gut nachvollzogen werden kann.
- *Sehr hoch*: Ein hoher Nutzen ist dann gegeben, wenn die Darstellung anschaulich ist und ebenfalls gut nachvollzogen werden kann. Sollten zudem möglichst einfache mathematische Beziehungen und Überführungen in Diagramme genutzt werden, ist dies ein geringer Aufwand.

Die Anforderung **Zeitorientierung** zielt darauf ab, zu bewerten, ob ein Ansatz Kenngrößen enthält, die die Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft betreffen²⁴⁵. Dies kann unterschiedliche Abstufungen aufweisen. Falls kein zeitlicher Bezug dargestellt wird, ist die Anforderung nicht erfüllt. Sind Zukunftsgrößen betrachtet, so steigt ebenfalls die Bewertung. Die fünf Ausprägungen der allgemeinen Anforderung „*Zeitorientierung*“ werden wie folgt definiert:

- *Nicht erfüllt*: Es findet keine Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs. Kenngrößen werden ohne zeitlichen Bezug dargestellt.
- *Sehr gering*: Ausschließlich Kenngrößen aus der Vergangenheit werden betrachtet.
- *Gering*: Neben der Vergangenheit wird die Gegenwart in Kenngrößen abgebildet.
- *Hoch*: Es werden Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft in Kenngrößen abgebildet.
- *Sehr hoch*: Neben der Darstellung von Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft in Kenngrößen können für die Zukunft Szenarien abgebildet werden.

Das Kriterium **Anpassungsfähigkeit** ist dann gegeben, wenn es möglich ist, verschiedene Komponenten eines Kennzahlensystems ohne großen Aufwand zu entfernen oder zu ergänzen. Die Komplexität der Zusammenhänge sowie die Überführung in ein Ergebnis sind dabei von entscheidender Bedeutung. Ist eine Adaption ohne Schwierigkeiten möglich, so kann das System zur Messung der Nachhaltigkeit als sehr anpassungsfähig bewertet werden. Andernfalls, wenn dies nicht möglich sein sollte, stellt dies die schlechtmöglichste Bewertung dar.²⁴⁶ Die fünf Ausprägungen der allgemeinen Anforderung „*Anpassungsfähigkeit*“ werden wie folgt definiert:

- *Nicht erfüllt*: Es handelt sich um ein starres System, das keine Anpassungen zulässt.
- *Sehr gering*: Verschiedene Komponenten lassen sich mit großem Aufwand entfernen.
- *Gering*: Verschiedene Komponenten lassen sich mit großem Aufwand entfernen und ergänzen.
- *Hoch*: Verschiedene Komponenten lassen sich mit vertretbarem Aufwand entfernen.
- *Sehr hoch*: Verschiedene Komponenten lassen sich mit vertretbarem Aufwand entfernen und ergänzen.

3.2.2 Werkzeugbaubezogene Anforderung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird ein Gestaltungsmodell für die Messung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau erarbeitet. Daher ist es erforderlich, die spezifischen **Anforderungen**

²⁴⁵ Vgl. Brown (Kennzahlen): 1997, S. 5–6.

²⁴⁶ Vgl. Brown (Kennzahlen): 1997, S. 9–10.

der Branche Werkzeugbau zu berücksichtigen. Diese Branche ist insbesondere durch die Einzel- und Kleinserienfertigung gekennzeichnet (vgl. Kapitel 2.1.2). Gegenstand der Bewertung ist die Einbeziehung des produzierenden Gewerbes bis hin zu branchenspezifischen Lösungen für den Werkzeugbau. Die fünf Ausprägungen des „*Werkzeugbaubezugs*“ werden wie folgt definiert:

- *Nicht erfüllt*: Es besteht kein Bezug zum produzierenden Gewerbe.
- *Sehr gering*: Produzierendes Gewerbe wird berücksichtigt im Sinne der Massenfertigung.
- *Gering*: Das produzierende Gewerbe wird unabhängig der produzierten Stückzahlen berücksichtigt.
- *Hoch*: Es werden Eigenheiten der Einzel- und Kleinserienfertigung teilweise berücksichtigt.
- *Sehr hoch*: Es handelt sich um eine spezifische Lösung für den Werkzeugbau.

3.2.3 Problemspezifische Anforderungen

Um die vorhandenen Ansätze bewerten zu können, ist es erforderlich, aus den Anforderungen an ein Kennzahlensystem ein für die Steuerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau spezifisches Anforderungssystem zu definieren. Wie in Abbildung 3.3 dargestellt, erfolgt eine Ergänzung der allgemeinen Anforderungen anhand von wissenschaftlicher Literatur zur Nachhaltigkeitsmessung und aus dem Bereich der Nachhaltigkeitsberichterstattung. In Bezug auf die Anforderung der Lösungsorientierung ist zu hinterfragen, wie sich der Zielzustand im Falle der Nachhaltigkeit gestaltet. HORSTHOFER-RAUCH ET AL. kommen zu dem Schluss, dass insbesondere die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit betrachtet werden müssen²⁴⁷. Diese Schlussfolgerung wird von SALA ET AL.²⁴⁸ sowie GEBAUER ET AL.²⁴⁹ geteilt. Folglich muss ein Kennzahlensystem für Nachhaltigkeit im Werkzeugbau alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit in Betracht ziehen und aus diesen einen kongruenten Zielzustand erarbeiten.

²⁴⁷ Vgl. Horsthofer-Rauch et al. (Wertstromanalyse): 2021, S. 590–592.

²⁴⁸ Vgl. Sala et al. (Progress in sustainability science): 2013, S. 1668.

²⁴⁹ Vgl. Gebauer et al. (Anforderungen an die Nachhaltigkeitsberichterstattung): 2018, S. 6.

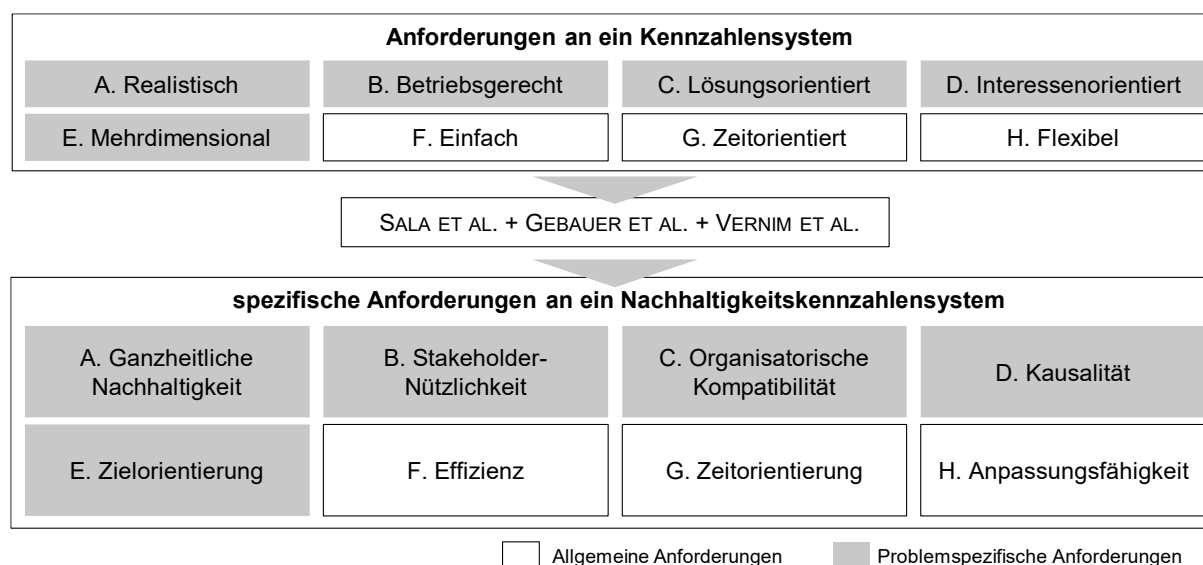


Abbildung 3.3: Herleitung spezifischer Anforderungen eines Kennzahlensystems zur Nachhaltigkeitsmessung im Werkzeugbau²⁵⁰

Des Weiteren ist zu ermitteln, welche Anspruchsgruppen zu berücksichtigen sind, wobei die Messung darüber hinaus auf die Bedürfnisse dieser ausgerichtet sein muss. Dies lässt sich vor allem damit begründen, dass Nachhaltigkeitskennzahlen nicht für alle Systeme gleichermaßen gelten, sondern an den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden müssen²⁵¹. Der Anwendungsfall ist dabei im Wesentlichen von den Ansprüchen der Anspruchsgruppen abhängig. Um den unterschiedlichen Interessen der Anspruchsgruppen gerecht zu werden, muss das Kennzahlensystem für diese einen Nutzen bieten²⁵². Um einen umfassenden Nutzen bieten zu können, ist es jedoch erforderlich, nicht lediglich die Interessen der Anspruchsgruppen zu betrachten²⁵³. Da das Unternehmen mit dem Kennzahlensystem arbeiten muss, ist dieses ebenfalls in Einklang mit der Unternehmensstruktur zu gestalten. Dies impliziert, dass die Ergebnisse so erarbeitet werden, dass sämtliche Abteilungen diese zu ihrem Vorteil einsetzen können²⁵⁴. Um die Möglichkeit der Steuerung zu bieten, muss das System mehrdimensional sein und darüber hinaus auch die Interdependenzen der Werte untereinander abbilden. Dies ist vor allem deswegen notwendig, da das Kennzahlensystem realistisch sein muss, was in diesem Fall bedeutet, dass es auf Ziele ausgerichtet sein muss. Dies führt zu der Vorgabe eines nachhaltigen Zielbildes²⁵⁵.

Die Prüfung der **Zielorientierung**²⁵⁶ dient der Evaluierung der Einhaltung des übergeordneten Ziels des nachhaltigen Werkzeugbaus. Eine ausführliche Erläuterung desselben führt zu einer vollständigen Erfüllung dieser Anforderung. Eine weniger umfangreiche Darlegung hingegen

²⁵⁰ Eigene Darstellung

²⁵¹ Vgl. Horsthofer-Rauch et al. (Wertstromanalyse): 2021, S. 592.

²⁵² Vgl. Sala et al. (Life cycle sustainability): 2013, S. 1658.

²⁵³ Vgl. Gebauer et al. (Anforderungen an die Nachhaltigkeitsberichterstattung): 2018, S. 10–12.

²⁵⁴ Vgl. Sala et al. (Progress in sustainability science): 2013, S. 1668–1669.

²⁵⁵ Vgl. Gebauer et al. (Anforderungen an die Nachhaltigkeitsberichterstattung): 2018, S. 10.

²⁵⁶ Vgl. Brown (Kennzahlen): 1997, S. 5.

resultiert in einer entsprechend schlechteren Beurteilung. Die fünf Ausprägungen der allgemeinen Anforderung „*Zielorientierung*“ lassen sich wie folgt definieren:

- *Nicht erfüllt*: Es wird kein Zielbild für den nachhaltigen Werkzeugbau definiert.
- *Sehr gering*: Es werden einzelne für den nachhaltigen Werkzeugbau relevante Aspekte in einem Zielbild berücksichtigt. Jedoch findet keine Verknüpfung mit der Messung der Nachhaltigkeit statt.
- *Gering*: Es werden einzelne für den nachhaltigen Werkzeugbau relevante Aspekte in einem Zielbild berücksichtigt. Jedoch findet nur in Ansätzen eine Verknüpfung mit der Messung der Nachhaltigkeit statt.
- *Hoch*: Es wird ein Zielbild für den nachhaltigen Werkzeugbau definiert. Jedoch findet keine Verknüpfung mit der Messung der Nachhaltigkeit statt.
- *Sehr hoch*: Es wird ein Zielbild für den nachhaltigen Werkzeugbau definiert. Dieses ist mit der Messung der Nachhaltigkeit verknüpft.

Die Anforderung **Organisationskompatibilität**²⁵⁷ evaluiert, inwiefern die Nachhaltigkeitsmessung auf verschiedene Unternehmensstrukturen eingeht. Die Berücksichtigung der individuellen Informationsdichte von Kennzahlen für unterschiedliche Mitarbeitende ist von essenzieller Bedeutung, da nur so eine effektive und nutzenstiftende Nachhaltigkeitsmessung gewährleistet werden kann. Eine unzureichende Berücksichtigung dieser Komplexität führt folglich zu einer unzureichenden Erfüllung der Anforderung. Die Bewertung der Anforderung wird durch die Berücksichtigung lediglich einiger Organisationsbereiche positiv beeinflusst, wobei das Abbilden der gesamten Organisationsstruktur des Werkzeugbaus die vollständige Erfüllung der Anforderung darstellt. Die fünf Ausprägungen der allgemeinen Anforderung „*Organisationskompatibilität*“ werden wie folgt definiert:

- *Nicht erfüllt*: Es findet keine Berücksichtigung der Unternehmensstruktur statt.
- *Sehr gering*: Die Messung findet ausschließlich für einzelne Teile der Unternehmensstruktur statt.
- *Gering*: Einzelne Teile der Unternehmensstruktur werden zusammengeführt, sodass eine Messung auf einer übergeordneten Ebene möglich wird.
- *Hoch*: Die Messung über mehrere Hierarchien-Ebenen bis zur gesamten Unternehmensstruktur ist abgebildet.
- *Sehr hoch*: Die Messung über mehrere Hierarchien-Ebenen bis zur gesamten Unternehmensstruktur ist abgebildet und berücksichtigt die für die Branche Werkzeugbau typischen Hierarchie-Ebenen.

Eine **ganzheitliche Nachhaltigkeit**,²⁵⁸ welche die Berücksichtigung aller drei Dimensionen der Nachhaltigkeit sowie deren Wechselwirkung berücksichtigt (vgl. Kapitel 2.2), führt zur Erfüllung dieser Anforderung in Gänze. Die Beschränkung auf lediglich einzelne Nachhaltigkeitsdimensionen führt zu einer unzureichenden Erfüllung der Anforderung, während das Fehlen

²⁵⁷ Vgl. Brown (Kennzahlen): 1997, S. 7.

²⁵⁸ Vgl. Brown (Kennzahlen): 1997, S. 10–11.

einer Betrachtung aller Nachhaltigkeitsdimensionen einer Nichterfüllung gleichkommt. Die fünf Ausprägungen der allgemeinen Anforderung „*Ganzheitliche Nachhaltigkeit*“ lassen sich wie folgt definieren:

- *Nicht erfüllt*: Keine der drei Nachhaltigkeitsdimensionen wird berücksichtigt.
- *Sehr gering*: Eine der Nachhaltigkeitsdimensionen wird berücksichtigt.
- *Gering*: Zwei der Nachhaltigkeitsdimensionen werden berücksichtigt.
- *Hoch*: Alle drei Nachhaltigkeitsdimensionen werden berücksichtigt.
- *Sehr hoch*: Alle drei Nachhaltigkeitsdimensionen und deren Wechselwirkung werden berücksichtigt.

Die Anforderung der **Stakeholder-Nützlichkeit** zielt darauf ab, zu eruieren, ob die Anspruchsgruppen (engl. Stakeholder) bei der Ausarbeitung involviert waren und in adäquater Weise berücksichtigt wurden. Die Stakeholder-Nützlichkeit kann als vollumfänglich gegeben betrachtet werden, sofern sämtliche Anspruchsgruppen in den Prozess involviert wurden. Die Bewertung fällt entsprechend geringer aus, wenn eine größere Anzahl von Anspruchsgruppen nicht berücksichtigt wurde.²⁵⁹ Die fünf Ausprägungen der allgemeinen Anforderung „*Stakeholder-Nützlichkeit*“ werden wie folgt definiert:

- *Nicht erfüllt*: Es werden keine Anspruchsgruppen definiert.
- *Sehr gering*: Die Anspruchsgruppen werden definiert, jedoch nicht berücksichtigt.
- *Gering*: Die Anspruchsgruppen werden definiert und zum Teil werden deren Ansprüche berücksichtigt.
- *Hoch*: Die Anspruchsgruppen werden definiert und deren Ansprüche werden berücksichtigt.
- *Sehr hoch*: Die Anspruchsgruppen des Werkzeugbaus werden definiert und deren Ansprüche werden berücksichtigt.

Die Anforderung der **Kausalität** gilt als erfüllt, sofern neben den Messgrößen ebenfalls deren Beziehung zueinander abgebildet wird, sodass die Ursache-Wirk-Zusammenhänge erkennbar werden. Der Umfang der dargestellten Beziehungen ist jedoch ebenfalls von Relevanz. Eine weniger detaillierte Abbildung einer Beziehung führt zu einer Verschlechterung der Bewertung.²⁶⁰ Die fünf Ausprägungen der allgemeinen Anforderung „*Kausalität*“ lassen sich wie folgt definieren:

- *Nicht erfüllt*: Es werden einzelne Messgrößen ohne deren Beziehung zueinander dargestellt.
- *Sehr gering*: Es werden einzelne Messgrößen und übergeordnete Zusammenhänge dargestellt.
- *Gering*: Es werden einzelne Messgrößen und Beziehungen zwischen ausgewählten Messgrößen dargestellt.

²⁵⁹ Vgl. Brown (Kennzahlen): 1997, S. 6–7.

²⁶⁰ Vgl. Brown (Kennzahlen): 1997, S. 8–9.

- *Hoch*: Es werden einzelne Messgrößen und deren Beziehungen innerhalb einzelner Nachhaltigkeitsdimensionen dargestellt.
- *Sehr hoch*: Es werden einzelne Messgrößen und deren Beziehungen innerhalb der drei Nachhaltigkeitsdimensionen dargestellt.

Damit sind die allgemeinen und spezifischen Anforderungen an ein Kennzahlensystem für die Bewertung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbaubetrieb definiert. In Abbildung 3.4 ist eine Übersicht der zu bewertenden Anforderungen dargestellt. Auf Basis dieser Anforderungen kann eine Bewertung vorgenommen werden, inwiefern die bestehenden Ansätze aus der wissenschaftlichen Literatur diesen genügen und damit eine Lösung darstellen. Ebenfalls lässt sich so abschließend das in dieser Arbeit dargestellte Kennzahlensystem anhand der Erfüllung der Anforderungen bewerten. Zunächst werden im folgenden Kapitel bestehende Ansätze beschrieben und bewertet.

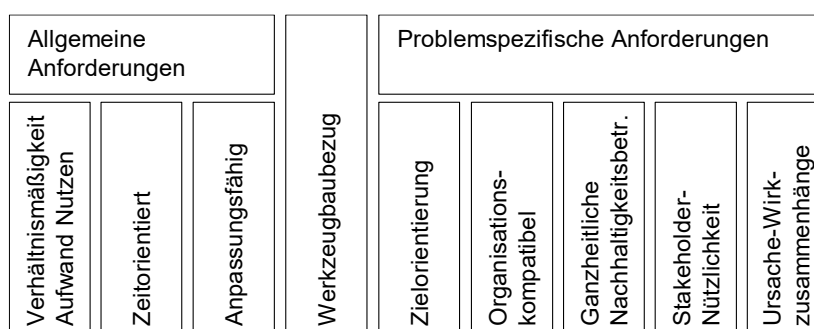


Abbildung 3.4: Zusammenfassung der Anforderungen für die Bewertung von Ansätzen zur Messung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau²⁶¹

3.3 Beschreibung und Bewertung bestehender Ansätze

Im Folgenden wird ein Überblick über den aktuellen Stand der Wissenschaft zur Messung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau präsentiert. Dazu werden zunächst die relevanten Ansätze vorgestellt. Diese lassen sich in drei Gruppen unterteilen. Die erste Gruppe umfasst Ansätze, die darauf abzielen, die Nachhaltigkeit auf Unternehmensebene zu messen. Des Weiteren existieren Ansätze zur Evaluierung von Prozessen. Abschließend wird erläutert, wie bei Ansätzen vorgegangen wird, die die Systemebene bewerten. Der Fokus liegt auf der unternehmensbezogenen Nachhaltigkeitsmessung, da diese ebenfalls Inhalt dieser Arbeit ist. Um jedoch auch angrenzende Themengebiete ausreichend zu untersuchen, wird ebenfalls die system- und prozessbezogene Nachhaltigkeitsmessung analysiert. In diesem Zusammenhang werden die relevanten Ansätze zunächst aggregiert vorgestellt und anschließend anhand der in Kapitel 3.2 ausgearbeiteten Anforderungen bewertet. Die aggregierte Bewertung der Ansätze erfolgt in Kapitel 3.4.

²⁶¹ Eigene Darstellung

3.3.1 Vorgehen zur systematische Literaturrecherche

Grundlage der Recherche ist eine unstrukturierte Schlagwortsuche mit Begriffen wie „Nachhaltigkeitsbewertung“, „Kennzahlensystem“ oder „Werkzeugbau“. Ziel dieser Recherche ist es, ein Grundverständnis und einen Überblick über relevante Schlagworte zu erlangen. Diese Recherche führt jedoch zu mehreren tausend Treffern, von denen die meisten nicht relevant sind. Um die Suche einzugrenzen, wird eine systematische Literaturrecherche nach der STARLITE-Methode durchgeführt.²⁶² Die Suchkriterien sind in Tabelle 3.1 definiert. Seit den 1980er Jahren gibt es bereits vereinzelte Nachhaltigkeitsberichte in Form von freiwilligen Umweltberichten sowie einen signifikanten Anstieg von Umweltbewegungen in Europa.²⁶³ Aus diesem Grund wurde der Suchzeitraum auf die Jahre 1980 bis 2024 begrenzt. Die unstrukturierte Suche führt zu einer Schärfung der Schlagworte durch eine Kurzanalyse der wichtigsten Publikationen.

Tabelle 3.1: Übersicht der für die systematische Literaturrecherche nach STARLITE-Methode gewählten Parameter

S: Auswahlstrategie (sampling strategy)	Selektiv: alle Literatur innerhalb der Beschränkungen
T: Studientyp (type of study)	Wissenschaftliche Zeitschriftenartikel und Bücher
A: Methode (approaches)	Schlagwortsuche in Datenbanken
R: Zeitraum (range of years)	1980-2024 einschließlich
L: Beschränkung (limits)	▪ Deutsch und Englischsprachig ▪ Betrachtung der Gliederung, Einleitung, Abstract, Fazit
I: Einbeziehung und Ausschluss (inclusion and exclusion)	Fokus auf Nachhaltigkeitsbewertung in Unternehmen und Kennzahlensysteme und Stakeholder-Analyse
T: Schlagwörter (terms used)	▪ „Werkzeugbau“ AND „Nachhaltigkeit/ Nachhaltigkeitscontrolling“ ▪ „Werkzeugbau“ AND „Kennzahlen“ OR „Kennzahlensystem“ OR „KPIs“

²⁶² Vgl. Booth (Brimful of STARLITE): 2006, 421–423.

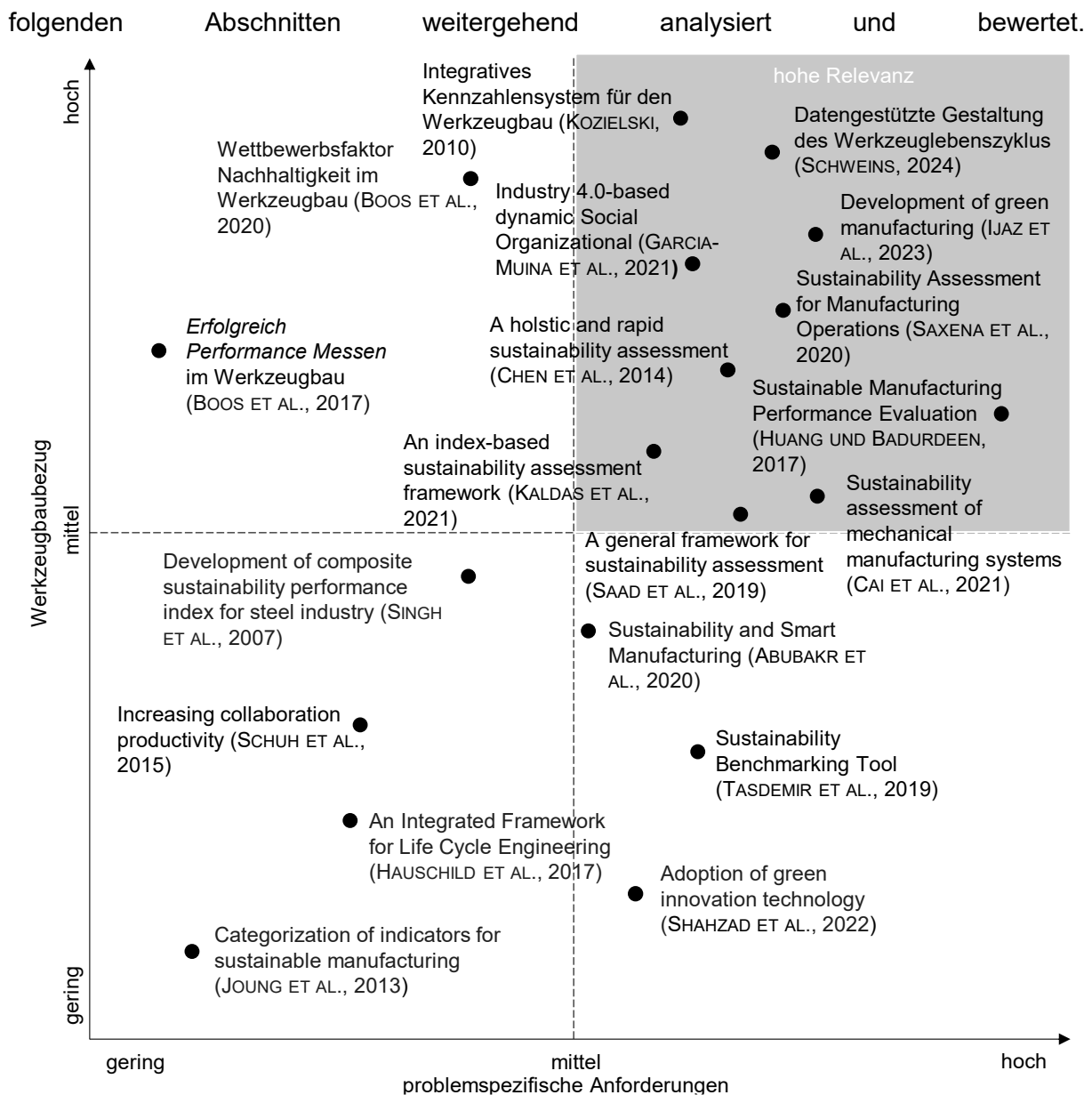
²⁶³ Vgl. Harwardt (Ökologische Nachhaltigkeit im E-Commerce): 2023, S. 16–22.

- „Nachhaltigkeitsbewertung“ AND „Kennzahlen“ OR „Kennzahlensystem“ OR „KPIs“
- „Werkzeugbau“ AND „Organisationsstruktur“
- „Werkzeugbau“ AND „Stakeholder“ OR „Stakeholderanalyse“
- „manufacturing“ AND „sustainability“ OR „sustainability assessment“
- „manufacturing“ AND „Stakeholder“ OR „stakeholder analysis“

E: Datenbanken
(electronic sources)

Google Scholar, SpringerLink, Web of Science, RWTH-Bibliothek und WZL-Bibliothek

Die Erstellung der Suchstrings, einer in einer Suchmaschine oder Datenbank eingegebenen Kombination aus Wörtern und Operatoren (AND, OR), dient der gezielten Suche nach Informationen. Die systematische Literaturrecherche generiert eine Vielzahl an Ergebnissen, die für das Controlling im Werkzeugbau von Relevanz sind. Allerdings fokussieren viele Ansätze die Massenfertigung im produzierenden Gewerbe und berücksichtigen nicht die Eigenheiten der Einzel- und Kleinserienfertigung, wie sie im Werkzeugbau Anwendung findet. Wiederum andere Ansätze berücksichtigen nicht oder nur teilweise die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit. In einem ersten Schritt werden die Ergebnisse anhand des Titels überprüft und bei fehlendem Bezug zur Forschungsfrage aussortiert. Im zweiten Schritt wird die Gliederung und Zusammenfassung der verbleibenden Werke überprüft, wodurch weitere Veröffentlichungen aussortiert werden können. Die verbleibenden Veröffentlichungen werden in Abbildung 3.5 aufgetragen und hinsichtlich ihrer Relevanz in Bezug auf die Anforderungen in Kapitel 3.2. vorläufig bewertet, um eine Grobauswahl zu treffen. In diesem Kontext werden der Werkzeugbaubezug und die problemspezifischen Anforderungen, welche die Zielorientierung, Organisationskompatibilität, ganzheitliche Nachhaltigkeit, Stakeholder-Nützlichkeit und Organisationskompatibilität umfassen, berücksichtigt. Die Ansätze mit hoher Relevanz werden in den

Abbildung 3.5: Übersicht relevanter Forschungsansätze²⁶⁴

3.3.2 Unternehmensbezogene Nachhaltigkeitsmessung

Die unternehmensbezogene Nachhaltigkeitsmessung hat die Intention, die Nachhaltigkeitsleistung eines einzelnen Unternehmens zu evaluieren. Zu diesem Zweck werden verschiedene Nachhaltigkeitsmessgrößen verwendet, um die ökologischen, sozialen und ökonomischen Auswirkungen des Unternehmens zu quantifizieren und zu analysieren. Der Fokus dieser Ansätze liegt auf der Erfassung der Nachhaltigkeitspraktiken innerhalb eines Unternehmens, wobei das Ziel darin besteht, auf organisatorischer Ebene Verbesserungen zu fördern.

²⁶⁴ Eigene Darstellung

3.3.2.1 Integratives Kennzahlensystem für den Werkzeugbau (KOZIELSKI, 2010)

Die Zielsetzung der Arbeit von KOZIELSKI besteht in der Entwicklung eines Kennzahlensystems, welches die Planung und Realisierung von Strategien im Werkzeugbau fördert. Zu diesem Zweck erfolgen eine Erweiterung bestehender Ansätze sowie eine Reduktion etwaiger Defizite. Das Modell von KOZIELSKI ist in drei Teilsysteme untergliedert: das Basiskennzahlensystem, das Zielsystem und die Scorecard. Die nachfolgende Abbildung 3.6 veranschaulicht die Zusammenhänge der Teilsysteme und gibt Aufschluss über die Abfolge der Anwendung.²⁶⁵

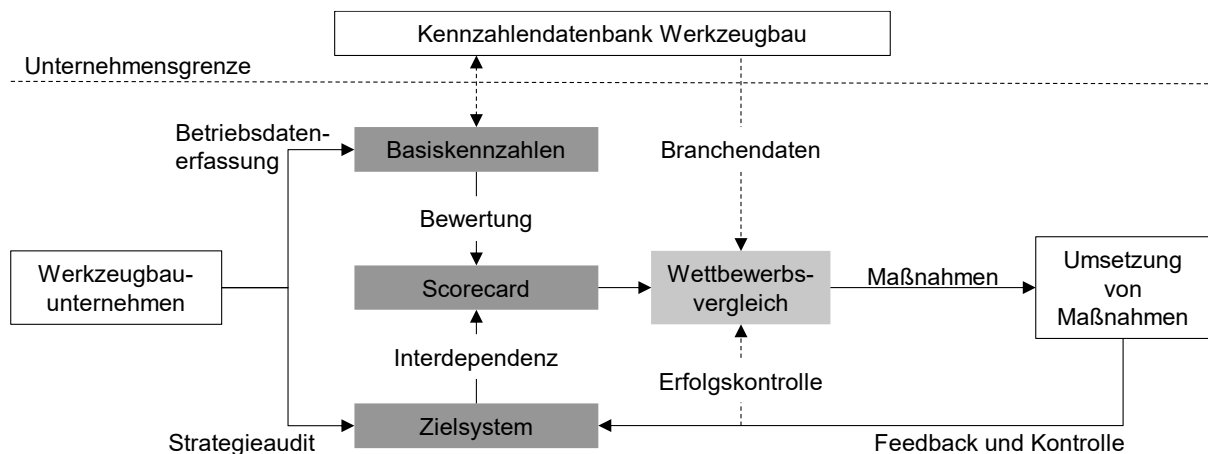


Abbildung 3.6: Aufbau des integrativen Kennzahlenmodells i. A. a. KOZIELSKI²⁶⁶

Zu Beginn des Vorgehens erfolgt die Definition eines Zielsystems mittels eines Strategieaudits, in dessen Folge die strategischen Ziele in einer Strategy Map verschiedenen Themenkomplexen zugeordnet werden. Im Rahmen der Zielsystem-Definition erfolgt eine Zuordnung der strategischen Ziele zu den folgenden Themenkomplexen: Finanzen, Kunden, Leistungsangebot, Unternehmensprozesse, Unternehmensorganisation und Ressourcen. Im Anschluss wird eine Interdependenzanalyse durchgeführt, um die Wechselwirkungen zwischen den Zielen zu identifizieren. Die Analyse ermöglicht die Identifikation von Konflikten oder Synergien zwischen den Zielen. Die Daten des Zielsystems sind integraler Bestandteil der Scorecard, welche neben den strategischen Zielen auch Basiskennzahlen umfasst. Diese werden als Grundlage betrieblicher Daten generiert. Die Basiskennzahlen sind den sechs Themenkomplexen zugeordnet und werden darüber hinaus in Haupt- und Teilaspekte unterteilt. Die Berechnung von Bewertungsgrößen erfolgt auf Basis der zuvor genannten Kennzahlen, wobei die grafische Darstellung in Form von Netz- und Spinnendiagrammen erfolgt. Die Anzahl der Basiskennzahlen variiert in Abhängigkeit von den Anforderungen zwischen acht und 100. Zur Einordnung der Bewertungsgrößen werden Vergleichsgrößen aus der AWF-Datenbank (Aachener Werkzeug- und Formenbau-Datenbank) in den Diagrammen berücksichtigt. Die vollständige Scorecard umfasst die Bewertungsgrößen sowie das Zielsystem. Basierend auf der Analyse der Basiskennzahlen werden für die Bewertungsgrößen, die die signifikantesten Abweichungen

²⁶⁵ Vgl. Kozielski (Integratives Kennzahlensystem): 2013, S. 3.

²⁶⁶ Vgl. Kozielski (Integratives Kennzahlensystem): 2013, S. 106.

zu den Vergleichsgrößen aufweisen, Maßnahmen zur Erreichung der strategischen Ziele abgeleitet. Um die Effektivität dieser Maßnahmen zu bewerten, wird ein Feedback-Loop implementiert, der die Änderungen der Ausprägungen auf der Scorecard kontinuierlich überwacht.

Der von KOZIELSKI entwickelte Ansatz zielt darauf ab, das strategische Management von Werkzeugbaubetrieben mithilfe eines Kennzahlensystems zu optimieren, die Umsetzung unternehmerischer Ziele zu überwachen und anschaulich darzustellen. Im Rahmen des Ansatzes findet lediglich „gesellschaftliche Verantwortung“ im Themenkomplex Unternehmensorganisation Berücksichtigung, sodass lediglich ein Teilaspekt der Nachhaltigkeitsziele berücksichtigt wird. Eine explizite Messung von Nachhaltigkeit erfolgt weder in der Scorecard noch in Textform. Die verwendeten Kennzahlen basieren auf aktuellen Betriebsdaten und unterliegen einer regelmäßigen Aktualisierung im Rahmen der Feedback-Loops. In der Konsequenz werden in der Kennzahlenerfassung vornehmlich die gegenwärtige Unternehmenssituation und deren Einflussfaktoren abgebildet. Die hohe Anpassungsfähigkeit der Methode gilt als evident, da die Basiskennzahlen je nach Anspruch in den Netz- und Spinnendiagrammen variiert werden können, was eine flexible und anforderungsgerechte Darstellung erlaubt. Der Ansatz ist spezifisch auf die Branche Werkzeugbau zugeschnitten und berücksichtigt deren Organisationsstruktur, wodurch ein besonders ausgeprägter Bezug zum Werkzeugbau gegeben ist. Allerdings ist eine Nachhaltigkeitsmessung nicht integriert, sodass kein Zielbild für einen nachhaltigen Werkzeugbau definiert werden kann. Es wird explizit auf die Unternehmensstruktur im Werkzeugbau eingegangen, die Kompatibilität mit Werkzeugbaubetrieben ist folglich als hoch zu bewerten, während Zielorientierung und eine ganzheitliche Nachhaltigkeit nur in geringem Maße beziehungsweise gar nicht erfüllt sind. Die Stakeholder-Nützlichkeit ist demgegenüber als sehr hoch zu bewerten, da alle Anspruchsgruppen des Werkzeugbaus definiert und berücksichtigt werden. Die Messgrößen werden innerhalb der Netz- und Spinnendiagramme übersichtlich dargestellt, wobei jedoch der Nachhaltigkeitsbezug fehlt, sodass die Kausalität als gering zu bewerten ist.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Ansatz nicht zur Nachhaltigkeitsmessung geeignet ist. Dennoch bietet er interessante Ansätze in Bezug auf die Struktur und Darstellung eines für den Werkzeugbau geeigneten Kennzahlensystems. Diese Erkenntnisse könnten als Grundlage für die Entwicklung eines werkzeugbauspezifischen Kennzahlensystems zur Nachhaltigkeitsmessung dienen. In der Abbildung 3.7 ist die Bewertung des Ansatzes von KOZIELSKI dargestellt.

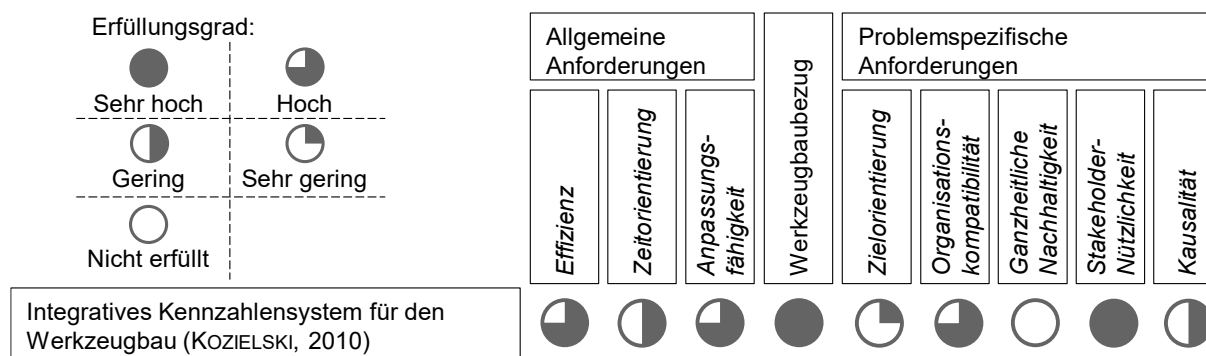


Abbildung 3.7: Bewertung des integrativen Kennzahlensystems nach KOZIELSKI²⁶⁷

3.3.2.2 Industry 4.0-based dynamic social organizational life cycle assessment to target the social circular economy in manufacturing (GARCIA-MUINA ET AL., 2021)

Der von GARCIA-MUINA ET AL. präsentierte Ansatz adressiert das Defizit in der Definition von Nachhaltigkeit als Gleichgewicht zwischen ökologischen und ökonomischen Aspekten, wobei die soziale Dimension in der Bewertung häufig unberücksichtigt bleibt²⁶⁸. Der hier dargestellte Ansatz verbindet den Social Organisational Life Cycle Assessment (SO-LCA) mit den Prinzipien der Industrie 4.0. Das Ziel ist die Bewertung der sozialen Auswirkungen von Technologien der Industrie 4.0.

Der Ansatz basiert auf der Nutzung von Technologien der Industrie 4.0, wobei Echtzeitdaten verwendet werden, die durch ein MES (Manufacturing Execution System) erfasst werden. Die Datenbasis umfasst Produktionsleistungen sowie soziale Daten, die sich direkt auf die Arbeitsprozesse beziehen, insbesondere im Hinblick auf die Arbeitsbedingungen der Beschäftigten. Auf Managementseite erfolgt eine Erfassung der sozialen Daten der Mitarbeitenden auf ähnliche Art und Weise. Die Daten werden in einem ERP-System (Enterprise Resource Planning System) zentralisiert, das die Funktion der Verknüpfung von Produktions- und Managementdaten erfüllt. Das ERP-System ist wiederum mit einem BI-System (Business Intelligence System) verbunden, welches die Daten mit dem SO-LCA Tool integriert. Die so entstandene Verbindung ermöglicht eine Analyse der Daten in Echtzeit sowie eine Verarbeitung mit dem Ziel einer dynamischen Bestandsanalyse (DIA, engl. Dynamic Inventory Analysis). Das beschriebene Vorgehen erlaubt eine kontinuierliche Evaluation der sozialen Leistung des Unternehmens. Die dynamischen Bestandsanalyse (DIA) basiert auf einer Auswahl von organisationspezifischen sozialen Kennzahlen (DSIs, engl. Dynamic Social Indicators), welche eine quantitative Messung sozialer Aspekte ermöglichen. Die so ermittelten Kennzahlen lassen sich Kategorien wie Arbeitsbedingungen, Unternehmensreputation und lokale Gemeinschaften zuordnen. Die Zuordnung der Kennzahl zu spezifischen Stakeholder-Kategorien und ihren Unterkategorien erfolgt nach einem definierten Schema. Beispielhafte Kategorien sind in diesem Zusammenhang in „Arbeitsrechte“ oder „Gemeinschaftseinbindung“ unterschieden. Für jede

²⁶⁷ Eigene Darstellung

²⁶⁸ Vgl. García-Muñiña et al. (Social Organizational Life Cycle Assessment): 2021.

Kennzahl ist definiert, ob eine Erhöhung oder Verringerung ihres Wertes einen positiven Einfluss auf die soziale Nachhaltigkeit hat. Die Normierung der Kennzahlen erfolgt derart, dass Werte zwischen 0 und 1 resultieren. Die Bewertungsskala reicht von 0,2 (stark unterhalb der Anforderungen) über 0,4 (leicht unterhalb der Anforderungen), 0,6 (entspricht lokalen und internationalen Gesetzen sowie grundlegenden gesellschaftlichen Erwartungen), 0,8 (übertrifft Anforderungen) und 1,0 (optimale Leistung oder Best-in-Class). Die Festlegung der Bewertungsskala sowie die Gewichtung der organisationsspezifischen sozialen Kennzahlen (DSIs) erfolgen durch ein Expertengremium, welches sich aus Führungskräften und Entscheidungsträgern des Unternehmens zusammensetzt. Im Rahmen dessen erfolgt die Evaluierung jeder Kennzahl durch die genannten Experten hinsichtlich ihrer Relevanz und Wirkung auf die soziale Nachhaltigkeit. Die normierten und gewichteten Kennzahlen werden aggregiert, um Bewertungen auf Unterkategorien-, Kategorien- und Gesamtebene zu erhalten. Die mathematische Gewichtung erfolgt durch die Berechnung eines gewichteten Durchschnitts. Die Aggregation erlaubt eine umfassende Bewertung der sozialen Leistung des Unternehmens, einschließlich spezifischer Schwachstellen und Verbesserungspotenziale. Das Vorgehen des vorgestellten Ansatzes ist in Abbildung 3.8 dargestellt.

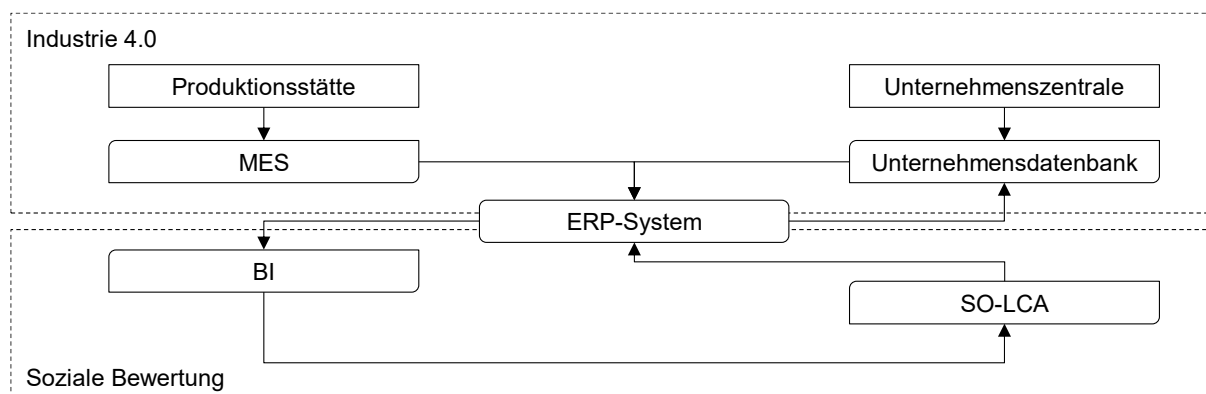


Abbildung 3.8: Modell der Kombination von SO-LCA mit Industrie 4.0 i. A. a. GARCIRA-MUINA ET AL.²⁶⁹

Die Effizienz kann als hoch eingestuft werden. Die Darstellung erfolgt in tabellarischer Form und ist an den Anforderungen der Stakeholder sowie deren Unterkategorien ausgerichtet. Der Ansatz erlaubt eine kontinuierliche Bewertung, wodurch die zeitliche Orientierung auf die Gegenwart fokussiert ist. Allerdings ist der Ansatz nur mit großem Aufwand anpassbar, da die einzelnen Komponenten nur mit erheblichem Aufwand entfernt werden können. Ein direkter Bezug zum Werkzeugbau ist nicht gegeben. Bei der Bewertung des Ansatzes ist jedoch zu berücksichtigen, dass das produzierende Gewerbe, insbesondere mit Blick auf die Entwicklungen im Kontext von Industrie 4.0, Berücksichtigung findet, unabhängig von den produzierten Stückzahlen. Die Zielorientierung des Modells ist begrenzt, da lediglich einzelne für den Werkzeugbau relevante Aspekte einbezogen werden und eine Verknüpfung mit der Messung der Nachhaltigkeit nur ansatzweise erfolgt. Die Kompatibilität mit Organisationsstrukturen ist

²⁶⁹ Vgl. García-Muñiña et al. (Social Organizational Life Cycle Assessment): 2021, S. 8.

ebenfalls als gering einzustufen, da die Messung auf übergeordneter Ebene stattfindet. Die ausschließliche Betrachtung der sozialen Dimension der Nachhaltigkeit führt zu einer stark eingeschränkten Bewertung der Nachhaltigkeit als ganzheitliches Konzept, wodurch die Ausprägung dieses Kriteriums als sehr gering einzustufen ist. Zudem ist die Stakeholder-Nützlichkeit gering, da lediglich die Unternehmensführung beziehungsweise die Managementebene als Anspruchsgruppe adressiert wird. Die Kausalität ist als sehr gering zu bewerten, da nur wenige Messgrößen in Bezug auf die soziale Ebene untersucht werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der vorgestellte Ansatz keinen direkten Bezug zum Werkzeugbau herstellt und lediglich eine der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit berücksichtigt. Dennoch stellt er einen vielversprechenden Ansatz in Bezug auf Industrie 4.0 und die automatisierte Datenverarbeitung dar. Angesichts der Relevanz von Industrie 4.0 für den Werkzeugbau kann die zugrunde liegende Methodik teilweise auf neue Ansätze in diesem Bereich übertragen werden. In Abbildung 3.9 ist die Bewertung des Modells nach GARCIA-MUINA ET AL. dargestellt.

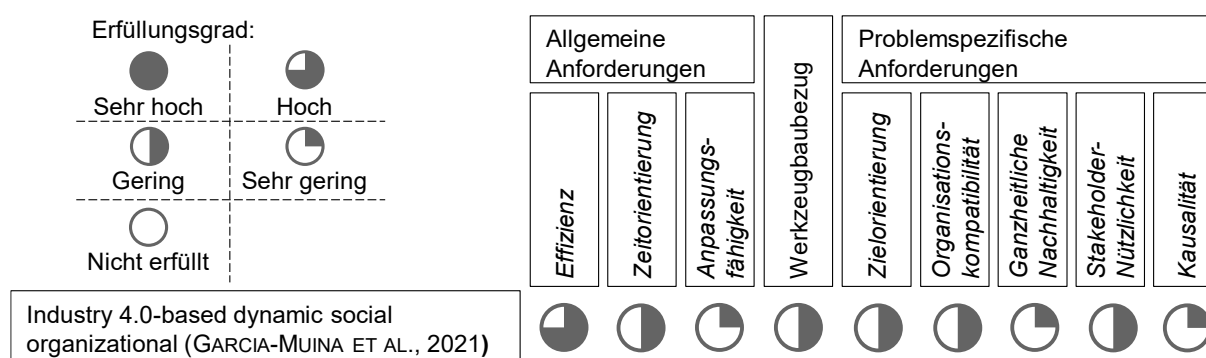


Abbildung 3.9: Bewertung des Modells zur Kombination von SO-LCA mit Industrie 4.0 nach GARCIA-MUINA ET AL.²⁷⁰

3.3.2.3 Development of green manufacturing implementation framework based on life-cycle assessment (IJAZ ET AL., 2023)

Der Ansatz von IJAZ ET AL. sieht die Entwicklung eines Rahmens für umweltfreundliche Fertigung auf der Grundlage der Lebenszyklusanalyse vor. Das Ziel dieses Modells besteht darin, Unternehmen bei der Einführung grüner Produktion zu unterstützen²⁷¹. Die Methodik verbindet die Prinzipien des Lean Manufacturing mit einer LCA und zielt auf die Reduzierung von Emissionen, die Optimierung von Prozessen und langfristige Nachhaltigkeit ab.

Der in Abbildung 3.10 dargestellte Rahmen ist in vier Phasen unterteilt, die schrittweise umgesetzt werden, um einen nachhaltigen Produktionsprozess zu etablieren. In der Definitionsphase erfolgt die Festlegung der Unternehmensziele. Hierbei soll den Umweltzielen einen

²⁷⁰ Eigene Darstellung

²⁷¹ Vgl. Ijaz et al. (Development of a green manufacturing): 2024, S. 2–4.

gleichwertigen Stellenwert wie den wirtschaftlichen Zielen eingeräumt werden. Die Unternehmensführung sollte sich zu diesen strategischen Zielen bekennen und sie verbindlich festlegen. Es wird die Bildung eines „Green Teams“ vorgeschlagen, das für die Umsetzung verantwortlich ist und sich aus Mitarbeitenden verschiedener Abteilungen, wie Produktion, Wartung, Betrieb, Qualitätskontrolle und Management, zusammensetzt. In der zweiten Phase wird das Lean Manufacturing schrittweise eingeführt, um die Effizienz zu optimieren und Verschwendung zu minimieren. Das Value Stream Mapping (VSM) dient der Identifikation von Schwachstellen in der Wertschöpfungskette und der Optimierung von Prozessabläufen. Parallel dazu wird eine LCA durchgeführt, um die Umwelteinwirkungen aller Produktionsschritte zu messen und zu analysieren. Die Anwendung unterschiedlicher LCA-Methoden je nach Unternehmen ist möglich. Neben der LCA werden weitere umweltrelevante Kennzahlen wie Treibhausgasemissionen, Ressourcenverbrauch, Wasserverbrauch und Toxizitätsindizes erfasst. Die Auswahl der Kennzahlen erfolgt in Abstimmung mit den Entscheidungsträgern und basiert auf den wichtigsten Umweltauswirkungen der jeweiligen Produktion. In der dritten Phase wird die Validität der gemessenen Werte überprüft, zum Beispiel mit Hilfe statistischer Tools. Diese Validierung stellt sicher, dass die Ergebnisse belastbar und aussagekräftig sind. Nach der Analyse der Messergebnisse wird ein Verbesserungsprozess auf Basis der Value Stream Mapping (VSM) Methode durchgeführt. Dabei wird eine Roadmap zur Prozessverbesserung erstellt, die sowohl kurz- als auch langfristige Optimierungsziele beinhaltet. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Integration erneuerbarer Energien wie Solaranlagen oder Wasserkraft, um die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zu reduzieren. In der vierten Phase wird die Umsetzung überwacht und ein System zur kontinuierlichen Verbesserung etabliert. Ziel ist es, die erreichten Verbesserungen nachhaltig zu sichern und weiter auszubauen.

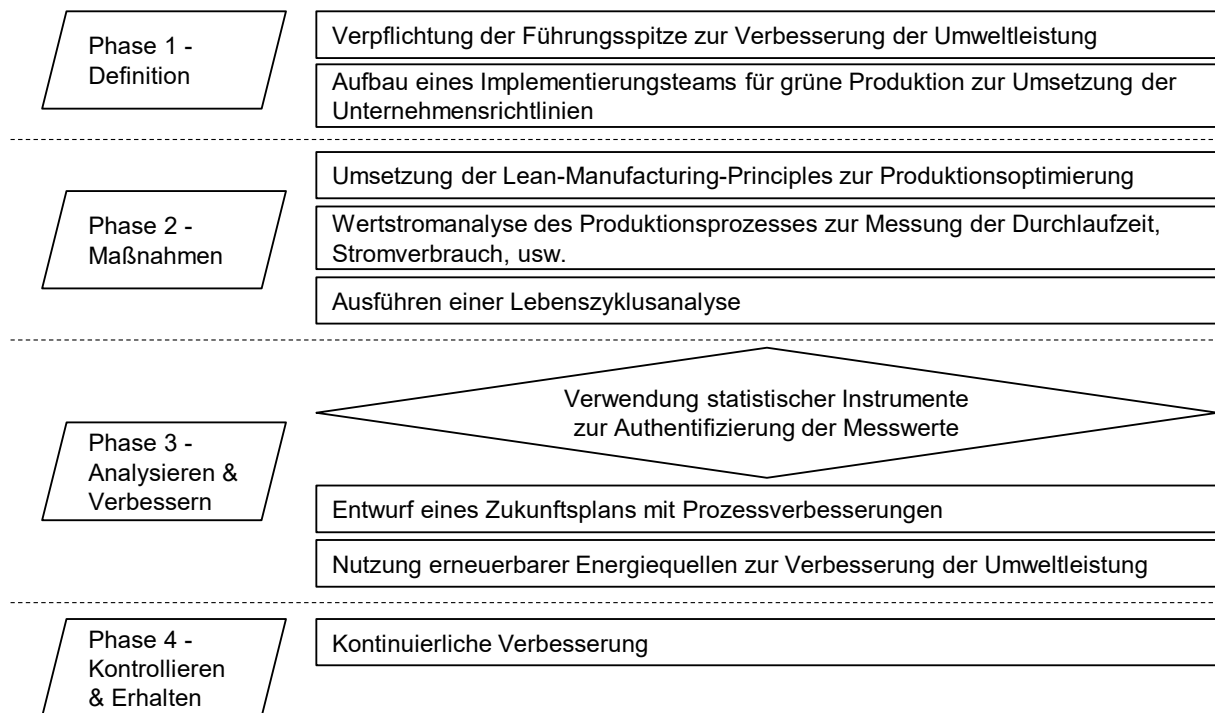


Abbildung 3.10: Aufbau des Green manufacturing implementation framework i. A. a. IJAZ ET AL.²⁷²

In Bezug auf die Verhältnismäßigkeit von Aufwand und Nutzen ist festzuhalten, dass diese in diesem Kontext als gering einzustufen ist. Es finden unterschiedliche LCA-Methoden und statistische Tools Anwendung, die als komplex zu bewerten sind. Das System umfasst neben Kenngrößen aus der Vergangenheit und Gegenwart auch die Phase der kontinuierlichen Verbesserung, womit auch die Zukunft abgebildet wird und somit die Zielorientierung als hoch einzuordnen ist. Die Anpassungsfähigkeit des Systems ist als gering zu bewerten, da das Rahmenwerk der vier Phasen ein Entfernen oder Ergänzen von Komponenten nur mit großem Aufwand zulässt. Ein direkter Bezug zum Werkzeugbau besteht zwar nicht, jedoch werden Produktionsprozesse betrachtet, die in Werkzeugbauunternehmen ebenfalls relevant sein können. Das Modell ist unabhängig von der produzierten Stückzahl anwendbar und weist eine hohe Zielorientierung auf. Das Zielbild wird von der Unternehmensführung festgelegt und kann problemlos auf den Werkzeugbau übertragen werden. Die Organisationsstruktur des Unternehmens wird in die Analyse einbezogen, wobei sowohl hierarchische als auch horizontale Ebenen abgebildet werden. Dies führt zu einer hohen Bewertung der Organisationskompatibilität. Hinsichtlich der Nachhaltigkeitsbetrachtung werden ausschließlich zwei Dimensionen, Ökologie und Ökonomie, berücksichtigt. Die Stakeholder-Nützlichkeit ist als sehr gering einzustufen, da zwar interne Stakeholder benannt werden, jedoch deren spezifische Ansprüche nicht analysiert werden. Die Ursache-Wirkungszusammenhänge sind insgesamt als gering zu bewerten, da lediglich einzelne Messgrößen in Verbindung miteinander dargestellt werden.

²⁷² Vgl. Ijaz et al. (Development of a green manufacturing): 2024, S. 12.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Ansatz von IJAZ ET AL. eine fundierte und strukturierte Methode zur Einführung, Umsetzung und Kontrolle nachhaltiger Produktionsprozesse in Unternehmen bietet. Auch wenn ein spezifischer Bezug zum Werkzeugbau fehlt, können dennoch Teile des Modells sinnvoll adaptiert werden, da der grundlegende Produktionsablauf in vielen Aspekten vergleichbar ist. In Abbildung 3.11 ist die Bewertung zusammengefasst.

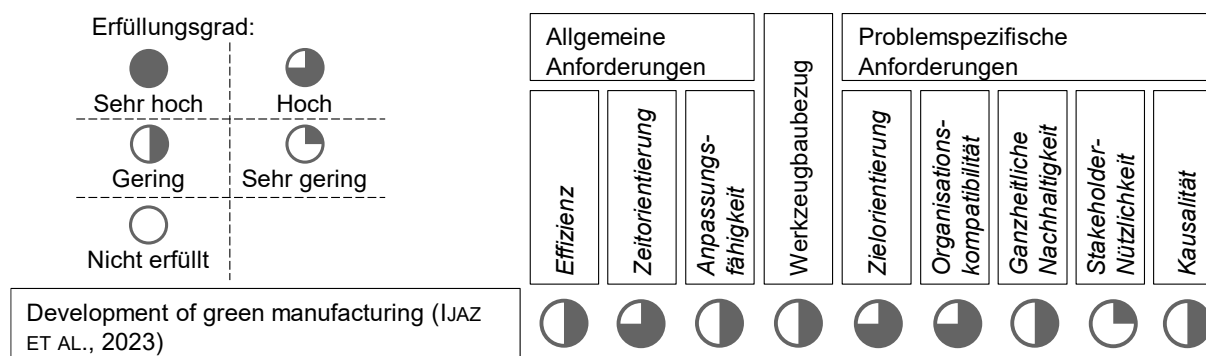


Abbildung 3.11: Bewertung des Green manufacturing implementation framework nach IJAZ ET AL.²⁷³

3.3.2.4 A holistic and rapid sustainability assessment tool for manufacturing SMEs (CHEN ET AL., 2014)

Der Ansatz von CHEN ET AL. fokussiert sich auf die Entwicklung eines computergestützten Tools zur Nachhaltigkeitsbewertung, welches speziell für KMUs in der Fertigungsindustrie konzipiert wurde. Diese machen etwa 99,2 % der europäischen Fertigungsunternehmen aus²⁷⁴. Das Tool ermöglicht eine schnelle und einfache Bewertung der Nachhaltigkeit auf Fabrikebene und berücksichtigt dabei die folgenden drei Dimensionen der Nachhaltigkeit: Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft. Die Erfassung und Analyse der Nachhaltigkeitsleistung der KMUs erfolgt mittels vorab definierter Kennzahlen und nimmt einen Zeitraum von circa zwei Stunden in Anspruch. Die Präsentation der Ergebnisse erfolgt in Form von Indizes und grafischen Darstellungen, wodurch eine gezielte Identifikation von Verbesserungsmaßnahmen ermöglicht wird.

Das Tool basiert auf drei Hauptmodulen: dem Nachhaltigkeitsrahmen, dem Fabrikmodell und dem Indikatorrahmen, die über eine Verbindungsmatrix miteinander verknüpft sind. Der Nachhaltigkeitsrahmen ist in 14 Themengebiete, 44 Unterthemen und 82 Prinzipien gegliedert. Ein Beispiel hierfür ist das Thema Süßwasser, das das Unterthema Wassermenge sowie das Prinzip der Minimierung des Gesamtwasserverbrauchs umfasst. Innerhalb des Fabrikmodells werden die relevanten Kennzahlen der Fabrik definiert, die in Input- und Output-Ströme, Fabrikelemente und Schnittstellen unterteilt sind. Zu den Inputströmen zählen unter anderem Wasser, Energie und Rohmaterialien, während die Fabrikelemente Komponenten wie Gebäude,

²⁷³ Eigene Darstellung

²⁷⁴ Vgl. Chen et al. (A holistic and rapid sustainability assessment tool): 2014.

Maschinen und Personal umfassen. Schnittstellen wie Material- oder Energiefluss und Kommunikation bilden weitere wesentliche Bestandteile. Basierend auf diesen Modulen wird ein Satz von 133 Indikatoren erstellt, die in sieben Hauptgruppen eingeteilt sind: Produktion und Wartung, Umwelt, Gesundheit und Sicherheit, Logistik, Management und Wirtschaft, Einkauf sowie Personal. Die Indikatoren sind so gestaltet, dass sie leicht verständlich sind, auf leicht zugängliche Daten zurückgreifen und eine schnelle Bewertung ermöglichen. Die Ergebnisse der Indikatoren unterliegen einer Normalisierung, Gewichtung und Aggregation, um einen aussagekräftigen und leicht verständlichen Gesamtindex zu ermitteln. Dieser Prozess bleibt für den Anwendenden verborgen, wodurch die Komplexität des Tools reduziert wird. Das finale Tool besteht aus einer Datenbank und einer Benutzeroberfläche, die einen Fragebogen mit den 133 Indikatoren enthält. Die Datenverarbeitung erfolgt direkt, sodass der Anwendende Nachhaltigkeitsindizes erhält, welche die Nachhaltigkeitsthemen aus den drei Dimensionen abdecken sowie einen Fabrik-Nachhaltigkeitsindex. Die tabellarische Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse in einem Spinnendiagramm dienen der leichteren Interpretation.

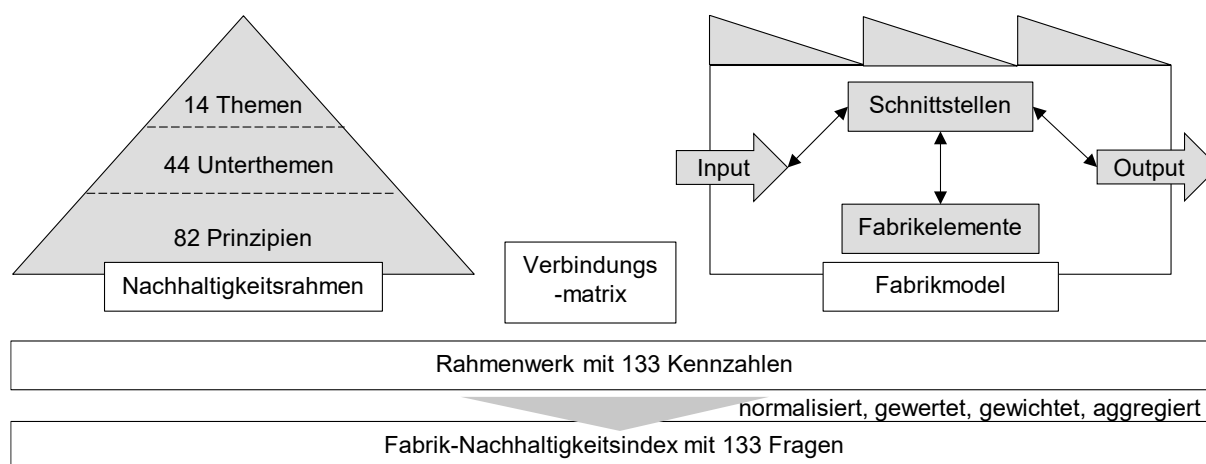


Abbildung 3.12: Das Grundmodell des Tools zur Nachhaltigkeitsbewertung i. A. a. CHEN ET AL.²⁷⁵

Der hier dargestellte Ansatz beinhaltet ein Tool, welches sich durch eine einfache Handhabung auszeichnet und für den Einsatz in KMUs konzipiert wurde. Die Effizienz ist als sehr gut zu bewerten, da die Durchführung einer Nachhaltigkeitsmessung in einem kurzen Zeitrahmen möglich ist. Die Zeitorientierung ist als gering zu beachten, da die Betrachtung auf Kennzahlen beschränkt ist, die idealerweise Daten aus der Gegenwart verwenden. Die geschlossene Struktur und einfache Bedienbarkeit des Systems verhindern Anpassungen. Ein Werkzeugbaubezug ist nicht gegeben, es wird das produzierende Gewerbe berücksichtigt, die produzierende Stückzahl wird nicht explizit berücksichtigt. Eine Zielorientierung ist teilweise gegeben, da das Ziel der Nachhaltigkeit auf den Werkzeugbau übertragbar wird. Die Organisationsstruktur wird nicht genau betrachtet. Es werden KMUs bewertet und somit das Gesamtunterneh-

²⁷⁵ Vgl. Chen et al. (A holistic and rapid sustainability assessment tool): 2014, S. 438.

men. Die Stakeholder-Nützlichkeit ist demnach als gering einzustufen, da keine Anspruchsgruppen definiert werden. Allerdings ist die Betrachtung aller drei Dimensionen der Nachhaltigkeit als positiv zu bewerten. Die Kausalität ist als sehr gering einzustufen, da nur einzelne Messgrößen und übergeordnete Zusammenhänge dargestellt werden.

Zusammenfassend lässt sich das vorgestellte Tool beziehungsweise der Ansatz als effiziente und zeitsparende Möglichkeit zur Bewertung von Nachhaltigkeitsaspekten in der Fertigung betrachten, wobei anzumerken ist, dass es Einschränkungen hinsichtlich der Variabilität aufweist und spezifische Unternehmensstrukturen nicht im Detail berücksichtigt (vgl. Abbildung 3.13). Dennoch ist das Tool grundsätzlich auch auf KMUs im Werkzeugbau anwendbar und stellt eine Grundlage für weiterführende computerunterstützte Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung dar.

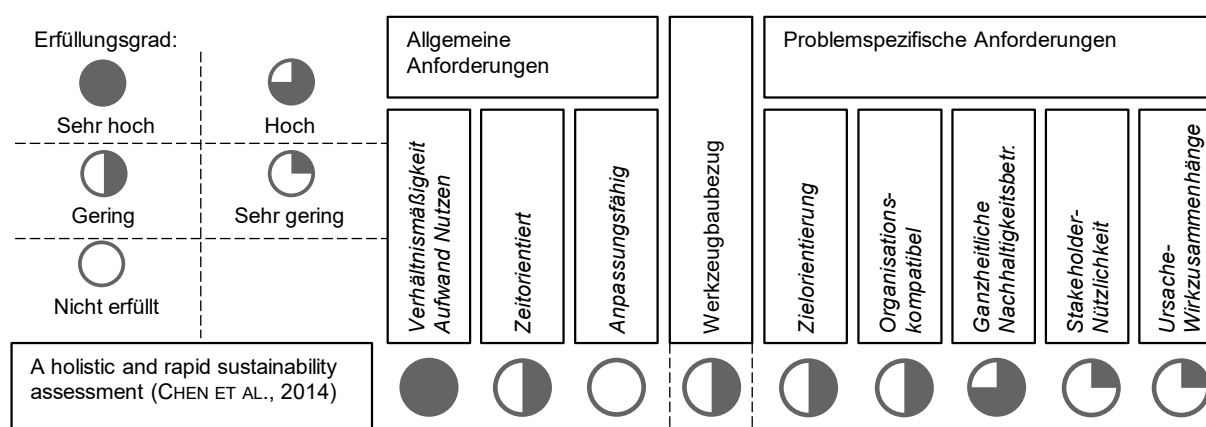


Abbildung 3.13: Bewertung des Tools zur Nachhaltigkeitsbewertung von CHEN ET AL.²⁷⁶

3.3.2.5 An index-based sustainability assessment framework for manufacturing organisations (KALDAS ET AL., 2021)

Die von KALDAS ET AL. entwickelte Methodik zur Nachhaltigkeitsbewertung des produzierenden Gewerbes auf Unternehmensebene umfasst die Entwicklung eines Nachhaltigkeitsindex, der die Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung ermöglicht. Das Modell ist in fünf Schritte unterteilt: Zunächst werden die relevanten Kennzahlen ausgewählt, anschließend werden Daten erfasst, dann erfolgt die Normalisierung und Gewichtung der Daten und schließlich werden diese zum Nachhaltigkeitsindex aggregiert (vgl. Abbildung 3.14).²⁷⁷

Der erste Schritt im Modell von KALDAS ET AL., dargestellt in Abbildung 3.14, ist die Auswahl geeigneter Kennzahlen, die die Dimensionen der Nachhaltigkeit repräsentieren. Diese Kennzahlen werden den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit zugeordnet: sozial, ökonomisch und ökologisch. Dabei orientieren sich die Kennzahlen an den Leitlinien zur Erstellung von Nachhaltigkeitsberichten gemäß dem GRI-Leitfaden (engl. Global Reporting Initiative). Das Ziel besteht darin, alle Phasen des Produktlebenszyklus abzudecken – Vorproduktion, Produktion,

²⁷⁶ Eigene Darstellung

²⁷⁷ Vgl. Kaldas et al. (An index-based sustainability assessment framework): 2021, S. 235–236.

Nutzung und Nachproduktion – sowie die Prinzipien des 6R-Modells zu berücksichtigen: Reduzieren, Wiederverwenden, Recyceln, Rückgewinnen, Neugestalten und Wiederaufarbeiten. Nach der Auswahl werden die Kennzahlen mit entsprechenden Messgrößen operationalisiert. Diese Messgrößen können entweder direkt erhoben oder aus bestehenden Nachhaltigkeitsberichten entnommen werden. Aufgrund der Heterogenität der Messgrößen hinsichtlich ihrer Einheiten erfolgt eine Normalisierung, die mittels der Minimum-Maximum-Methode durchgeführt wird. Dabei werden die Werte auf einen Bereich zwischen null und eins skaliert. Zusätzlich wird berücksichtigt, ob die Kennzahlen eine positive oder negative Auswirkung auf die Nachhaltigkeitsleistung haben. Im Fall negativer Auswirkungen wird der Normalisierungswert von eins subtrahiert. Im nächsten Schritt erfolgt die Gewichtung der Kennzahlen mithilfe des Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP). Dieser Prozess besteht aus vier Hauptschritten: Aufbau einer Hierarchie, paarweiser Vergleich der Elemente, Aggregation der Gruppenentscheidungen und Ableitung der normierten Gewichtungen. Die nachhaltige Produktion ist dabei auf der obersten Ebene (Ebene 1) als übergeordnetes Ziel verankert. Die Ebene 2 umfasst die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit, die Ebenen 3 und 4 die Unterkategorien dieser Dimensionen und die Ebene 5 die spezifischen Kennzahlen. Die Gewichtung der einzelnen Elemente erfolgt auf Basis von Expertenschätzungen, wobei eine Fuzzy-Dreiecksskala zum paarweisen Vergleich der Elemente Anwendung findet. Die Fuzzy-Dreiecksskala stellt unsichere Werte durch ein Dreieck dar, das den ungefähren Bereich und den Mittelpunkt angibt. Die daraus resultierende Beurteilungsmatrix reflektiert die Perspektive eines einzelnen Entscheidungsträgers, weshalb die Matrizen mehrerer Experten zusammengeführt und gemittelt werden. In der Folge werden die normierten Gewichtungen berechnet. Der letzte Schritt im Modell ist die Aggregation der gewichteten Kennzahlen zur Berechnung des Nachhaltigkeitsindex. Die Berechnung erfolgt durch die Summe der gewichteten Kennzahlen, wobei für jede der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit ein spezifischer Nachhaltigkeitsindex ermittelt wird. Die Summe dieser drei Dimensionsindizes ergibt schließlich den gesamten Nachhaltigkeitsindex.

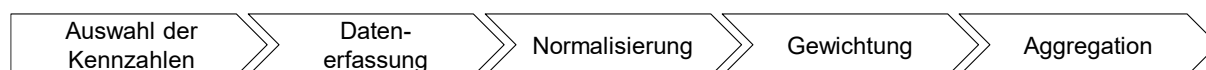


Abbildung 3.14: Aufbau der indexbasierten Nachhaltigkeitsbewertung i. A. a. KALDAS ET AL.²⁷⁸

Nach dem Ansatz von KALDAS ET AL. wird eine Vergleichbarkeit von Kennzahlen ermöglicht, wobei die Effizienz als gering bewertet wird, da nur eine grobe Visualisierung stattfindet. Hinsichtlich der zeitlichen Ausrichtung können sowohl gegenwartsbezogene als auch vergangenheitsbezogene Kennzahlen abgebildet werden. Das System zeichnet sich durch eine hohe Anpassungsfähigkeit aus, da die Kennzahlen innerhalb der drei Nachhaltigkeitsdimensionen flexibel wählbar sind. Ein Bezug zum Werkzeugbau besteht nicht; vielmehr wird das produzierende Gewerbe allgemein betrachtet, unabhängig von der produzierten Stückzahl. Die Zielorientierung des Ansatzes ist daher als gering einzustufen, da der fehlende Werkzeugbaubezug

²⁷⁸ Vgl. Kaldas et al. (An index-based sustainability assessment framework): 2021, S. 336.

die Übertragbarkeit auf diesen spezifischen Sektor einschränkt. Dennoch werden relevante Aspekte berücksichtigt, wie die Orientierung der Kennzahlen an den Leitlinien zur Erstellung von Nachhaltigkeitsberichten. Da die Nachhaltigkeitsbewertung des produzierenden Gewerbes auf Unternehmensebene stattfindet, ist die Organisationskompatibilität sehr gering. Die Berechnung des jährlichen Nachhaltigkeitsindex sowie individueller Indizes erfolgt innerhalb der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit, womit die Nachhaltigkeitsbetrachtung als hoch einzustufen ist. Das Modell berücksichtigt jedoch weder die Unternehmensstruktur noch die Interessen von Stakeholdern, sodass diese Aspekte als nicht erfüllt gewertet werden. Obwohl alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit in Betracht gezogen werden, werden mögliche Wechselwirkungen zwischen den Dimensionen nicht berücksichtigt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Ansatz eine gute Vergleichbarkeit von Kennzahlen ermöglicht und eine einfache visuelle Darstellung bietet (vgl. Abbildung 3.15). Für die Steuerung von Nachhaltigkeit ist der Ansatz jedoch nur bedingt geeignet, da weder Iterationen noch ein Feedback-Loop vorgesehen sind. Dennoch können die Methoden der Gewichtung, Normalisierung und Aggregation der Kennzahlen auf andere Konzepte übertragen werden.

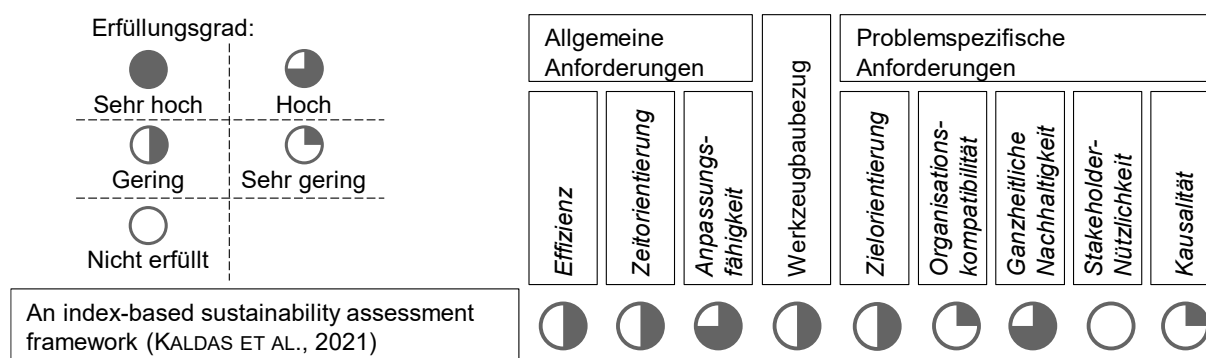


Abbildung 3.15: Bewertung der indexbasierten Nachhaltigkeitsbewertung nach KALDAS ET AL.²⁷⁹

3.3.3 Systembezogene Nachhaltigkeitsmessung

Die systembezogene Nachhaltigkeitsmessung zeichnet sich durch eine erweiterte Perspektive aus, die nicht nur die Betrachtung eines einzelnen Unternehmens, sondern eines ganzen Systems oder einer Wertschöpfungskette umfasst. Dieser Ansatz analysiert die Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Akteuren, Prozessen und Ressourcen innerhalb des Systems, um die Gesamtnachhaltigkeitsleistung zu bewerten. Der Schwerpunkt liegt auf der Erfassung der Auswirkungen und Interaktionen zwischen den verschiedenen Teilen des Systems.

²⁷⁹ Eigene Darstellung

3.3.3.1 Datengestützte Gestaltung des nachhaltigen Werkzeuglebenszyklus (SCHWEINS, 2024)

Die Arbeit von SCHWEINS hat die Entwicklung eines Rahmenwerks zum Ziel, welches die nachhaltige Gestaltung des Werkzeuglebenszyklus auf datengestützter Basis abbildet. Der Fokus liegt hierbei explizit auf der Branche des Werkzeugbaus. Das entwickelte Rahmenwerk soll anwendungsbezogen angepasst und umgesetzt werden können. Das entwickelte Gestaltungsmodell ist im Kern ein Prozessmodell, welches die Prozessabläufe klar definiert und festgelegte Prozessschritte strukturiert.²⁸⁰

Das in Abbildung 3.16 dargestellte Prozessmodell ist in fünf Schichten strukturiert und basiert auf dem Konzept der Architektur integrierter Informationssysteme (ARIS). Die Schichten, bestehend aus Funktionssicht, Steuerungssicht, Leistungssicht, Organisationssicht und Datensicht, bilden dazu die Grundlage. Die Nachhaltigkeitsziele werden innerhalb der Funktionssicht definiert. Zu diesem Zweck wird eine Analyse der Stakeholder entlang des Werkzeuglebenszyklus durchgeführt, um deren Anforderungen zu ermitteln. Diese Anforderungen werden mit den nachhaltigen Erfolgspositionen (NEP) wie beispielsweise dem „kundenseitigen Materialbedarf“²⁸¹, der die in der Werkzeugnutzung verwendeten Materialien und den Einfluss auf die Lebensdauer des Werkzeugs abbildet, analysiert und zu Nachhaltigkeitszielen zusammengefasst. Diese Ziele werden im „Zielsystem des nachhaltigen Werkzeuglebenszyklus“ zusammengefasst. Des Weiteren bedarf es einer Evaluation der Ergebnisse, um beispielsweise die diversen Einflüsse auf die Entwicklung der „Lebenszykluskosten“ zu bewerten. Hierzu findet eine „kontinuierliche Lebenszyklusbewertung“ Anwendung, welche die Nachhaltigkeitsleistung analog zum „Industrie 4.0 Maturity Index“²⁸² in Reifegradstufen misst. Jeder Kennzahl der Lebenszyklusbewertung ist eine Stufe im Reifegradmodell zugeordnet als auch eine Phase im Werkzeuglebenszyklus. Die vorliegende Bewertung ist demnach nicht an konkreten Schwellenwerten der einzelnen Kennzahlen orientiert. Die Visualisierung der Reifegradbewertungen erfolgt mittels zweier Diagramme. SCHWEINS kommt zu dem Schluss, dass die Lebenszyklusphase der Werkzeugnutzung einen signifikanten Einfluss auf die nachhaltige Entwicklung des Lebenszyklus ausübt. Die Befriedigung der Anforderungen der Stakeholder, insbesondere der Kunden, erfolgt durch die Bereitstellung nachhaltiger Produkte und Dienstleistungen, die als Nachhaltigkeitsleistungen bezeichnet werden.

Das Leistungssystem ist beim Produkt in die Kategorien „Kernprodukt“, „Produktsystem“ sowie „Sortiment“ gegliedert. Bei den Dienstleistungen erfolgt die Gliederung in „Integration von Leistungen“, „integriertes Projektmanagement“, „innovative Zusammenarbeit“ sowie „emotionale Profil und Kundenerlebnis“. In Abhängigkeit der Kundenanforderungen werden diese Elemente zu Leistungsbaukästen zusammengeführt. Die Module und Baukästen werden wieder-

²⁸⁰ Vgl. Schweins (Nachhaltiger Werkzeuglebenszyklus): 2023, S. 10–12.

²⁸¹ Vgl. Schweins (Nachhaltiger Werkzeuglebenszyklus): 2023, S. 159.

²⁸² Vgl. Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier J., ten Hompel, M., Wahlster, W. (Industrie 4.0 Maturity): 2017, S. 16.

rum in ein ganzheitliches System integriert, das die Prozesse zur Umsetzung zwischen Kunden und Werkzeugbaubetrieben beschreibt. Dies ermöglicht eine flexible und bedarfsgerechte Gestaltung der Nachhaltigkeitsleistungen. Passend zu den identifizierten nachhaltigen Produkten und Dienstleistungen wird ein geeigneter Auftragsabwicklungsprozess ausgelegt, sowie der Ressourceneinsatz, die Organisationsstruktur und der Kompetenzaufbau dargestellt. Der Fokus der Datensicht liegt auf der Erfassung, Verarbeitung und Bereitstellung relevanter Daten über den gesamten Lebenszyklus. Die Realisierung einer solchen Datensicht erfolgt durch die Definition eines digitalen Schattens, der den Datenaustausch zwischen den beteiligten Akteuren ermöglicht. Dies geschieht, indem über die verschiedenen Phasen des Werkzeuglebenszyklus Daten einheitlich zentral erfasst werden können.

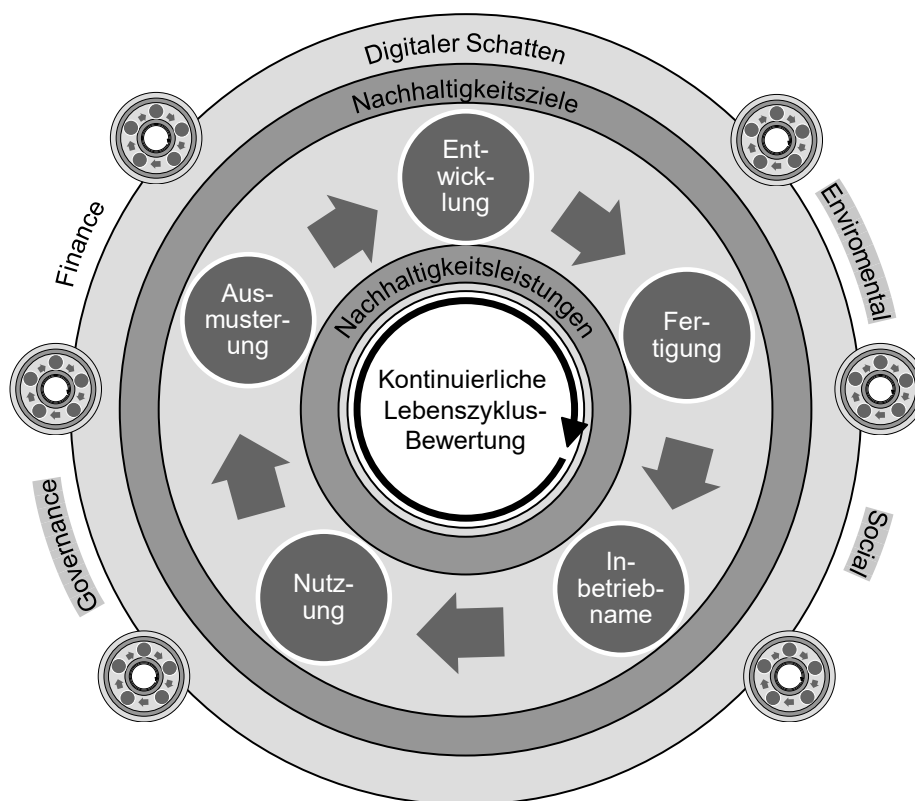


Abbildung 3.16: **Ansatz zur datengestützten Gestaltung des nachhaltigen Werkzeuglebenszyklus i. A. a. SCHWEINS²⁸³**

Der von SCHWEINS präsentierte Ansatz beinhaltet die Entwicklung eines Rahmenwerks zur nachhaltigen Gestaltung des Werkzeuglebenszyklus. Das dargestellte Prozessmodell ist anschaulich und wird durch zusätzliche Abbildungen weiter detailliert, sodass die Effizienz als hoch einzuschätzen ist. In Bezug auf die Zielorientierung erfolgt die Ableitung der Anforderungen an nachhaltige Produkte und Dienstleistungen insbesondere auf Basis der Kundenanfor-

²⁸³ Vgl. Schweins (Nachhaltiger Werkzeuglebenszyklus): 2023, S. 135.

derungen. Durch die im Reifegradmodell vorgegebenen Reifegradstufen werden Entwicklungsstufen entworfen, wobei ein Entwicklungs- oder Zeitaspekt berücksichtigt wird. Die Anpassungsfähigkeit des Systems kann als hoch eingestuft werden, da es innerhalb des definierten Aufgabenbereichs eine flexible Anpassung an veränderte Bedingungen aufweist. In Anbetracht der spezifischen Ausrichtung auf den Lebenszyklus von Werkzeugen ist das Rahmenwerk durch einen sehr hohen Werkzeugbaubezug gekennzeichnet. Nichtsdestotrotz wird der Fokus auf die Bereitstellung nachhaltiger Produkte oder Dienstleistungen gelegt, die der Werkzeugbau seinen Kunden bieten kann. Die Zielorientierung ist ebenfalls als signifikant hoch zu bewerten. Die Organisationskompatibilität wird demgegenüber als sehr gering eingestuft, da der Fokus des Rahmenwerks auf dem Lebenszyklus einzelner Werkzeuge und den damit verbundenen Strukturen liegt, wobei hierarchische Ebenen nicht berücksichtigt werden. Es erfolgt jedoch eine ganzheitliche Betrachtung der Nachhaltigkeit, bei der alle drei Dimensionen – die ökologische, die ökonomische und die soziale – sowie deren Wechselwirkungen einbezogen werden. Darüber hinaus ist die Nützlichkeit für Stakeholder gegeben. Im Rahmen der Entwicklung findet eine klare Definition und Berücksichtigung von Anspruchsgruppen statt. Der Fokus jedoch auf Stakeholdern entlang des Werkzeuglebenszyklus, insbesondere den Kunden des Werkzeugbaus. Das vorliegende Werk ist als Rahmenwerk konzipiert, sodass die Kausalitäten lediglich in eingeschränktem Maße dargestellt werden. Obwohl Messgrößen und Abhängigkeiten beschrieben werden, sind diese jedoch abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall und nicht zwingend innerhalb einzelner Nachhaltigkeitsdimensionen vollständig abgebildet. Des Weiteren ist lediglich ein Teil der Kennzahlen der Phase der Werkzeugherstellung zugeordnet. Insgesamt dienen sie der Bewertung von Reifegraden. Es kann festgehalten werden, dass sich die betreffenden Kennzahlen nur in begrenztem Maße zur internen Steuerung eines Werkzeugbaubetriebs zur Steigerung der Nachhaltigkeit eignen. Die Konzeption des digitalen Schattens dient der Optimierung des Datenaustauschs zwischen den verschiedenen beteiligten Entitäten hinsichtlich eines spezifischen Werkzeugs. Diese Daten stellen lediglich einen Teil der Datengrundlage für die Steuerung eines Werkzeugbaubetriebs dar. Gemäß dem zugrundeliegenden Ansatz der Arbeit resultieren daraus Leistungsbaukästen, welche Leistungen für nachhaltige Produkte und Dienstleistungen des Werkzeugbaus umfassen. Die Kunden des Werkzeugbaus können aus diesen Leistungsangeboten wählen. Der hier beschriebene Ansatz ist demnach in hohem Maße kunden- und leistungsfokussiert. Für den Werkzeugbau als Organisation werden ein passender Auftragsabwicklungsprozess oder beispielsweise die Aufgaben des Sustainability Managers abgeleitet.

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass der Ansatz von SCHWEINS grundsätzlich geeignet ist, die Nachhaltigkeit im Bereich des Werkzeugbaus zu steigern. Allerdings ist dessen Anwendbarkeit auf ein einzelnes Produkt oder eine einzelne Dienstleistung beschränkt und nicht für die Bewertung eines gesamten Unternehmens vorgesehen (vgl. Abbildung 3.17). In diesem Kontext werden „Kernprodukt“, „Produktsystem“, „Sortiment“, „Integration von Leistungen“, „integriertes Projektmanagement“, „innovative Zusammenarbeit“ sowie „emotionale Profil und Kundenerlebnis“ zu Leistungsbaukästen entwickelt, die in Kombination die Bedürfnisse des Kunden adressieren. Die Intention der Arbeit ist es nicht, eine Steuerung des Werkzeugbaus im Hinblick auf eine ganzheitliche Nachhaltigkeit zu bewirken. Des Weiteren erfolgt die

Evaluation anhand von Kennzahlen mit der Intention der Einordnung in Reifestufen, wodurch der Einsatz im Rahmen der Unternehmenssteuerung nur eingeschränkt möglich ist. Nichtsdestotrotz können spezifische Elemente des Modells teilweise übertragen werden, wie etwa die Stakeholder-Analyse, wenngleich mit einem geringeren Fokus auf den Kunden.

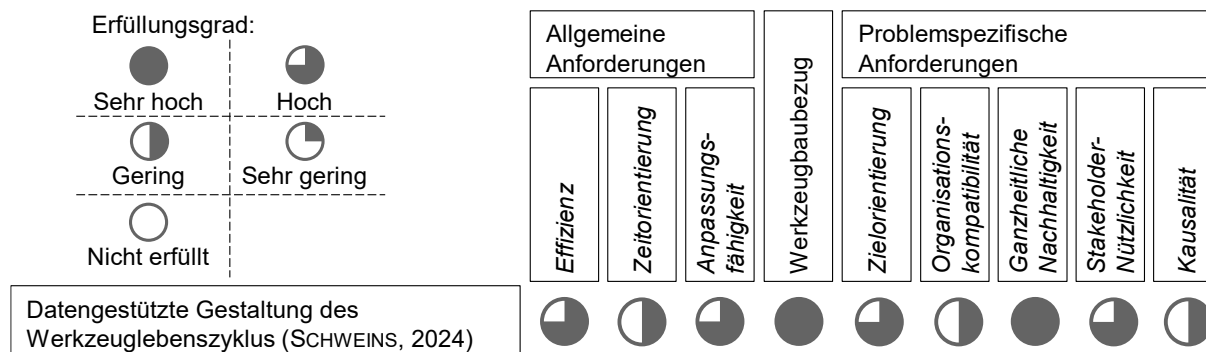


Abbildung 3.17: Bewertung des Ansatzes zur datengestützten Gestaltung des nachhaltigen Werkzeuglebenszyklus nach SCHWEINS²⁸⁴

3.3.3.2 Sustainable manufacturing performance evaluation: integrating product and process metrics for system level assessment (HUANG UND BADURDEEN, 2017)

Die Arbeit von HUANG UND BADURDEEN verfolgt das Ziel, einen Ansatz für eine nachhaltige Bewertung von Fertigungsprozessen auf Systemebene zu entwickeln. Zu diesem Zweck werden zwei bereits bestehende Indizes – der Product Sustainability Index (ProdSI) und der Process Sustainability Index (ProcSI) herangezogen. Der entwickelte Ansatz findet Anwendung bei der Erstellung eines umfassenden Sets an Kennzahlen für die Unternehmensebene. Für die relevanten Kennzahlen werden das 6R-Konzept, die Triple Bottom Line (TBL) und der gesamte Lebenszyklus herangezogen. Die so gewonnenen Kennzahlen werden schließlich so miteinander kombiniert, dass ein Index für die Bewertung der Nachhaltigkeit auf Unternehmensebene entwickelt wird.²⁸⁵

Das Modell „Haus zur Messung der nachhaltigen Fertigungsleistung“ (vgl. Abbildung 3.18) fokussiert sich auf die Entwicklung nachhaltiger Produkte und Prozesse und unterscheidet sich damit von den meisten früheren Forschungsarbeiten, die sich überwiegend auf die Herstellung, Fertigung und Nutzung des Produktes fokussieren. Der hier beschriebene Ansatz berücksichtigt auf Produktebene den gesamten Lebenszyklus, von vorgelagerten Lieferanten bis zu nachgelagerten Kunden. Die Anwendung des 6R-Konzeptes (Reduzieren, Wiederverwenden, Recyceln, Wiederaufarbeiten, Neugestalten und Zurückgewinnen) ist dabei von entscheidender Bedeutung. Die Implementierung einer nachhaltigen Produktion auf Prozessebene führt zu einer effizienteren Nutzung von Ressourcen, einer Reduktion von Emissionen sowie einer allgemeinen Steigerung von Gesundheit und Sicherheit. Das Haus zur Messung der

²⁸⁴ Eigene Darstellung

²⁸⁵ Vgl. Huang et al. (Sustainable Manufacturing Performance Evaluation): 2017, S. 563.

nachhaltigen Fertigungsleistung schlägt daher einen umfassenden Rahmen für die Entwicklung von Kennzahlen auf Systemebene vor, der Design und Verbesserungen über Produkt-, Prozess- und Systemebene hinweg integriert. Das Fundament des Modells bildet die nachhaltige Fertigung, auf der die Triple Bottom Line, der gesamte Lebenszyklus und das 6R-Konzept als stützende Säulen aufbauen. Der Rahmen für die Leistungsmessung befindet sich oberhalb dieser Säulen und bietet einen einheitlichen Lösungsansatz zur gezielten Erhebung, Analyse, Verwendung und Darstellung der Nachhaltigkeitsleistung. Als Nächstes folgen die Prozess- und Produktkennzahlen. Die Säule der Produktkennzahlen basiert auf dem Produkt-Nachhaltigkeitsindex (ProdSI), während der Prozessnachhaltigkeitsindex (ProcSI) in der Säule der Prozesskennzahlen Berücksichtigung findet. Die Stakeholder, die im Zentrum des Hauses verortet sind, sollen ebenfalls bei der Entwicklung von Nachhaltigkeitskennzahlen Berücksichtigung finden. Die Systemkennzahlen bilden das Dach des Hauses und werden auf vier Ebenen festgelegt: Linienebene, Werksebene, Unternehmensebene und Lieferkettenebene. Der Fokus des Ansatzes von HUANG UND BADURDEEN liegt auf der Entwicklung von Nachhaltigkeitskennzahlen auf Unternehmensebene.

Für die Kennzahlen der nachhaltigen Produktion in Unternehmen wird seitens der Autoren eine fünfstufige Hierarchie-Struktur vorgeschlagen. Diese setzt sich aus Kennzahlen, Sub-Clustern, Clustern, Sub-Indizes und dem Index zusammen. Die Kennzahlen werden sukzessive auf Sub-Cluster und Cluster-Ebene zusammengefasst, um Teilindizes für die wirtschaftlichen, ökologischen und gesellschaftlichen Aspekte zu entwickeln. Für die Berechnung des Enterprise Sustainability Index (EnSI) werden die Teilindizes kombiniert. Einige Cluster werden direkt oder nur mit wenigen Änderungen aus dem ProdSI oder ProcSI in den EnSI aufgenommen, da einige Aspekte der Produkt- und Prozessleistung integriert werden müssen, um die Leistung auf Systemebene zu bewerten. Für den EnSI wurden die Phasen vor der Herstellung, Herstellung, Nutzung und nach der Nutzung berücksichtigt. Die erfassten Daten werden auf einer Skala von 0 bis 10 gewichtet, wobei 10 den theoretisch perfekten Fall und 0 den schlimmstmöglichen Fall, der für Unternehmen als unerträglich gilt, repräsentiert. Das Bewertungsverfahren kann sowohl objektiv als auch subjektiv durchgeführt werden. Bei der objektiven Bewertungsmethode wird entweder die Regulierung oder das rein beste/ schlimmste Szenario berücksichtigt. Die subjektive Bewertungsmethode findet Anwendung, wenn eine quantitative Messung nur schwer oder gar nicht möglich ist. In diesem Fall werden die Punkte durch subjektive Erhebungen verteilt, wie die Meinung von Kunden, Mitarbeitenden, akademischen Forschern, Industrieexperten oder Organisationen. Die Gewichtung erfolgt entweder über das Verfahren der gleichen Gewichtung, subjektive Gewichtung oder Gewichtung durch analytische Ansätze. Das Endergebnis wird durch das Vorgehen bei ProdSI und ProcSI bestimmt, wobei der einzige Unterschied in der Art der Berechnung des Teilindex Wirtschaft besteht.

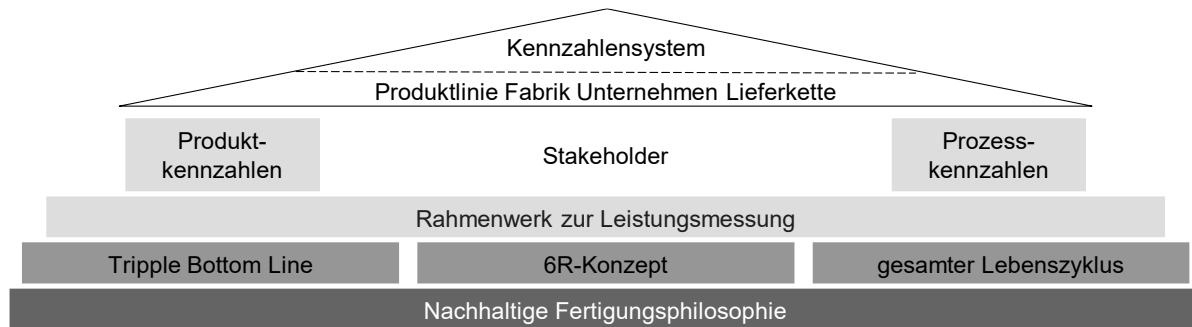


Abbildung 3.18: Aufbau der Bewertung der nachhaltigen Produktionsleistung i. A. a. HUANG UND BADURDEEN²⁸⁶

Die Effizienz des Ansatzes kann als sehr gut bewertet werden, da dieser gut verständlich dargestellt ist und auch ohne Fachkenntnisse nachvollziehbar ist. Die Zielorientierung wird als gering eingestuft, da zwar alle Phasen des Produktlebenszyklus in den Kennzahlen berücksichtigt werden, jedoch keine Prognosen über die Zukunft getroffen werden. Das Modell ist nicht dafür ausgelegt, angepasst zu werden, da Komponenten nur mit hohem Aufwand entfernt oder ergänzt werden können. Ein Werkzeugbaubezug ist nicht gegeben, jedoch werden die Eigenheiten des produzierenden Gewerbes unabhängig von der Stückzahl berücksichtigt. Die Zielorientierung ist gering, ein Werkzeugbaubezug ist nicht gegeben, jedoch wird das Ziel von nachhaltigen Fertigungsprozessen berücksichtigt. Die Organisationskompatibilität wird als hoch bewertet, da die Linienebene, die Werksebene, die Unternehmensebene sowie die Lieferkettenebene berücksichtigt werden. Die Betrachtung der Nachhaltigkeit erfolgt umfassend, wobei alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit einbezogen werden. Die Stakeholder-Nützlichkeit ist gegeben, da die Anforderungen der Stakeholder betrachtet und einbezogen werden. Die Darstellung der Kausalitäten ist jedoch eingeschränkt, da lediglich einzelne Messgrößen und übergeordnete Zusammenhänge dargestellt werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Ansatz für Unternehmen des produzierenden Gewerbes geeignet ist und einen ganzheitlichen Ansatz bietet (vgl. Abbildung 3.19). Es besteht jedoch ein Defizit hinsichtlich des Bezugs zum Werkzeugbau und hinsichtlich der Anpassungsfähigkeit sowie der Ziel- und Zeitorientierung besteht Optimierungspotenzial.

²⁸⁶ Vgl. Huang et al. (Sustainable Manufacturing Performance Evaluation): 2017, S. 566.

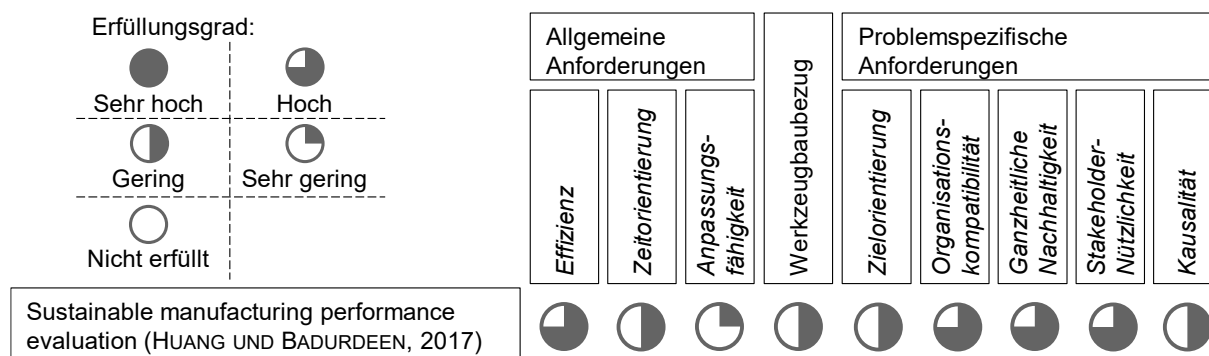


Abbildung 3.19: Bewertung des Ansatzes zur Bewertung der nachhaltigen Produktionsleistung nach HUANG UND BADURDEEN²⁸⁷

3.3.4 Prozessbezogene Nachhaltigkeitsmessung

Die prozessbezogene Nachhaltigkeitsmessung widmet sich der Analyse der Nachhaltigkeitsleistung innerhalb spezifischer Geschäftsprozesse oder -abläufe eines Unternehmens. Der Fokus dieser Ansätze liegt auf der Berücksichtigung der Umweltauswirkungen und sozialen Aspekte eines bestimmten Prozesses mit dem Ziel, Optimierungen in diesem Bereich zu erzielen. Die prozessbezogene Nachhaltigkeitsmessung kann dabei als Komponente der unternehmens- oder systembezogenen Nachhaltigkeitsmessung zum Einsatz kommen, um gezielt auf spezifische Prozessebenen Einfluss zu nehmen.

3.3.4.1 Sustainability assessment for Manufacturing operations (SAXENA ET AL., 2020)

Der Ansatz von SAXENA ET AL. widmet sich der Bewertung der Nachhaltigkeit von Produktionsprozessen und präsentiert ein Rahmenwerk, das neben den traditionellen Kriterien wie Zeit, Kosten und Qualität auch die drei Ebenen der Nachhaltigkeit berücksichtigt²⁸⁸.

Das Rahmenwerk zur Bewertung von Produktionsprozessen (vgl. Abbildung 3.20) ist in zwei Phasen unterteilt. In der ersten Phase erfolgt eine grobe Bewertung und Priorisierung der Produktionsrouten, während in der zweiten Phase eine detaillierte Analyse der am besten bewerteten Prozesse aus Phase eins erfolgt. In Phase eins werden vier Module eingesetzt: Designanforderungen und Spezifikationen, Marktprognosen, Herstellungsprozesse und Nachhaltigkeitsbewertung. Im Modul Designanforderungen und Spezifikationen werden zunächst alle relevanten Daten des Produkts erfasst. Dazu zählen Fertigungszeiten, Rüst- und Umrüstzeiten, Maschinenauslastung, Produktionsvolumen sowie geometrische Merkmale aus CAD-Dateien wie Formen, Abmessungen und spezifische Toleranzen. Diese Daten bilden die Grundlage für die Prozessplanung. Das Modul „Marktprognosen“ analysiert die potenzielle Nachfrage über den Produktlebenszyklus hinweg, was relevant ist, da unterschiedliche Nachfrageszenarien Einfluss auf die Auswahl der Produktionsprozesse haben. Ein Beispiel ist die Erstellung eines

²⁸⁷ Eigene Darstellung

²⁸⁸ Vgl. Saxena et al. (Sustainability Assessment for Manufacturing Operations): 2020, S. 1–2.

Nachfragemodells, das Schwankungen und Spitzen in der Nachfrage abbildet. Im Modul „Herstellungsprozesse“ werden verschiedene Produktionsrouten grob abgeschätzt und bewertet. In diesem Zusammenhang werden zentrale Fertigungsattribute wie Kosten, Zeit und Qualität analysiert. Ziel dieses Vorgehens ist die Identifikation vielversprechender Produktionsprozesse, die in Folge detaillierter untersucht werden. Das Modul „Nachhaltigkeitsbewertung“ ergänzt diese Analyse, indem es Nachhaltigkeitskennzahlen aus den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit heranzieht. Diese Kennzahlen werden in positive und negative Kategorien eingeteilt: Positive Kennzahlen, wie etwa Energieeffizienz oder Materialnutzung, zeigen eine bessere Leistung bei höheren Werten, während bei negativen Kennzahlen, wie etwa Abfallmengen oder CO₂e-Emissionen, niedrigere Werte vorteilhaft sind. Zur Visualisierung der verschiedenen Produktionsrouten können Netzdiagramme eingesetzt werden. Die in dieser Phase identifizierten optimalen Produktionsrouten werden anschließend für eine detaillierte Analyse in Phase zwei ausgewählt. In der zweiten Phase erfolgt eine tiefergehende Analyse der priorisierten Produktionsrouten mittels einer multikriteriellen Entscheidungsanalyse, hier insbesondere der TOPSIS-Methode (engl. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution). Zunächst werden die Alternativen quantitativ bewertet, indem für jede Kennzahl der tatsächliche Wert bestimmt wird, wie Energieverbrauch, Produktionskosten oder Abfall. Die so ermittelten Werte werden anschließend normiert, um eine bessere Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Die TOPSIS-Methode dient der Berechnung des Abstandes jeder Produktionsroute zur idealen Lösung (höchste Werte für positive und niedrigste Werte für negative Kriterien) sowie zur schlechtesten Lösung. Der Prozess, der am nächsten zur idealen Lösung liegt, wird als optimal bewertet. Dabei können Gewichtungen eingesetzt werden, um spezifischen Nachhaltigkeitsaspekten wie beispielsweise Umweltfreundlichkeit oder Kosten mehr Bedeutung zu verleihen.

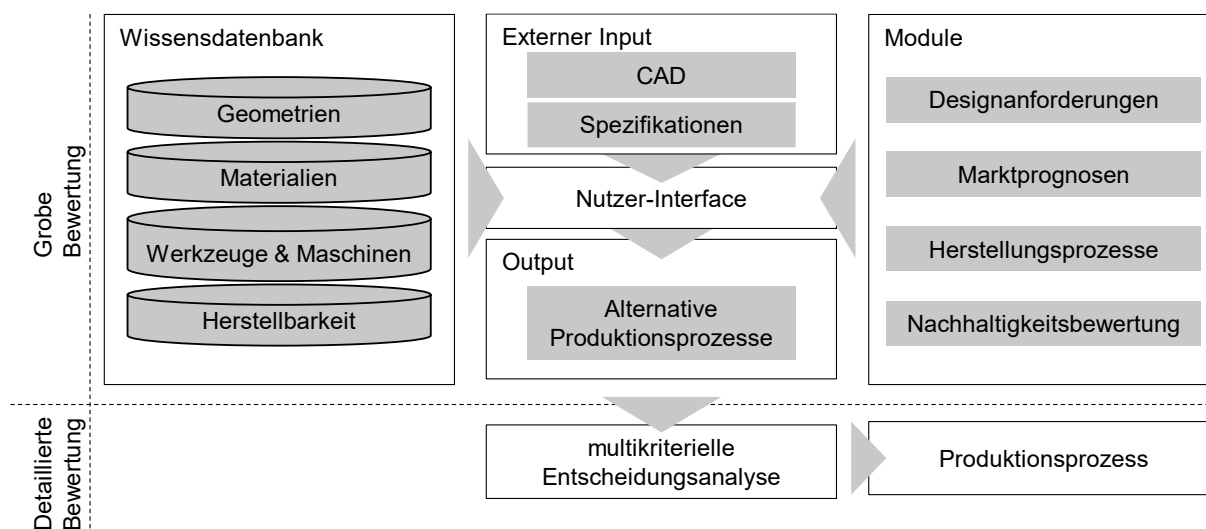


Abbildung 3.20: Aufbau der Nachhaltigkeitsbewertung für Produktionsbetriebe i. A. a. SAXENA ET AL.²⁸⁹

²⁸⁹ Vgl. Saxena et al. (Sustainability Assessment for Manufacturing Operations): 2020, S. 7.

Der vorgestellte Ansatz fungiert als Rahmenwerk zur Bewertung von Produktionsprozessen sowie zur Entscheidungsfindung hinsichtlich der Fertigungsabläufe. Es ist festzustellen, dass die Effizienz als gut zu bewerten ist. Die Gegenüberstellung der Produktionsprozesse erfolgt anhand von Balkendiagrammen, was eine effektive Visualisierung der Ergebnisse ermöglicht. Des Weiteren ist der Ansatz durch eine starke Zeitorientierung gekennzeichnet. Das Ziel besteht in der Bewertung zukünftiger Produktionsprozesse. In die Bewertung fließen zukunftsorientierte Kennzahlen, wie beispielsweise solche zur Marktentwicklung, ein. Die Anpassungsfähigkeit des Ansatzes ist als sehr gering zu bewerten, da das Rahmenwerk die Entfernung von einzelnen Komponenten nur mit großem Aufwand zulässt. Der Vergleich von Produktionsprozessen ist die einzige Anwendungsmöglichkeit. Ein spezifischer Bezug zum Werkzeugbau ist nicht gegeben, da das produzierende Gewerbe unabhängig von der Stückzahl berücksichtigt wird. Die Zielorientierung ist dabei insgesamt sehr gering. Für einzelne, für den Werkzeugbau relevante, Bereiche wird eine Nachhaltigkeitsmessung durchgeführt, allerdings nicht im gesamten Unternehmenskontext. Die Organisationskompatibilität ist demnach als sehr gering einzustufen, da lediglich einzelne Produktionsprozesse bewertet werden, nicht jedoch das gesamte Unternehmen. Die Nachhaltigkeitsbetrachtung ist hingegen umfassend, da alle drei Nachhaltigkeitsdimensionen berücksichtigt werden. Allerdings ist die Stakeholder-Nützlichkeit nicht gegeben, da keine Anspruchsgruppen definiert werden. Die Abbildung von Kausalität erfolgt lediglich partiell, da lediglich einzelne Messgrößen sowie übergeordnete Zusammenhänge dargestellt werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Ansatz nach SAXENA ET AL. eine geeignete Grundlage für die Entscheidungsfindung in Bezug auf Produktionsprozesse unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien bietet, wenngleich eine Anwendung auf ein gesamtes Unternehmen nicht möglich ist. Der Ansatz lässt sich dennoch teilweise auf den Werkzeugbau übertragen, da im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung auch Produktionsprozesse analysiert werden. Insbesondere die Bewertung der Produktion kleiner Stückzahlen, wie sie im Werkzeugbau üblich ist, kann hierbei berücksichtigt werden.

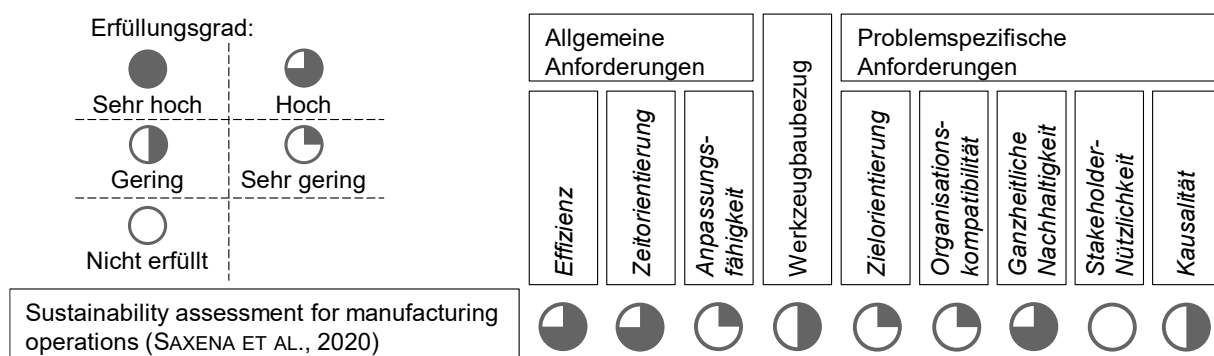


Abbildung 3.21: Bewertung der Nachhaltigkeitsbewertung für Produktionsbetriebe nach SAXENA ET AL.²⁹⁰

²⁹⁰ Eigene Darstellung

3.3.4.2 A general framework for sustainability assessment of manufacturing process (SAAD ET AL., 2019)

Der vorliegende Ansatz von SAAD ET AL. befasst sich mit der Thematik der Nachhaltigkeit im produzierenden Gewerbe und adressiert das Defizit früherer Arbeiten, in denen häufig nicht alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit gleichwertig erfasst wurden. Das Ziel des Ansatzes besteht in der Entwicklung eines umfassenden Bewertungsrahmens, der eine systematische und integrative Analyse aller Dimensionen der Nachhaltigkeit ermöglicht. Dadurch soll eine fundierte Entscheidungsgrundlage für die Wahl des nachhaltigsten Produktionsprozesses geschaffen werden.²⁹¹

Das Modell nach SAAD ET AL. wird in Abbildung 3.22 dargestellt. Zur Erreichung dieses Ziels wird zunächst ein Satz von Zielfaktoren definiert, die eine umfassende Abdeckung der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit gewährleisten. Diese Zielfaktoren dienen als Grundlage für die Entwicklung spezifischer Kennzahlen. Gemäß den von TAN²⁹² formulierten Kriterien ist dabei die Relevanz, Verständlichkeit, Messbarkeit, Verlässlichkeit, Langfristigkeit und Zeitnähe der Zielfaktoren zu gewährleisten. Im nächsten Schritt erfolgt die Gewichtung der entwickelten Kennzahlen. Bei der Anwendung von subjektiven Methoden wie der Expertenbewertungen und objektiven Verfahren wie das analytische Hierarchieverfahren ist darauf zu achten, dass die Ergebnisse eine angemessene Gewichtung der einzelnen Faktoren gewährleisten. Die Gewichtung ermöglicht die Berücksichtigung unterschiedlicher Prioritäten oder Perspektiven bei der Bewertung. Die Erfassung der Kennzahlen erfolgt durch geeignete Datenerhebungsmethoden, wie Messungen oder Umfragen. Aufgrund der Heterogenität der Kennzahlen, die entweder dimensionslos oder in unterschiedlichen physikalischen Einheiten vorliegen können, wird eine Normalisierung durchgeführt, um die Werte vergleichbar zu machen. Ein wesentlicher Bestandteil des Bewertungsmodells ist die Anwendung der multikriteriellen Entscheidungsfindung (MCDM), einer Methode zur Aggregation der normierten Kennzahlen. Diese erlaubt die umfassende Bewertung eines Produktionsprozesses, indem die verschiedenen Nachhaltigkeitsaspekte zu einem Gesamtwert zusammengeführt werden. Im Anschluss wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, die die Robustheit und Validität der Ergebnisse sicherstellt. Die Analyse prüft, wie empfindlich die Ergebnisse des Bewertungsmodells auf Änderungen in den Gewichtungen oder Werten einzelner Kennzahlen reagieren. Tritt diesbezüglich ein signifikanter Einfluss auf das Endergebnis zutage, müssen die entsprechenden Kennzahlen präziser definiert oder ihre Gewichtungen modifiziert werden, wodurch die Zuverlässigkeit und Aussagekraft des Modells weiter gestärkt werden. Der hier beschriebene Ansatz ermöglicht eine umfassende Beurteilung von Produktionsprozessen hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit und unterstützt Entscheidungsprozesse im produzierenden Gewerbe.

²⁹¹ Vgl. Saad et al. (A general framework for sustainability assessment): 2019, S. 211–213.

²⁹² Vgl. Tan et al. (A sustainability indicator framework): 2015, S. 134.

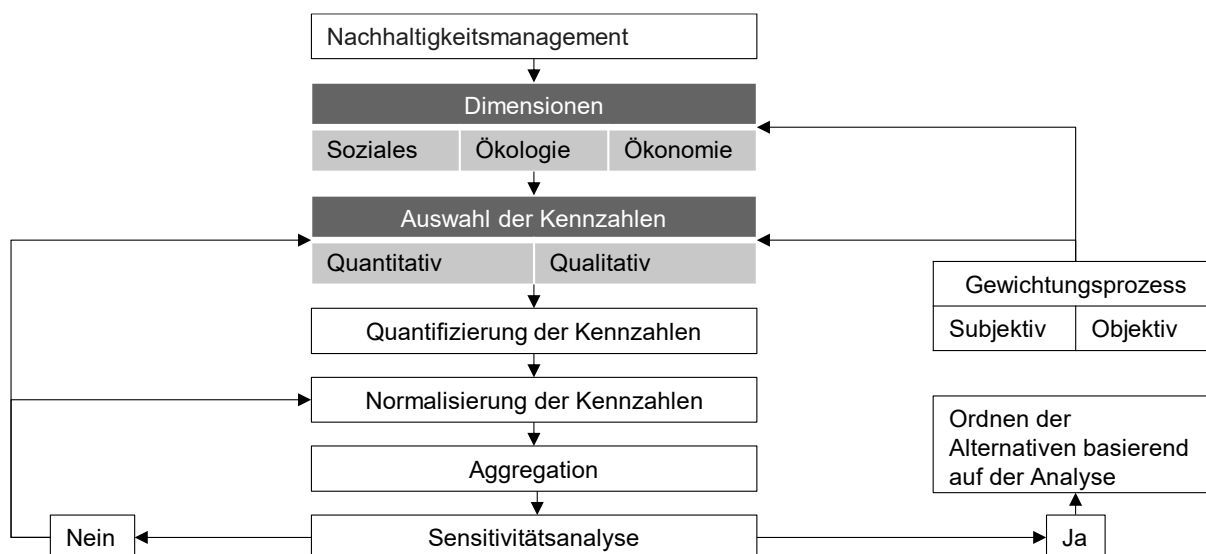


Abbildung 3.22: Der allgemeine Rahmen für die Nachhaltigkeitsbewertung von Herstellungsprozessen i. A. a. SAAD ET AL.²⁹³

Der Ansatz von SAAD ET AL. offeriert eine schematische Darstellung des Ablaufs zur Messung von Nachhaltigkeit, jedoch weder eine visuelle Präsentation noch eine ausführliche Beschreibung in Textform. Die mathematischen Zusammenhänge im Hinblick auf die Gewichtung und Aggregation der Kennzahlen werden nachvollziehbar erläutert, wobei anzumerken ist, dass die Kennzahlen auf aktuellen Daten basieren, sodass eine Abbildung der Gegenwart erfolgt. Der Ansatz besitzt eine geringe Anpassungsfähigkeit, da eine Befolgung der jeweiligen Schritte in entsprechender Reihenfolge notwendig ist. Ein spezifischer Bezug zum Werkzeugbau ist nicht gegeben, es wird das produzierende Gewerbe beziehungsweise ein einzelner Produktionsprozess berücksichtigt. Aufgrund des fehlenden Werkzeugbaubezugs werden nur einzelne für den Werkzeugbau relevante Aspekte berücksichtigt, ohne dass jedoch eine Verknüpfung mit der Messung der Nachhaltigkeit stattfindet. Die Unternehmensstruktur findet innerhalb des Ansatzes keine Berücksichtigung, es werden ausschließlich Produktionsprozesse bewertet. Die ausgewählten Kennzahlen decken alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit ab, wobei deren Einfluss durch eine ungeeignete Auswahl der Kennzahlen unterschiedlich stark ausfallen kann. Die Einbindung der Stakeholder ist nicht vorhanden, da keine Anspruchsgruppen definiert werden. Die Messgrößen werden normiert und aggregiert, wodurch die Vergleichbarkeit untereinander ermöglicht wird.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das Modell zwar grundsätzlich zur Messung von Nachhaltigkeit geeignet ist, jedoch keinen spezifischen Bezug zum Werkzeugbau aufweist (vgl. Abbildung 3.23). Die Ansätze zur Gewichtung sowie zur Normalisierung und Aggregation könnten jedoch auf ein werkzeugbauspezifisches Modell übertragen werden.

²⁹³ Vgl. Saad et al. (A general framework for sustainability assessment): 2019, S. 214.

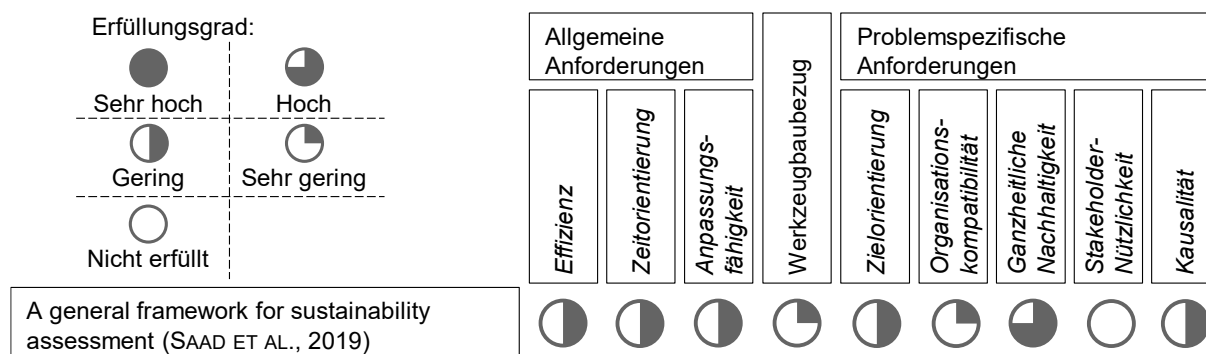


Abbildung 3.23: Bewertung der Nachhaltigkeitsbewertung von Herstellungsprozessen nach SAAD ET AL.²⁹⁴

3.3.4.3 Sustainability assessment of mechanical manufacturing systems in the industrial sector (CAI ET AL., 2021)

Das Ziel der Arbeit von CAI ET AL. besteht in der Entwicklung eines Konzepts, welches die Nachhaltigkeit von mechanischen Fertigungssystemen in Bezug auf Nachhaltigkeit bewertet. Ein wesentlicher Aspekt ist dabei die Demonstration der vorteilhaften Beziehung zwischen einer Reduzierung des Kostenbedarfs und einer gleichzeitigen Steigerung der Umweltverträglichkeit. Ein weiteres Ziel besteht in der kontinuierlichen Förderung der nachhaltigen Entwicklung im produzierenden Gewerbe. Der Ansatz ist auf eine komplette Fertigung beziehungsweise Fertigungswerkstatt oder Produktionslinie anwendbar, aber auch auf eine einzelne Maschine.²⁹⁵

Das Modell nach CAI ET AL. ist in Abbildung 3.24 dargestellt. Die Bewertung erfolgt mittels des sogenannten Gate-to-Gate-Ansatzes, bei dem alle Ein- und Ausgänge innerhalb der Systemgrenzen berücksichtigt werden. Zu den Eingängen zählen beispielsweise Energie und Materialien. Die Ausgänge umfassen das Endprodukt sowie entstandene Abfälle oder Emissionen. Der Bewertungszyklus orientiert sich an den Produktionszyklen und liegt in der Regel zwischen einem Monat und einem Jahr. Für die Analyse wird ein Rahmen mit Nachhaltigkeitskennzahlen vorgestellt, der in drei Kategorien unterteilt wird: Energie, Wirtschaft und Umwelt. Zusätzlich gibt es eine integrierte Kennzahl, die alle Kategorien umfasst. Die spezifischen Kennzahlen können je nach Unternehmen, Produktionslinie oder Maschine variieren und sind vor der Anwendung des Modells zu erheben. Die Erhebung der Energiekennzahlen umfasst den Energieverbrauch pro Produktionseinheit, den Energieverbrauch der Werkstattumgebung, den Gesamtenergieverbrauch der Produktion sowie den Gesamtenergieverbrauch. Die Datenerhebung kann mithilfe von Energiemanagementsystemen erfolgen. Die Erhebung der wirtschaftlichen Kennzahlen umfasst die Herstellungskosten eines Produkts, die Kosten der Werkstatinfrastruktur, die Gesamtkosten der Produktionslinie sowie die umfassenden Herstellungskosten während des Produktionszyklus, einschließlich der Personalkosten. Umweltkennzahlen

²⁹⁴ Eigene Darstellung

²⁹⁵ Vgl. Cai et al. (Sustainability assessment of mechanical manufacturing systems): 2021, S. 1–5.

stellen einen wesentlichen Aspekt der Bewertung von Produktionssystemen dar. Sie umfassen die Emissionen von Schneidmitteln, Abfällen und CO₂ und werden in Abhängigkeit von den spezifischen Anforderungen des jeweiligen Unternehmens und der gewählten Systemgrenzen ermittelt. Nach ihrer Erhebung werden die Kennzahlen der Kategorien Energie, Wirtschaft und Umwelt aggregiert, um eine aussagekräftige Gesamtbewertungsgröße zu erhalten. Die Aggregation der Werte erfolgt unter Berücksichtigung von Vorfaktoren, deren Gewichtung jedoch in hohem Maße von den Kompetenzen der Entscheidungsträger abhängt. Die Bewertung mehrerer Produktionslinien erfolgt mittels einer einzigen Kennzahl. Die so ermittelten Bewertungsgrößen stellen die Basis zur Ermittlung eines Benchmark-Werts dar, anhand dessen neue und bestehende Fertigungssysteme bewertet werden. Die Bewertung erfolgt auf einer Skala von A (beste Note) bis E (schlechteste Note). Das mittlere Notenniveau spiegelt das gegenwärtige Nachhaltigkeitsniveau des Systems wider. In der Folge können neue Fertigungssysteme unmittelbar mit bestehenden Systemen verglichen werden, was eine fundierte Entscheidungshilfe für nachhaltige Produktionsstrategien darstellt.

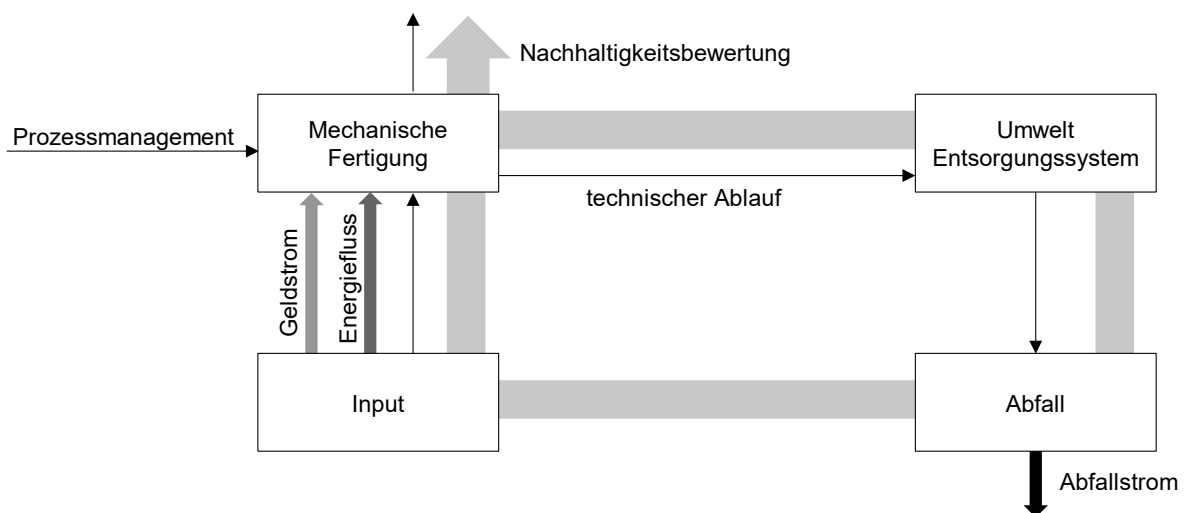


Abbildung 3.24: Nachhaltigkeitsbewertung mechanischer Fertigungssysteme im Industriesektor i. A. a. CAI ET AL.²⁹⁶

Der Ansatz von CAI ET AL. erweist sich als effizient im Verhältnis zum Aufwand, wobei die mathematischen Beziehungen als einfach zu erfassen und die Darstellung der Ergebnisse als übersichtlich zu bewerten sind. In der Regel fokussiert sich die Untersuchung auf einen Produktionszyklus oder die Herstellung eines einzelnen Produkts, wobei die entsprechenden Kennzahlen auf die Gegenwart bezogen werden. Das System ist in gewissem Maße anpassungsfähig, jedoch auf den Produktionsbereich innerhalb eines Unternehmens beschränkt. Es können entweder ganze Produktionsstraßen oder einzelne Maschinen betrachtet werden, während andere Unternehmensstrukturen, wie etwa die Logistik, unberücksichtigt bleiben. Ein spezifischer Bezug zum Werkzeugbau fehlt, da das produzierende Gewerbe lediglich im Sinne

²⁹⁶ Vgl. Cai et al. (Sustainability assessment of mechanical manufacturing systems): 2021, S. 5.

der Massenfertigung berücksichtigt wird. Es werden einzelne relevante Aspekte für den nachhaltigen Werkzeugbau berücksichtigt, jedoch ist die Zielorientierung in diesem Kontext als gering zu bewerten. Die Organisationskompatibilität ist sehr begrenzt, da ausschließlich die Produktion innerhalb eines Unternehmens betrachtet wird. Da lediglich die Produktionsprozesse berücksichtigt werden, entfällt die soziale Dimension der Nachhaltigkeit. Dies führt zu einer geringen Bewertung der ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbetrachtung. Eine Stakeholder-Analyse wurde nicht durchgeführt und es wurden keine relevanten Anspruchsgruppen definiert. Die Kausalität ist als gut zu bewerten, da die Bewertungsgrößen als Basis zur Ermittlung eines Benchmark-Werts dienen und anhand dessen Fertigungssysteme bewertet werden.

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass der Ansatz eine valide Methode zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Produktionsstraßen oder Maschinen darstellt, wenngleich seine Übertragung auf die Bewertung eines gesamten Unternehmens nicht möglich ist (vgl. Abbildung 3.25). In Anbetracht der Tatsache, dass die mechanische Fertigung in vielen Werkzeugbaubetrieben einen signifikanten Faktor in Bezug auf Energie und Emissionen darstellt, ist der Ansatz eine wichtige Grundlage für die Bewertung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau.

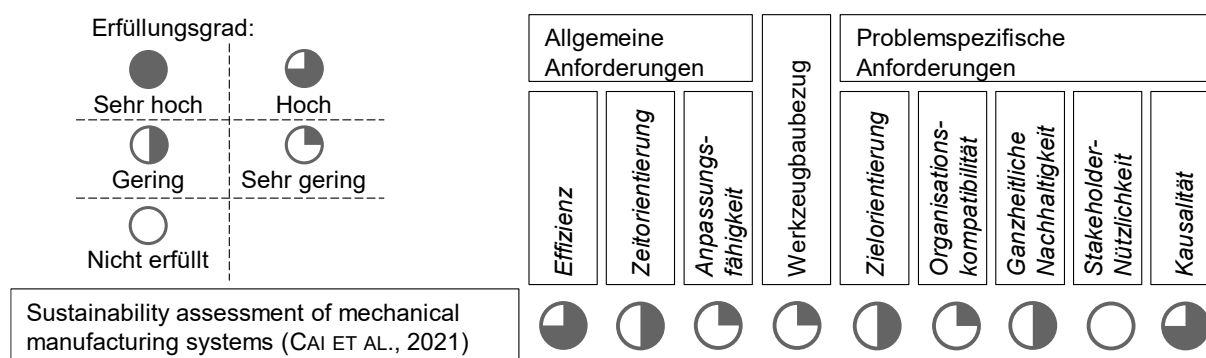


Abbildung 3.25: Bewertung des Ansatzes zur Nachhaltigkeitsbewertung mechanischer Fertigungssysteme im Industriesektor nach CAI ET AL.²⁹⁷

3.4 Aggregation der Bewertung

In Kapitel 3.3 wurden zehn relevante wissenschaftliche Ansätze zur Messung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau beschrieben und anhand der in Kapitel 3.2 ausgearbeiteten Anforderungen bewertet. Die aggregierten Bewertungen sind in Abbildung 3.26 dargestellt. Die bestehenden Defizite in Bezug auf die formulierten Anforderungen über alle betrachteten Ansätze hinweg werden somit deutlich und im Folgenden zusammengefasst.

²⁹⁷ Eigene Darstellung

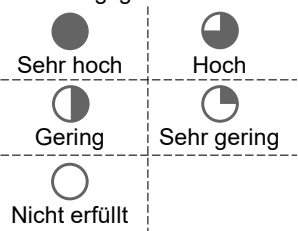
Erfüllungsgrad:		Allgemeine Anforderungen			Werkzeugbaubezug	Problemspezifische Anforderungen				
		Effizienz	Zeitorientierung	Anpassungs-fähigkeit		Zielorientierung	Organisations-kompatibilität	Ganzheitliche Nachhaltigkeit	Stakeholder-Nützlichkeit	Kausalität
Unternehmensbezogen	Sustainability assessment of mechanical manufacturing systems (CAI ET AL., 2021)									
	Integratives Kennzahlensystem für den Werkzeugbau (KOZIELSKI, 2010)									
	Industry 4.0-based dynamic social organizational (GARCIA-MUINA ET AL., 2021)									
	A holistic and rapid sustainability assessment (CHEN ET AL., 2014)									
	Development of green manufacturing (IJAZ ET AL., 2023)									
Systembez.	An index-based sustainability assessment framework (KALDAS ET AL., 2021)									
	Datengestützte Gestaltung des Werkzeuglebenszyklus (SCHWEINS, 2024)									
Prozessbezogen	Sustainable manufacturing performance evaluation (HUANG UND BADURDEEN, 2017)									
	Sustainability assessment for manufacturing operations (SAXENA ET AL., 2020)									
	A general framework for sustainability assessment (SAAD ET AL., 2019)									

Abbildung 3.26: Auswertung der Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung in der Industrie²⁹⁸

Im Rahmen der Untersuchung wurden verschiedene **allgemeine Anforderungen** berücksichtigt, darunter die Verhältnismäßigkeit von Aufwand und Nutzen, die Zeitorientierung sowie die Anpassungsfähigkeit. Unter den untersuchten Ansätzen weist lediglich der Ansatz von CHEN ET AL. eine sehr hohe Verhältnismäßigkeit von Aufwand und Nutzen auf. Dies ist auf die äußerst einfache Anwendbarkeit zurückzuführen, da ein fertiges Tool mit vorausgewählten Fragen vorgestellt wird. Hinsichtlich der Zeitorientierung weisen lediglich die Ansätze von IJAZ ET AL. und SAXENA ET AL. eine hohe Erfüllung der Anforderung auf. In diesen Ansätzen wird eine Marktprognose oder ein Zukunftsplan erstellt, aus der Kenngrößen abgeleitet werden, die als Indikatoren für zukünftige Entwicklungen betrachtet werden können. Die Anpassungsfähigkeit der Ansätze unterscheidet sich deutlich und hängt häufig davon ab, wie starr der vorgegebene

²⁹⁸ Eigene Darstellung

Rahmen des jeweiligen Modells ist. Ein zentraler Aspekt ist dabei die Flexibilität des Austausches von Kennzahlen oder Bewertungsschemata. Keiner der Ansätze erfüllt sämtliche allgemeine Anforderungen vollständig.

Die Analyse der **werkzeugbauspezifischen Anforderungen** ergibt, dass lediglich die Ansätze von SCHWEINS und KOZIELSKI diese vollständig erfüllen. Beide Ansätze fokussieren explizit auf die Werkzeugbaubranche, während die anderen Ansätze sich nur teilweise auf den Werkzeugbau übertragen lassen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sie das produzierende Gewerbe unabhängig von der Stückzahl betrachten.

Hinsichtlich der **problemspezifischen Anforderungen** zeigen lediglich die Modelle von SCHWEINS und IJAZ ET AL. eine hohe Zielorientierung. Diese Ansätze zeichnen sich durch klare Zielvorgaben und Zielbilder für einen nachhaltigen Werkzeugbau aus. Die Organisationskompatibilität wird in drei Ansätzen als hoch bewertet, jedoch berücksichtigt keiner von ihnen die gesamte Unternehmenshierarchie mit allen werkzeugbautypischen Abteilungen. Hinsichtlich einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbetrachtung ist festzustellen, dass zwar häufig alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit einbezogen werden, jedoch die Wechselwirkungen zwischen diesen Dimensionen nur unzureichend berücksichtigt werden. Darüber hinaus benennen vier von zehn Ansätzen keine relevanten Stakeholder und berücksichtigen folglich auch nicht deren Anforderungen. Ebenso werden Kausalitäten häufig vernachlässigt und nur wenige Ansätze setzen Messgrößen in Beziehung zueinander. Die Analyse ergibt, dass die untersuchten Ansätze die problemspezifischen Anforderungen nicht vollständig erfüllen.

3.5 Handlungsbedarf aus der Theorie

„Der beste Zeitpunkt für die genaue Erfassung, den Austausch und die Reduzierung von [...] Emissionen war gestern. Der zweitbeste Zeitpunkt ist jetzt.“²⁹⁹

Pathfinder Framework, 2023

Die aktuellen Herausforderungen der Branche Werkzeugbau, insbesondere in Bezug auf die steigenden Nachhaltigkeitsanforderungen (vgl. Kapitel 2.1.7) und die Ausführung des konkreten Handlungsbedarfs der Branche (vgl. Kapitel 2.4), zeigen den dringenden Bedarf für einen Ansatz zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau. Dieser Bedarf soll durch das Gestaltungsmodell eines Kennzahlensystems zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau befriedigt werden. Ein solches Modell muss die in Kapitel 3.2 ausgearbeiteten allgemeinen, werkzeugbau- und problemspezifischen Anforderungen erfüllen.

Die Analyse der bestehenden Ansätze in Kapitel 3.3 zeigt, dass bisher kein Ansatz der Theorie die definierten Anforderungen vollumfänglich erfüllt. Zusammenfassend sind folgende Defizite

²⁹⁹ Übers. d. Verf. Vgl. PACT (Pathfinder framework): 2023, S. 5.

der vorhandenen Ansätze zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau festgestellt worden:

- Es wurde kein Ansatz zur Nachhaltigkeitsmessung im Werkzeugbau identifiziert, der eine explizite Ausrichtung auf die Unternehmensziele aufweist, indem diese Ziele über Erfolgsfaktoren in Kennzahlen übersetzt werden.
- Darüber hinaus wird die Wechselwirkung zwischen den Unternehmenskennzahlen, speziell über die drei Nachhaltigkeitsdimensionen hinweg, nicht abgebildet.
- Es fehlt ein Ansatz zur anforderungsgerechten Kommunikation des Kennzahlensystems an die Anspruchsgruppen des Werkzeugbaus.
- Die kausale Verknüpfung des Kennzahlensystems mit den Handlungsfeldern des nachhaltigen Werkzeugbaus ist in allen untersuchten Ansätzen nicht gegeben.

Ausgehend von dieser Bewertung besteht **Handlungsbedarf aus der Theorie**.

3.6 Detaillierung der Forschungsfrage

Die in Kapitel 1.3 definierte Zielsetzung dieser Arbeit bildet die Grundlage für den Forschungsbedarf. Dieser wird durch den Handlungsbedarf aus der Praxis (vgl. Kapitel 2.4) und Theorie (vgl. Kapitel 3.5) zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau begründet. Der Forschungsbedarf drückt sich in der zentralen Forschungsfrage aus:

Wie muss ein Kennzahlensystem zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau ausgelegt sein?

Aus der zentralen Forschungsfrage lassen sich gemäß KUBICEK weitere Fragen ableiten, die bei der Beantwortung dieser helfen³⁰⁰. Für die erfolgreiche Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit ist die Anforderung der Zielorientierung von grundlegender Bedeutung, da ein klar definiertes Ziel für die Nachhaltigkeit Ableitung von Messgrößen ermöglicht. Daher muss die folgende Frage beantwortet werden:

1. Durch welche Erfolgsfaktoren lässt sich der ganzheitlich nachhaltige Werkzeugbau charakterisieren?

Die organisatorische Kompatibilität drückt sich in der Struktur des Kennzahlensystems aus. Um eine ganzheitliche Nachhaltigkeit zu gewährleisten, ist die Verfügbarkeit aller erforderlichen Daten der drei Nachhaltigkeitsdimensionen essenziell. Dies lässt sich wie folgt formulieren:

2. Wie kann ganzheitliche Nachhaltigkeit in Kennzahlen überführt werden und welche Anforderungen werden an die notwendigen Daten gestellt?

³⁰⁰ Vgl. Kubicek (Konstruktionsstrategie empirischer Forschung): 1976, S. 17–22.

Die Anforderung der Stakeholder-Nützlichkeit ist von entscheidender Bedeutung für die Entfaltung des vollen Potenzials, das durch die Steuerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau gehoben werden kann. Die Beantwortung der folgenden Frage ist essenziell, um den vollen Nutzen zu gewährleisten:

3. Wie kann das Kennzahlensystem anforderungsgerecht an relevante Anspruchsgruppen kommuniziert werden?

Abschließend muss der Kreis der Nachhaltigkeitsmessung zur Steuerung des Werkzeugbaus geschlossen werden. Dies wird durch die Anforderung der Kausalität sichergestellt und durch die Beantwortung der folgenden Frage gewährleistet:

4. Wie kann mit dem Kennzahlensystem der nachhaltige Werkzeugbau kontinuierlich gesteuert werden?

Im Rahmen der Erarbeitung des Gestaltungsmodells zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau ist es essenziell, die zentrale Forschungsfrage sowie deren Unterfragen zu beantworten. Dies gewährleistet, dass der detaillierte Forschungsbedarf in seiner Gesamtheit adressiert wird.

4 Konzeption des Gestaltungsmodells

Die durchgeführte Analyse hat gezeigt, dass keiner der bestehenden Ansätze die identifizierten Anforderungen an ein Nachhaltigkeitskennzahlensystem für den Werkzeugbau vollumfänglich erfüllt. Daher wird im Folgenden ein Gestaltungsmodell konzipiert, welches die identifizierten Anforderungen (vgl. Kapitel 3.2) erfüllt und die aufgestellten Forschungsfragen (vgl. Kapitel 3.6) beantwortet. Darüber hinaus adressiert dieses den aus der Theorie (vgl. Kapitel 3.5) und der Praxis (vgl. Kapitel 2.4) ableitbaren Handlungsbedarf.

Als notwendige Grundlage erfolgt zunächst eine kurze Erläuterung der **Systemwissenschaft** sowie der **Modellierung von Systemen**. Im Anschluss werden die **Grundmerkmale des Gestaltungsmodells** dargelegt. Im nächsten Schritt erfolgt die Konzeption des Gestaltungsmodells durch die **Definition der Gestaltungselemente**. Aus den Gestaltungselementen wird ein ganzheitliches Gestaltungsmodell zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau entwickelt. Abschließend erfolgt eine kritische Reflexion des konzeptionierten Gestaltungsmodells.

4.1 Grundlagen der Modellbildung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit erfolgt eine modellhafte Abbildung des Werkzeugbaubetriebs als Unternehmen. Die Abbildung von Unternehmen als Systeme erweist sich als besonders geeignet. Dies erlaubt insbesondere die Abbildung der interdisziplinären Kommunikation aller an Abläufen Beteiligten. Zudem wird eine ganzheitliche Betrachtung ermöglicht, welche die Vermeidung von „Insellösungen“ erlaubt und der zunehmenden Komplexität wirtschaftlicher Zusammenhänge gerecht wird.³⁰¹ Zur Lösung komplexer Fragestellungen haben sich die Beschreibung als System und die Modellierung von Systemen etabliert. Im Anschluss erfolgt eine Einführung in die Systemwissenschaft und Modellierung von Systemen.

4.1.1 Systemwissenschaft

In der wissenschaftlichen Literatur findet sich eine Vielzahl von Definitionen des Begriffs „**System**“. Diese spiegeln jeweils verschiedene Aspekte wider, die von der fachlichen Ausrichtung abhängig sind. Mithilfe der Methoden der Systemwissenschaft lassen sich reale oder gedachte Komplexe als Systemkonzepte abbilden. Dabei handelt es sich um komplexe Strukturen, die in ihrer Gesamtheit betrachtet werden müssen, da eine isolierte Betrachtung der einzelnen Komponenten keine praxisgerechte Beschreibung ermöglichen würde.³⁰² Der Systembegriff umfasst gemäß BRUNS die folgenden vier Bestandteile:

- *„Ein System besteht aus verschiedenen Elementen, die auch Komponenten, Teile, Bausteine usw. genannt werden.“*

³⁰¹ Vgl. Warnecke (Der Produktionsbetrieb 1): 1993, S. 1.

³⁰² Vgl. Bruns (Systemeigenschaften): 1991, S. 30–31.

- *Diese Elemente weisen Eigenschaften auf, die als diskrete Attribute, Funktionen oder Merkmale angegeben werden können.*
- *Zwischen den Elementen bestehen Beziehungen, die die funktionelle Verknüpfung der Elemente wiedergeben.*
- *Die Elemente mit ihren Eigenschaften und Beziehungen bilden eine abgegrenzte Anordnung.*³⁰³

In der Systemtheorie nach ROPOHL werden die charakterisierenden Elemente eines Systems in Funktion, Struktur und Hierarchie unterteilt. Das **strukturelle Systemkonzept** definiert ein System als einen Zusammenschluss von miteinander verknüpften Elementen. Es berücksichtigt die Beziehungen zwischen den Elementen. Das **funktionale Konzept** betrachtet das System als eine „Black Box“, bei der die Beobachtung von Ein- und Ausgangsgrößen sowie Zuständen charakteristisch ist. Dabei wird der innere Aufbau und die materielle Konkretisierung des Systems nicht berücksichtigt. Das **hierarchische Konzept** betont, dass die Teile eines Systems wiederum als eigene Systeme betrachtet werden können, während das System selbst als Teil eines größeren Systems angesehen werden kann.³⁰⁴

Nach PATZAK ist eine erschöpfende Erklärung von Phänomenen, die in **geschlossenen Systemen** auftreten, durch eine reine Ursache-Wirkungs-Relation nicht möglich. Jede Einheit stellt einen Teil eines übergeordneten Ganzen dar und darf daher nicht isoliert betrachtet werden. Die Eigenschaften einer Komponente einer Einheit ergeben sich wiederum aus den Wechselwirkungen ihrer Bestandteile. Dies ermöglicht die Erfassung der Wirkung eines Systems durch sein Verhalten im Rahmen eines Übersystems.³⁰⁵

Die Bezeichnung eines Systems als geschlossen erfolgt, wenn alle Verknüpfungen innerhalb der Systemgrenze liegen. Im Gegensatz dazu werden Systeme als offen bezeichnet, wenn die Elemente Beziehungen sowohl untereinander als auch mit der Umwelt aufweisen. Die Umwelt wird dabei als ein Element außerhalb der Systemgrenze betrachtet, das das System beeinflussen kann oder durch das System beeinflusst wird.³⁰⁶

Die Wahl eines **offenen Systems** zur Messung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau erscheint geeignet, da auf diese Weise sowohl die Wechselwirkungen zwischen den Subsystemen im Werkzeugbau als auch die Beziehungen der Elemente außerhalb der Systemgrenze des Werkzeugbaus adäquat berücksichtigt werden können.³⁰⁷

³⁰³ Vgl. Bruns (Systemeigenschaften): 1991, S. 31.

³⁰⁴ Vgl. Ropohl (Allgemeine Technologie): 2009, S. 75–77.

³⁰⁵ Vgl. Patzak (Systemtechnik): 1982, S. 6–7.

³⁰⁶ Vgl. Bruns (Systemeigenschaften): 1991, S. 33–34; Reinhard Haberfellner et al. (Systems Engineering): 2012, S. 29.

³⁰⁷ Vgl. Komorek (Wertschöpfung im Werkzeugbau): 2014, S. 97.

4.1.2 Modellierung von Systemen

Die **Modelltheorie** befasst sich mit der Erzeugung, Pflege und Interpretation von Modellen. Das Hauptziel von Modellen besteht in der vereinfachten Darstellung komplexer Realitätszusammenhänge, um grundlegende Erkenntnisse über diese Zusammenhänge und Prozesse zu gewinnen.³⁰⁸

Modelle bilden die Grundlage für die Systemdarstellung und erfordern die Festlegung des realen Systems, der Zielsetzung, der Nutzer sowie des Zeitraums der Nutzung. Nach STACHOWIAK weisen Modelle drei charakteristische Merkmale auf: Sie sind Abbildungen von natürlichen oder künstlichen Originalen, verkürzen die Attribute des Originals und verwenden eine problemspezifische Darstellung. Dies impliziert, dass Modelle nicht immer eindeutig dem Original zugeordnet werden können.³⁰⁹

In der wissenschaftlichen Literatur findet sich eine Vielzahl an **Klassifikationsansätzen für Modelle**³¹⁰. Ein etablierter Ansatz, der von PATZAK entwickelt wurde, unterteilt Modelle in Beschreibungsmodelle, Erklärungsmodelle, Gestaltungsmodelle und Entscheidungsmodelle. Diese Modellkategorien unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Zielsetzungen und beabsichtigten Anwendungen.³¹¹

Beschreibungsmodelle, auch als deskriptive oder Monitormodelle bekannt, zeigen „Was ist?“ und repräsentieren Zustände von Phänomensystemen. Sie erfassen diese in unterschiedlichen Detailstufen, bieten jedoch keine direkten Einblicke in Ursachen oder Bedingungen der dargestellten Zustände. Zudem erfordern sie weder deduktive noch induktive Schritte. Ihre Verwendung erfolgt häufig im Rahmen von Lehr- oder Demonstrationszwecken.³¹²

Erklärungsmodelle beantworten „Warum ist etwas so?“ und verwenden logisch-induktive Schritte. Sie stellen allgemeingültige Thesen auf, um das Auftreten von Zuständen in einem Phänomensystem zu erklären. Diese Modelle finden insbesondere in den Sozialwissenschaften Anwendung. Sie betonen das Verständnis und halten an Hypothesen fest, bis sie durch Falsifikation widerlegt werden. Wahrscheinlichkeitsaussagen sind nicht falsifizierbar und erfordern Stichprobenanalysen, wobei eine vollständige Aussagewahrscheinlichkeit von $S = 1$ nie erreicht wird.³¹³

³⁰⁸ Vgl. Patzak (Systemtechnik): 1982, S. 306; Gierhake (Integriertes Geschäftsprozessmanagement): 2000, S. 15.

³⁰⁹ Vgl. Stachowiak (Allgemeine Modelltheorie): 1973, S. 131–133.

³¹⁰ Vgl. Patzak (Systemtechnik): 1982, S. 307; Bandte (Komplexität in Organisationen): 2007, S. 200–205; Stachowiak (Allgemeine Modelltheorie): 1973, S. 159–281.

³¹¹ Vgl. Patzak (Systemtechnik): 1982, S. 313–315.

³¹² Vgl. Patzak (Systemtechnik): 1982, S. 313; Lehner et al. (Wirtschaftsinformatik): 2008, S. 30–31.

³¹³ Vgl. Patzak (Systemtechnik): 1982, S. 313–314.

Gestaltungsmodelle antworten auf die Frage „Wie wird etwas sein?“ und verwenden deduktive Schritte, um zukünftige Systemzustände und Verhaltensweisen abzuleiten. Sie ermöglichen durch die Darstellung eines Zielzustands des Systems eine Orientierung bei der Umsetzung von Maßnahmen.³¹⁴

Entscheidungsmodelle beantworten die Frage „Was soll sein?“ und helfen dabei, optimale Handlungsalternativen für ein gegebenes Ziel zu finden. Sie enthalten Zielsetzungen, Nutzenfunktionen und Randbedingungen. Diese Modelle dienen als Leitfaden für die Gestaltung von Zuständen und besitzen einen normativen Charakter. Ihre Entwicklung erfolgt im Rahmen des Systemgestaltungsprozesses mit dem Ziel, als Vorschrift für die Umsetzung zu dienen. In der Praxis sind vollständige Modelle selten, sodass eine kreative Anpassung und Ergänzung an spezifische Anforderungen von entscheidender Bedeutung sind.³¹⁵

Für die Modellierung – Erstellung eines der zuvor aufgeführten Modelle – haben sich die folgenden sechs **Qualitätskriterien** nach BECKER etabliert³¹⁶.

- *Richtigkeit*: Modelle müssen den dargestellten Sachverhalt korrekt wiedergeben, sowohl in Bezug auf die Struktur als auch das Verhalten. Dies schließt die Einhaltung von Notationsregeln ein.
- *Relevanz*: Ein Informationsmodell sollte relevante Informationen für die jeweilige Perspektive dokumentieren und keine irrelevanten Daten enthalten.
- *Wirtschaftlichkeit*: Die Modellierung sollte in angemessenem Kosten-Nutzen-Verhältnis stehen, und Maßnahmen zur Wiederverwendung sollten gefördert werden.
- *Klarheit*: Modelle müssen verständlich sein, sodass sie von den Adressaten leicht verstanden werden können, unabhängig von ihren methodischen Kenntnissen.
- *Vergleichbarkeit*: Die Einhaltung der Modellierungsempfehlungen ermöglicht die modellübergreifende Anwendung und die Konsolidierung von Informationsmodellen.
- *Systematischer Aufbau*: Informationsmodelle müssen wohldefinierte Schnittstellen zu korrespondierenden Modellen aufweisen, um einen effizienten Umgang mit Komplexität sicherzustellen.

Die in den Kapiteln 2.4 und 3.5 identifizierten Handlungsbedarfe in der Praxis sowie in der Theorie verdeutlichen den Bedarf an einem neuen Ansatz zur Messung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau. Der Ansatz zur Messung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau soll so gestaltet werden, dass er in der Branche weitgehend anwendbar und flexibel anpassbar ist. Der Fokus liegt dabei weniger auf der vollständigen Abdeckung, sondern auf der Funktion als Grundlage für die Entwicklung individueller Kennzahlensysteme in Werkzeugbaubetrieben. Die Universalität dieses Ansatzes basiert in erster Linie auf seiner Gestaltungsfähigkeit, weniger auf seinem Anspruch, die Welt zu erklären. Aus diesem Grund wird ein **Gestaltungsmodell zur Ausarbeitung gewählt**.

³¹⁴ Vgl. Lehner et al. (Wirtschaftsinformatik): 2008, S. 31–32.

³¹⁵ Vgl. Patzak (Systemtechnik): 1982, S. 314–315.

³¹⁶ Vgl. Rosemann et al. (Vorbereitung der Prozessmodellierung): 2005, S. 47–49.

4.2 Ordnungsrahmen des Kennzahlensystems

Die vorliegende Arbeit präsentiert ein Gestaltungsmodell zur Messung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau. Das Modell identifiziert die entscheidenden Elemente, die zur Erfüllung der in Kapitel 3.2 dargelegten Anforderungen adressiert werden müssen. Darüber hinaus zielt das Gestaltungsmodell darauf ab, die in Kapitel 3.6 detaillierte Forschungsfrage zu beantworten.

Das Konzept des Gestaltungsmodells erfolgt in Kapitel 4.3, während eine detaillierte Ausarbeitung in Kapitel 5 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** präsentiert wird. Gemäß STACHOWIAK³¹⁷ erfordert die Systemdarstellung des Modells die Festlegung des **realen Systems**, der **Zielsetzung**, der **Nutzer** sowie des **Zeitraums** der Nutzung (vgl. Kapitel 4.1.2). Im Folgenden werden diese Anforderungen der Systemdarstellung dargelegt.

4.2.1 Reales System

Die Branche Werkzeugbau fungiert als Referenz für die Abbildung des Systems (vgl. Kapitel 2.1). Im Rahmen dessen sollen die im internen und externen Werkzeugbau zur Werkzeugherstellung notwendigen Prozesse im Modell abgebildet werden. Dabei erfolgt eine individuelle Betrachtung einzelner Standorte. Das Modell soll zudem die Umwelteinflüsse, wie beispielsweise Gesetzgebung, Lieferanten- und Kundenbeziehungen auf den Werkzeugbau, berücksichtigen. Damit handelt es sich um ein offenes System (vgl. Kapitel 4.1.1).

4.2.2 Zielsetzung des Gestaltungsmodells

Die Intention des Gestaltungsmodells besteht in der Abbildung eines Zielzustandes zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau. Dabei sollen die relevanten Inhalte aufgezeigt und die zwischen den Elementen des Modells bestehenden Abhängigkeiten dargestellt werden. Dies dient Anwendenden aus der Branche Werkzeugbau als Richtungsweiser beim erfolgreichen Umgang mit den in Kapitel 2.4 identifizierten Herausforderungen.

4.2.3 Zielgruppe des Gestaltungsmodells

Der adressierte Personenkreis umfasst insbesondere alle an den Werkzeugherstellungsprozessen direkt und indirekt Beteiligten. Darüber hinaus gehören dazu ebenfalls Personen, die den Werkzeugbau von außen betrachten, beispielsweise Kunden oder Kapitalgebende. In Anlehnung an die Arbeit von KOMOREK kann eine Gliederung der Personenkreise in Anwendende und Verwendende des Gestaltungsmodells vorgenommen werden.³¹⁸

Die Gruppe der **Anwendenden** umfasst Mitarbeitende des Werkzeugbaus, wobei keine Einschränkung auf bestimmte Mitarbeitende, Funktionen oder Rollen erfolgt. Zudem kann es sich um externe Mitarbeitende wie Partnerunternehmen oder Dienstleister handeln. Für diese

³¹⁷ Vgl. Stachowiak (Allgemeine Modelltheorie): 1973, S. 131–133.

³¹⁸ Vgl. Komorek (Wertschöpfung im Werkzeugbau): 2014, S. 97–98.

Gruppe steht die Anwendung des Gestaltungsmodells zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau im Fokus, wobei das Modell hier als Richtungsweiser für die Umsetzung der Nachhaltigkeitssteuerung dient.

Die Gruppe der **Verwendenden** fokussiert sich auf das Verständnis neuer Lösungen. Diese sind nicht aktiv an der Umsetzung der Nachhaltigkeitssteuerung im Werkzeugbau beteiligt und setzen sich aus den internen und externen Anspruchsgruppen des Werkzeugbaus zusammen (vgl. Kapitel 5.1.2).

4.2.4 Zeitraum der Nutzung

Der **Zeitraum**, in dem das Gestaltungsmodell Anwendung finden kann, ist nicht begrenzt. Die Entwicklung des Modells erfolgt mit dem Ziel, den aktuellen Bedarf aus Theorie und Praxis (vgl. Kapitel 3.5 und 2.4) zu decken. Die unmittelbare Nutzung des Modells ist möglich, allerdings unterliegen die grundlegenden Konzepte einem fortwährenden Wandel. Der Zeitraum der Nutzung endet, wenn zukünftige Entwicklungen im Werkzeugbau das Modell obsolet machen, wobei diese gegenwärtig nicht konkret vorhersehbar ist. Daher obliegt es der Wissenschaft, die Aktualität und Gültigkeit des Modells regelmäßig zu überprüfen.

4.3 Konzeption des Gestaltungsmodells

Im vorliegenden Abschnitt erfolgt die Entwicklung des Gestaltungsmodells zur Messung der Nachhaltigkeit. Im nachfolgenden Kapitel 5 erfolgt eine detaillierte Darlegung des Modells. In einem ersten Schritt ist der **Ordnungsrahmen** des Modells zu entwickeln, um diesem eine klare Struktur zu geben. Innerhalb dieses Ordnungsrahmens erfolgt die Anordnung der Gestaltungselemente, welche die identifizierten Bedarfe aus Theorie und Praxis befriedigen und in Summe die erfolgreiche Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau ermöglichen. Der in der vorliegenden Arbeit aufgestellte Ordnungsrahmen folgt der Definition von MEISE, wonach im Ordnungsrahmen alle relevanten Elemente und Beziehungen eines Originals abstrahiert und strukturiert sind. Der Ordnungsrahmen dient dazu, einen Überblick über das Original zu schaffen, die Elemente und Beziehungen sowie untergeordnete Detaillierungsebenen zu veranschaulichen.³¹⁹

4.3.1 Herleitung des Aufbaus der Konzeption

Der **Ordnungsrahmen** wird auf Basis der in Kapitel 3 diskutierten bestehenden Ansätze sowie der aufgestellten Forschungsfragen (vgl. Kapitel 3.6) entwickelt. Um die verschiedenen Teilsysteme eines Kennzahlensystems zu ermitteln, bietet es sich an, bereits erstellte Systeme aus dem Bereich der Industrie, insbesondere des Werkzeugbaus, zu berücksichtigen. Dazu wird an dieser Stelle zunächst auf den Aufbau von zwei besonders relevanten bestehenden Ansätzen für ein Kennzahlensystem eingegangen.

Eines dieser Systeme ist das **integrative Kennzahlensystem für den Werkzeugbau** nach KOZIELSKI. Der Aufbau dieses Systems ist in Abbildung 4.1 mit seinen drei Ebenen dargestellt.

³¹⁹ Vgl. Meise (Ordnungsrahmen zur Organisationsgestaltung): 2001, S. 62.

Auf der untersten Ebene findet sich das Basismodell, also die hierarchische Struktur. Hier wird dargestellt, wie sich die einzelnen Kennzahlen auf den verschiedenen Ebenen unterteilen.³²⁰

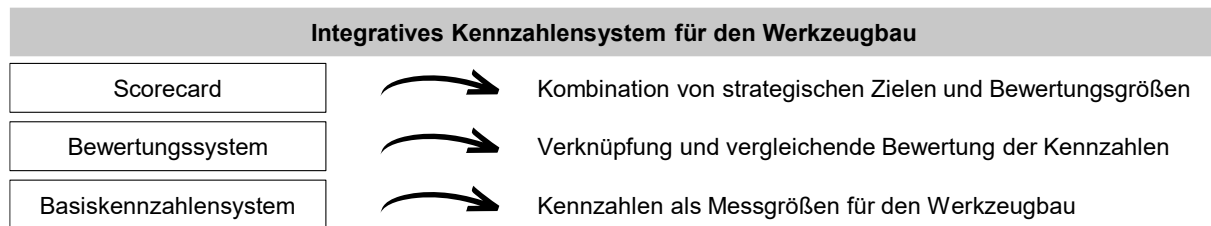


Abbildung 4.1: Teilsysteme eines integrativen Kennzahlensystems i. A. a. KOZIELSKI³²¹

Im Folgenden wird eruiert, auf welche Weise die Kennzahlen rechnerisch miteinander verknüpft werden müssen, um einen Vergleich zu ermöglichen. Im letzten Schritt werden die Kennzahlen sowie die mathematischen Beziehungen in eine Scorecard überführt, wobei diese Bewertungsgrößen mit dem strategischen Ziel des Unternehmens verknüpft werden³²².

Ein zweites Vorgehen wird von BORBE für die Entwicklung eines **Kennzahlensystems in der Fertigung und Konstruktion** verwendet, welches in Abbildung 4.2 visualisiert ist. In diesem Ansatz erfolgt eine Unterteilung des Aufbaus eines Kennzahlensystems in drei Ebenen. Auf der untersten Ebene erfolgt eine Verknüpfung der Bereichsziele mit den jeweils zugehörigen Kennzahlen. Das Resultat wird mit diversen Prozessen im Unternehmen (Ebene 2) assoziiert und diese wiederum mit Projekten (Ebene 3). Auf diese Weise wird ein Problem behoben, indem ein System von der Mikro- bis hin zur Makroebene aufgebaut wird. Die tatsächlichen Wechselwirkungen zwischen den Ebenen erlauben es, ein Problem an verschiedenen Punkten anzugehen.³²³

³²⁰ Vgl. Kozielski (Integratives Kennzahlensystem): 2013, 96–105.

³²¹ Vgl. Kozielski (Integratives Kennzahlensystem): 2013, S. 97.

³²² Vgl. Kozielski (Integratives Kennzahlensystem): 2013, 103–105.

³²³ Vgl. Borbe et al. (Ziel- und Kennzahlensystem): 2006, S. 505–508.

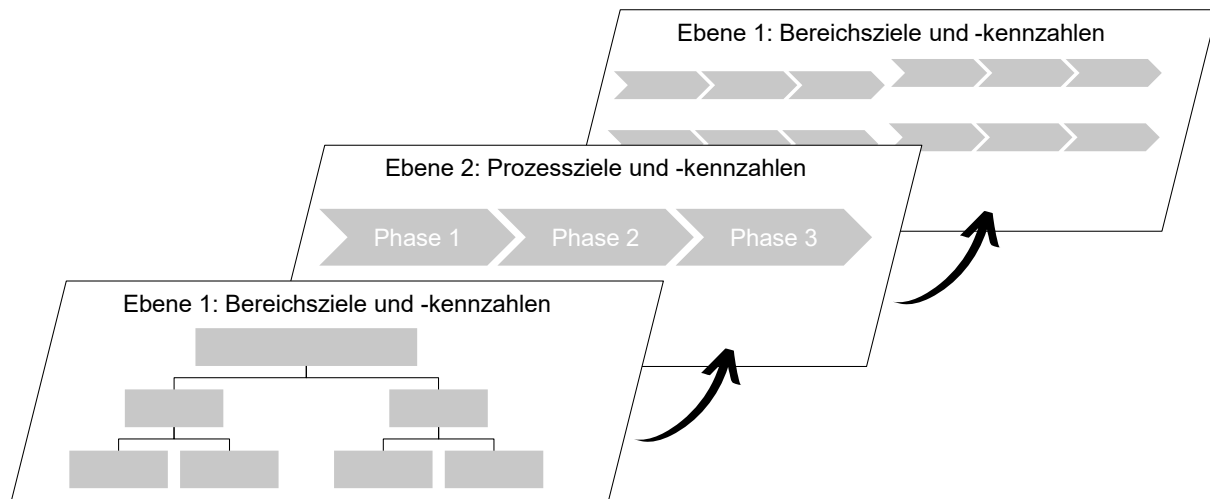


Abbildung 4.2: Aufbau eines Kennzahlensystems i. A. a. BORBE³²⁴

Bei einer Gegenüberstellung der beiden Ansätze zum Aufbau eines Kennzahlensystems lässt sich feststellen, dass diese sich aus drei Komponenten zusammensetzen:

- Formulierung der Zielgrößen
- Verknüpfung der formulierten Zielgrößen mit Teil- oder Bewertungsgrößen
- Ein Kennzahlensystem mit Baumstruktur, welches die einzelnen Bewertungsgrößen beschreibt

Diese Komponenten werden durch GOTTMANN um drei weitere Aspekte ergänzt. Zusätzlich zu dem Kennzahlensystem an sich ist ein Konzept zur Ermittlung der einzelnen Kennzahlen zu entwickeln. Des Weiteren ist sicherzustellen, dass das finale Ergebnis in einer Weise präsentiert wird, die allen Anspruchsgruppen eine angemessene Visualisierung der Informationen bereitstellt. Schließlich sind nicht nur die Ergebnisse zu präsentieren, sondern auch adäquate Maßnahmen, um das zu Beginn formulierte Ziel zu erreichen. Alle diese Komponenten sind in Abbildung 4.3 dargestellt. Aufgrund der Tatsache, dass GOTTMANN die ursprünglichen Komponenten eines Kennzahlensystems sinnvoll für die Steuerung erweitert, wird dieser **Aufbau als Basis des Kennzahlensystems** in dieser Arbeit verwendet.³²⁵

³²⁴ Vgl. Borbe et al. (Ziel- und Kennzahlensystem): 2006, S. 506.

³²⁵ Vgl. Gottmann (Produktionscontrolling): 2019, S. 153.

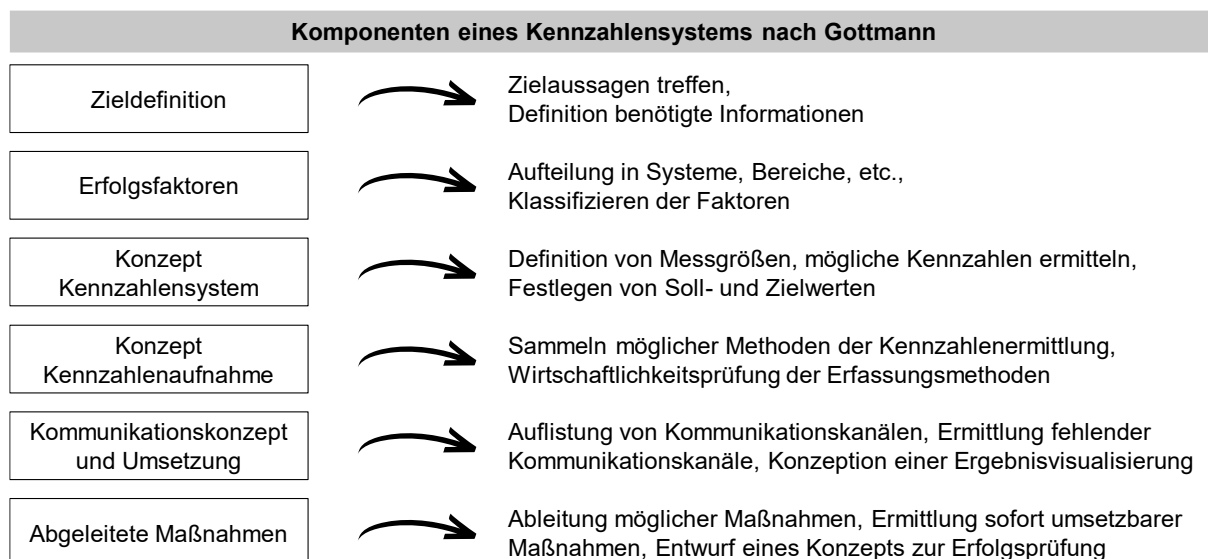


Abbildung 4.3: Komponenten eines Kennzahlensystems i. A. a. GOTTMANN³²⁶

Das **Systemziel** bezeichnet die Definition eines strategischen Unternehmensziels, welches über einen längeren Zeitraum verfolgt werden soll. In Abhängigkeit von der spezifischen Ausgestaltung des Unternehmens können die Ziele jedoch eine unterschiedliche Gewichtung aufweisen. **Erfolgsfaktoren** sind diejenigen Faktoren, welche das Ziel sowohl in positiver als auch in negativer Weise beeinflussen. Infolgedessen repräsentieren sie die zweite Ebene des Systems. Im Rahmen des **Kennzahlensystems** erfolgt die Darstellung der Erfolgsfaktoren durch qualitative und quantitative Größen. Die einzelnen Größen können je nach Kennzahl in weitere Sub-Kennzahlen oder Indizes aufgeteilt werden. In einem nächsten Schritt erfolgt die Definition der Ermittlung der Kennzahlen sowie der Möglichkeiten hierzu. Dabei sollen Vorgaben definiert werden, die bei der **Ermittlung von Kennzahlen** mindestens einzuhalten sind. Die angemessene **Darstellung** der Ergebnisse und abgeleiteten **Maßnahmen** zielt darauf ab, den verschiedenen Anspruchsgruppen eine für sie spezifische Möglichkeit zu bieten, Ergebnisse direkt nachvollziehen und entsprechend handeln zu können.³²⁷

Die vorliegende Arbeit hat die Intention, einen Beitrag zur Steigerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau zu leisten. Daher empfiehlt sich als zweite Grundlage ein Ansatz zu der kontinuierlichen Verbesserung in einer Organisation, zusätzlich zu den bereits vorgestellten Ansätzen, die sich auf Kennzahlensysteme fokussieren. In diesem Kontext ist der PDCA-Zyklus einer der bekanntesten Ansätze. Dieser Prozess gliedert sich in die vier Phasen „Plan“, „Do“, „Act“ und „Check“. Es besteht die Möglichkeit, diese in der vorgegebenen Reihenfolge kontinuierlich zu durchlaufen. Dieser Ansatz trägt zur Erweiterung des Gestaltungsmodells in Hinblick auf die Optimierung von Prozessen und Organisationen bei. Dies wird deutlich, wenn die Komponenten eines Kennzahlensystems nach GOTTMANN den Phasen des PDCA-Zyklus gegenübergestellt werden (Abbildung 4.4). In der ersten Phase „**Plan**“ erfolgt die Entwicklung

³²⁶ Vgl. Gottmann (Produktionscontrolling): 2019, S. 153.

³²⁷ Vgl. Gottmann (Produktionscontrolling): 2019, 147–148.

eines Lösungsansatzes. In Bezug auf die vorliegende Arbeit bedeutet dies, dass im ersten Gestaltungselement die Erfolgsfaktoren des Zielbilds „nachhaltiger Werkzeugbau“ dargestellt werden. Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der umfassenden und detaillierten Darstellung des Lösungsansatzes. Zu diesem Zweck werden die Zieldefinition und die Erfolgsfaktoren in einer gemeinsamen Betrachtung vereint. In der Phase „Do“ erfolgt gemäß Zyklus die Umsetzung des zuvor entwickelten Lösungsansatzes. In der vorliegenden Arbeit wird die Intention verfolgt, diese Umsetzung in einem Kennzahlensystem abzubilden. Die Datenaufnahme, die eine Voraussetzung für das Kennzahlensystem darstellt, wird ebenfalls dieser Phase im Zyklus zugeordnet. Für das Gestaltungsmodell der vorliegenden Arbeit ergeben sich für diese Phase demnach die Gestaltungselemente „Kennzahlensystem“ und „Anforderungen an die Datengrundlage“.³²⁸

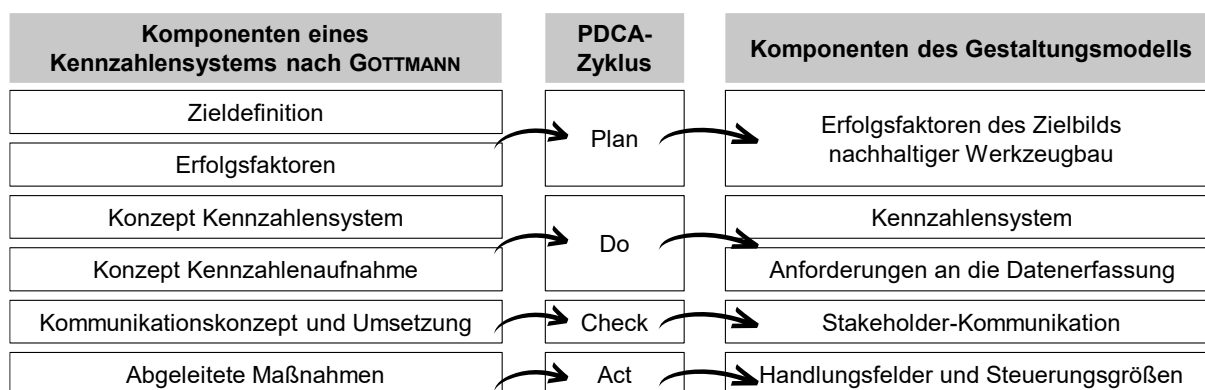


Abbildung 4.4: Herleitung des Gestaltungsmodells aus Komponenten eines Kennzahlensystems nach Gottmann und den Phasen des PDCA-Zyklus³²⁹

In der Phase „**Check**“ erfolgt die Überprüfung der Zielerreichung. Dies wird bei GOTTMANN durch das Kommunikationskonzept abgebildet. Dabei ist es von essenzieller Bedeutung, die Daten und Kennzahlen aus der Phase „Do“ den relevanten Stakeholdern darzustellen. Somit ergibt sich hier das Gestaltungselement „Stakeholder-Kommunikation“. Abschließend folgt die Phase „**Act**“. In dieser Phase erfolgt die Rückkopplung zur Phase „Plan“ statt. Unter Berücksichtigung der Lösungsansätze wird über die Umsetzung spezifischer Maßnahmen entschieden. Bei GOTTMANN werden in diesem Kontext Maßnahmen abgeleitet. Für das Gestaltungsmodell leitet sich hier das Gestaltungselement „Handlungsfelder und Steuerungsgrößen“ ab.³³⁰ Das vorliegende Gestaltungsmodell umfasst sowohl die Maßnahmen als auch die Rückkopplung über die Steuerungsgrößen. Das in dieser Arbeit dargestellte Gestaltungsmodell setzt sich aus fünf Gestaltungselementen zusammen. Diese umfassen einerseits die Elemente bestehender Kennzahlensysteme und andererseits die von GOTTMANN formulierten Elemente. Die Verbindung zwischen diesen Elementen und den vier Phasen des PDCA-Zyklus stellt die Grundlage des Gestaltungsmodells dar.

³²⁸ Vgl. Schüller et al. (Nachhaltige Unternehmen): 2023, S. 7–8.

³²⁹ Eigene Darstellung

³³⁰ Vgl. Schüller et al. (Nachhaltige Unternehmen): 2023, S. 8.

4.3.2 Herleitung der Gestaltungselemente

Der entwickelte **Ordnungsrahmen** basiert auf **fünf Gestaltungselementen**, welche eine detaillierte Ausgestaltung des Gestaltungsmodells ermöglichen. Im Folgenden werden die einzelnen Gestaltungselemente unter Berücksichtigung der in Kapitel 3.2 erarbeiteten Anforderungen hergeleitet.

4.3.2.1 Erfolgsfaktoren des Zielbilds nachhaltiger Werkzeugbau

Ein Werkzeugbaubetrieb verfolgt in der Regel ein oder mehrere **strategische Ziele**. In der wissenschaftlichen Literatur wird dieses Zusammenwirken von Zielen als Zielsystem beschrieben, wie es von GOTTMANN dargestellt wird. Die einzelnen Ziele sind dabei mit einer langfristigen Vision verknüpft, das heißt einem gewünschten Zielzustand des Unternehmens. Die Auswahl und Formulierung der einzelnen Ziele variieren zwischen den Unternehmen. Des Weiteren variiert der Fokus beziehungsweise die Priorität einzelner Ziele in Abhängigkeit des Unternehmens. Als Beispiele für Unternehmensziele können die Markt- und Qualitätsführerschaft sowie die Differenzierung durch Nachhaltigkeit genannt werden. Es sei darauf hingewiesen, dass auch diese Ziele – wie in Kapitel 2.2.2 dargelegt – in Konkurrenz zueinanderstehen können. Um diesen Umstand abzubilden, wird empfohlen, diese an die Spitze eines Kennzahlensystems zu setzen und im weiteren Verlauf die Wechselwirkungen zu erarbeiten. Auf diese Weise kann unter Berücksichtigung dieser Zielkonkurrenz eine bestmögliche Entscheidung getroffen werden.³³¹

Um eine optimale Entscheidung treffen zu können, ist es erforderlich, die Ziele mit sogenannten **Erfolgsfaktoren** zu verknüpfen. In der Regel wird ein Ziel von mehreren Erfolgsfaktoren beschrieben. Folglich ist es erforderlich, sämtliche Erfolgsfaktoren zu ermitteln, um ein Ziel in seiner Gesamtheit abzubilden. Darüber hinaus ist zu ermitteln, in welchem Umfang ein Ziel durch einen Erfolgsfaktor beschrieben wird. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Untergliederung eines strategischen Ziels in Teilziele, welche anschließend durch Erfolgsfaktoren beschreiben werden können. Ein Beispiel für ein strategisches Ziel, das in Teilziele unterteilt werden kann, ist das Ziel „Steigerung des Gewinns und der Liquidität“. Eine Unterteilung in die Teilziele „Herstellkosten“, „Bestände“ und „Forderungen“ ist möglich. Des Weiteren wird nach GOTTMANN beispielsweise das Teilziel „Herstellkosten“ vollständig durch die Erfolgsfaktoren „Produktivität“ und „Einkaufserfolge“ abgebildet.³³² Zur Umsetzung des Vorgehens sind gemäß GOTTMANN fünf Fragestellungen zu beantworten, welche in Abbildung 4.5 auf der linken Seite dargestellt sind. Wie zu erkennen ist, beziehen sich diese auf die Wirtschaftlichkeit im Unternehmen. Um einen angemessenen Rahmen für die Messung und Umsetzung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit zu schaffen, müssen diese Fragen entsprechend adaptiert werden.

Nach BATZ ist es für Organisationen heute unerlässlich, Nachhaltigkeit umfassend in ihrem Leitbild zu verankern. In der Konsequenz ist für die Branche Werkzeugbau zu definieren, wie

³³¹ Vgl. Gottmann (Produktionscontrolling): 2019, 148–150.

³³² Vgl. Gottmann (Produktionscontrolling): 2019, 150–153.

ein Zielbild des nachhaltigen Werkzeugbaus auszusehen hat. Im Anschluss ist zu bestimmen, in welche Teilziele und Erfolgsfaktoren diese Vision zu untergliedern ist. Um eine vollständige Beschreibung des Ziels zu erhalten, ist eine entsprechende Gewichtung der Erfolgsfaktoren erforderlich.³³³ Die Fragestellungen nach GOTTMANN wurden im Rahmen dieser Arbeit adaptiert und werden mit den Teilaspekten des Gestaltungselements (vgl. rechts in Abbildung 4.5) beantwortet.

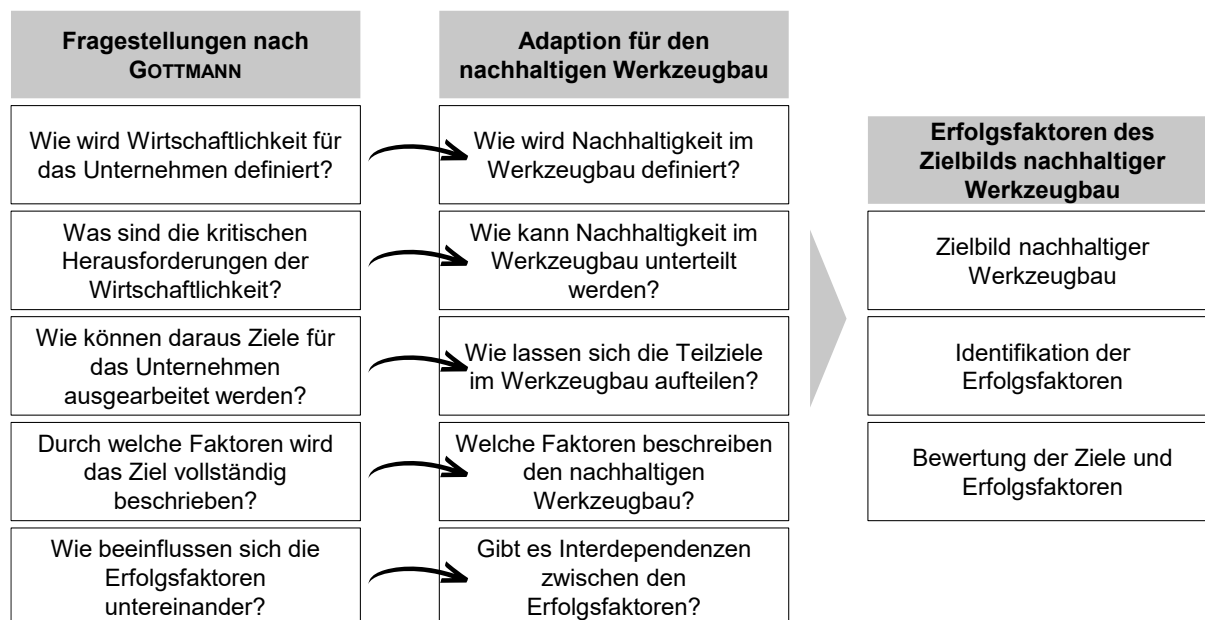


Abbildung 4.5: Gestaltungselement Erfolgsfaktoren des Zielbilds „Nachhaltiger Werkzeugbau“³³⁴

Das **Ergebnis** des Gestaltungselement „Erfolgsfaktoren des Zielbilds nachhaltiger Werkzeugbau“ ist folglich ein Zielbild des nachhaltigen Werkzeugbaus, die Identifikation der Erfolgsfaktoren sowie die Bewertung der Ziele und Erfolgsfaktoren.

4.3.2.2 Kennzahlensystem

Unter Berücksichtigung einer umfassenden Evaluierung der Erfolgsfaktoren kann eine Selektion der relevanten Kennzahlen für den nachhaltigen Werkzeugbau vorgenommen werden. Das Ziel besteht in der Detaillierung der Erfolgsfaktoren sowie in ihrer Messbarkeit. In der Konsequenz ist für jede Kennzahl zu eruieren, ob sie einen Einfluss auf einen Erfolgsfaktor und damit auf ein Ziel des Kennzahlensystems ausübt.³³⁵ In Anlehnung an WÜHLE ist zunächst zu ermitteln, welche Kennzahlen die Nachhaltigkeit im Unternehmen adäquat abbilden. Im Anschluss ist eine Kategorisierung dahingehend vorzunehmen, ob die spezifische Kennzahl einen positiven oder negativen Einfluss auf den Erfolgsfaktor und damit auf die Nachhaltigkeit

³³³ Vgl. Batz (Nachhaltigkeit in der Sozialwirtschaft): 2021, 152–162.

³³⁴ Eigene Darstellung

³³⁵ Vgl. Gottmann (Produktionscontrolling): 2019, 150–153.

des Werkzeugbaubetriebs hat. Hierbei können Leitlinien zur Nachhaltigkeitsberichterstattung herangezogen werden.³³⁶

Der Inhalt dieses Gestaltungselements leitet sich aus dem ökonomisch ausgerichteten Ansatz von GOTTMANN³³⁷ sowie dem von WÜHLE³³⁸ zur Verwendung von Kennzahlen zur Messung von Nachhaltigkeit ab. In einem ersten Schritt werden die **relevanten Kennzahlen für den ganzheitlich nachhaltigen Werkzeugbau definiert**. Dazu werden die Randbedingungen des Kennzahlensystems definiert. Dies impliziert, dass im Bilanzraum die Anspruchsgruppen sowie weitere relevante Informationen hinsichtlich der Struktur des Systems dokumentiert werden. Diese Vorgehensweise wurde bereits in vorausgehenden Kapiteln angewandt, auf denen das vorliegende Gestaltungselement aufbauen kann. Im Anschluss erfolgt eine erste Sammlung von Kennzahlen, welche sich aus etablierten Kennzahlendatenbanken oder vorausgegangenen Industrieprojekten speist. Auf Basis der zuvor definierten Kennzahlen erfolgt nun eine detaillierte Beschreibung sowie eine Messbarmachung der relevanten Erfolgsfaktoren des vorausgegangenen Gestaltungselements. Im Anschluss erfolgt eine Analyse der **Abhängigkeiten der Kennzahlen zueinander**, wobei die zuvor durch einen Kennzahlensteckbrief definierten Werte als Grundlage dienen. Die durchgeführte Analyse erlaubt eine Bewertung der Bedeutung einzelner Kennzahlen im Kontext der Gesamtheit aller Kennzahlen des Kennzahlensystems. In der Folge können insbesondere diejenigen Kennzahlen identifiziert werden, die einen besonders großen Einfluss auf andere Kennzahlen aufweisen. Im Anschluss erfolgt eine **Bewertung der Kennzahlen für die Zielerreichung**. Im Rahmen dessen erfolgt eine Evaluierung der Bedeutung der Kennzahl für die Zielerreichung des gesamten Kennzahlensystems. Dies erfolgt durch die Analyse der Beziehung zwischen Kennzahl und Erfolgsfaktor, welcher wiederum stellvertretend für ein Ziel des nachhaltigen Werkzeugbaus steht. Die von GOTTMANN aufgestellten Fragen wurden im Rahmen dieser Arbeit für das Gestaltungselement „Kennzahlensystem“ adaptiert. Die daraus resultierenden Fragestellungen werden mit den Teilaspekten des Gestaltungselements beantwortet und sind in Abbildung 4.6 dargestellt.

³³⁶ Vgl. Wühle (Making Sustainability Measurable): 2023, 131–137.

³³⁷ Vgl. Gottmann (Produktionscontrolling): 2019, S. 150–153.

³³⁸ Vgl. Wühle (Making sustainability measurable): 2023, S. 131–137.

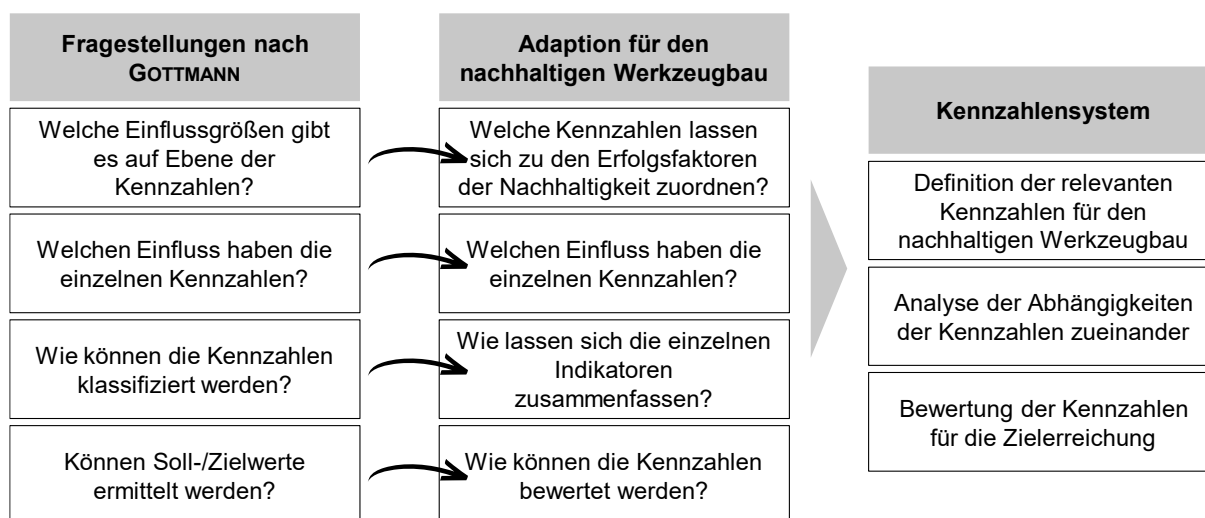


Abbildung 4.6: Gestaltungselement Kennzahlensystem³³⁹

Das **Ergebnis** des Gestaltungselement „Kennzahlensystem“ sind folglich die Kennzahlen zur Messung der im vorherigen Gestaltungselements beschriebenen Ziele und Erfolgsfaktoren sowie deren Bewertung hinsichtlich der Zielerreichung.

4.3.2.3 Anforderungen an die Datenerfassung

Die Verwendung der ausgewählten Kennzahlen setzt voraus, dass diese zuvor erfolgreich ermittelt wurden. Zunächst ist zu prüfen, ob und auf welche Weise eine Kennzahl ermittelt werden kann. Im Anschluss ist eine Prüfung des Verhältnisses von Aufwand zu Nutzen erforderlich. Dies ist darauf zurückzuführen, dass ein Kennzahlensystem den Anforderungen an Wirtschaftlichkeit genügen muss. In einem letzten Schritt ist zu ermitteln, welche Möglichkeiten hinsichtlich der automatisierten Generierung von Kennzahlen bestehen.³⁴⁰ In diesem Kontext empfiehlt BROWN die Erstellung eines Erfassungskataloges, in dem alle relevanten Informationen zu einer Kennzahl zusammengetragen werden³⁴¹. Infolgedessen wird in diesem Gestaltungselement der Kennzahlensteckbrief um Einträge zur Datengrundlage erweitert. Dazu sind zunächst die Identifikation und **Beschreibung der notwendigen Datengrundlage** erforderlich. Die mathematische Beschreibung der Kennzahlen definiert die erforderlichen Eingangsgrößen für die Berechnung. Im Anschluss erfolgen eine Kategorisierung der zuvor bestimmten Eingangsgrößen sowie deren **Zuordnung zu Datengruppen**. Dazu werden Datengruppen für alle Eingangsgrößen des Kennzahlensystems definiert. Auf Basis dieser Definition kann eine Zuordnung aller Eingangsgrößen zu einer Gruppe erfolgen. Die adäquate Erfüllung der Anforderungen, welche die jeweilige Eingangsgröße zu erfüllen hat, ist von entscheidender Bedeutung für die erfolgreiche Anwendung des Kennzahlensystems. In einem letzten Schritt erfolgt die **Definition der Anforderungen an die Datengruppen**. Nachdem für jede Datengruppe

³³⁹ Eigene Darstellung

³⁴⁰ Vgl. Gottmann (Produktionscontrolling): 2019, 152–153.

³⁴¹ Vgl. Brown (Kennzahlen): 1997, S. 166.

die Anforderungen definiert wurden, sind diese damit auch für jede Eingangsgröße des Kennzahlensystems definiert. Die nachfolgende Abbildung 4.7 veranschaulicht den Weg von den allgemeinen Fragestellungen nach GOTTMANN³⁴² hin zum werkzeugbauspezifischen Gestaltungselement der Anforderungen an die Datenerfassung.

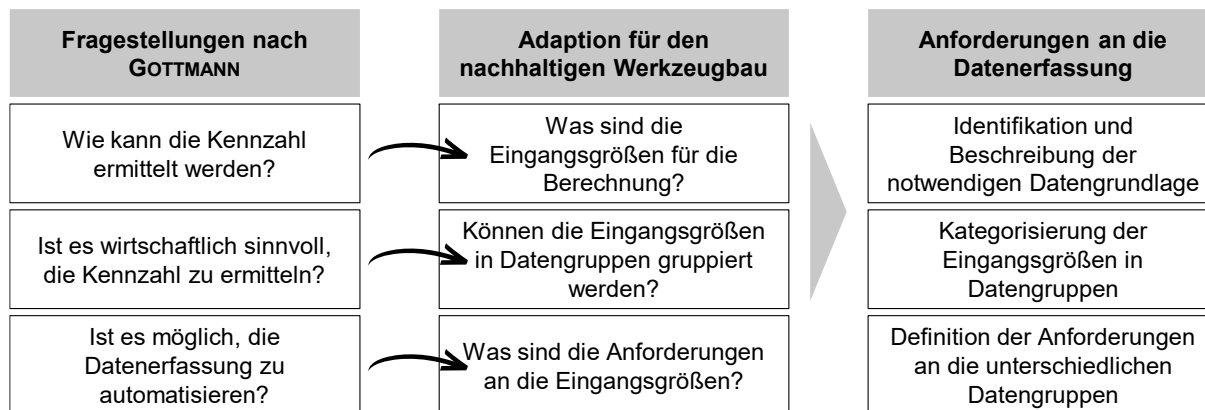


Abbildung 4.7: Gestaltungselement Anforderungen an die Datenerfassung³⁴³

Das **Ergebnis** des Gestaltungselements „Anforderungen an die Datenerfassung“ sind demnach die Eingangsgrößen der im Gestaltungselement zuvor identifizierten Kennzahlen sowie die definierten Anforderungen hinsichtlich deren Erfassung. Zusammen bilden diese die Datengrundlage des Kennzahlensystems.

4.3.2.4 Stakeholder-Kommunikation

Die adäquate Nutzung der Resultate eines Kennzahlensystems setzt voraus, dass diese mit sämtlichen relevanten Anspruchsgruppen kommuniziert werden. Diesbezüglich ist festzuhalten, dass lediglich diejenigen Anspruchsgruppen als relevant betrachtet werden, welche aus dem Kennzahlensystem Schlüsse ziehen und ihr Handeln entsprechend anpassen oder auf Basis dieser Entscheidungen treffen. Im Rahmen dieser Arbeit ist es daher erforderlich, zu klären, auf welche Weise die relevanten Anspruchsgruppen erreicht werden können und wie die Ergebnisse gemäß ihren Anforderungen abgebildet werden können. Innerhalb dieses Gestaltungselements erfolgt zunächst die **Identifikation der relevanten internen Anspruchsgruppen des Werkzeugbaus**. Der Fokus liegt dabei auf den internen Anspruchsgruppen, da das Ziel des Kennzahlensystems die interne Steuerung der Nachhaltigkeitsbestrebungen im Werkzeugbau ist. In diesem Kontext erfolgt eine Zuordnung der Anspruchsgruppen entlang der für den Werkzeugbau typischen Hierarchiestruktur sowie der Prozesskette. Im Anschluss erfolgt die **Definition der Anforderungen der Anspruchsgruppen** an das zu entwickelnde System. Somit erfolgt die Beschreibung der Anforderungen an eine Visualisierung sowie der benötigten Informationen der jeweiligen Anspruchsgruppe. Die Definition der Anforderungen bildet die Grundlage für die **Gestaltung einer anforderungsgerechten Kommunikation**. In

³⁴² Vgl. Gottmann (Produktionscontrolling): 2019, S. 150–153.

³⁴³ Eigene Darstellung

einem ersten Schritt erfolgt die Ausarbeitung einer Form der Ergebnisdarstellung, welche gemäß den Anforderungen aller Anspruchsgruppen adaptiert werden kann. Unter Adaption ist in diesem Kontext eine Darstellungsweise zu verstehen, die alle für die spezifischen Anspruchsgruppen relevanten Erfolgsfaktoren und Kennzahlen beinhaltet. Darüber hinaus wird ein übergreifendes Schaubild erstellt, welches das Gesamtergebnis der Kennzahlenauswertung beinhaltet. Außerdem ist sicherzustellen, dass das Konzept auf sämtlichen Organisationsebenen Anwendung finden kann. Dies impliziert, dass einzelne Organisationseinheiten anhand der Ergebnisse Maßnahmen ableiten können, die für sie von Relevanz sind. In diesem Kontext formuliert GOTTMANN³⁴⁴ drei Fragen, die für dieses Gestaltungselement adaptiert wurden. Daraus ergeben sich die beschriebenen Gestaltungsaspekte, welche in Abbildung 4.8 dargestellt sind.

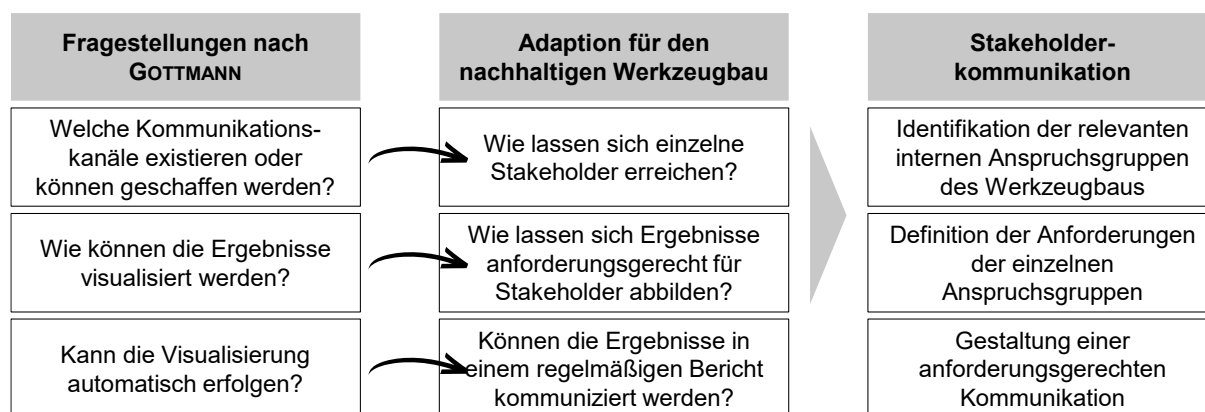


Abbildung 4.8: Gestaltungselement Stakeholder-Kommunikation³⁴⁵

Das **Ergebnis** des Gestaltungselements „Stakeholder-Kommunikation“ besteht folglich in der Darstellung der diversen Facetten des Kennzahlensystems, um den spezifischen Anforderungen im Werkzeugbau zu genügen und die relevanten Informationen in einer für die jeweilige Anspruchsgruppe im Werkzeugbau verständlichen Form zu kommunizieren.

4.3.2.5 Handlungsfelder und Steuerungsgrößen

Der Fokus des letzten Gestaltungselements liegt auf den relevanten Handlungsfeldern des nachhaltigen Werkzeugbaus. Der Mehrwert resultiert aus der Verknüpfung des Kennzahlensystems mit den relevanten Handlungsfeldern des Werkzeugbaus, wobei die Kommunikation aus dem vorausgegangenen Gestaltungselement eine wesentliche Rolle einnimmt. Im Rahmen dessen ist zu ermitteln, inwiefern sich Handlungsfelder und Kennzahlen gegenseitig beeinflussen und welche Parameter als wesentliche Steuergrößen identifiziert werden können. Auf Basis der durchgeführten Untersuchung können die erforderlichen Maßnahmen zur Zielerreichung abgeleitet werden.³⁴⁶ Dabei ist zu berücksichtigen, dass Kennzahlen und Erfolgsfaktoren, aber auch Kennzahlen untereinander in enger Wechselwirkung zueinanderstehen.

³⁴⁴ Vgl. Gottmann (Produktionscontrolling): 2019, S. 153.

³⁴⁵ Eigene Darstellung

³⁴⁶ Vgl. Gottmann (Produktionscontrolling): 2019, S. 153.

Die Wechselwirkungen wurden in den vorausgegangenen Gestaltungselementen für das Kennzahlensystem analysiert. Im Rahmen dieses Gestaltungselements wird die vorangegangene Analyse um die Beziehung der Kennzahlen zu den Handlungsfeldern erweitert.³⁴⁷

Zunächst erfolgt die **Ableitung von Handlungsfeldern aus den Erfolgsfaktoren**. Auf diese Weise lässt sich ermitteln, welche Handlungsfelder für einen nachhaltigen Werkzeugbau von Relevanz sind. Des Weiteren kann durch die Gruppierung verschiedenster Maßnahmen zu Handlungsfeldern die Übersichtlichkeit gewährleistet werden. Im Anschluss erfolgt eine **Priorisierung der Handlungsfelder**. Die Priorisierung der Handlungsfelder erlaubt deren Strukturierung und ermöglicht eine Fokussierung auf die sinnvollsten Handlungsfelder und deren Maßnahmen. Die Voraussetzung für eine Bewertung und anschließende Umsetzung ausgewählter Maßnahmen aus den Handlungsfeldern ist die **Definition der relevantesten Steuerungsgrößen** für einzelne Handlungsfelder. Die Zuordnung von Kennzahlen des Kennzahlensystems als Steuerungsgrößen für die einzelnen Handlungsfelder stellt eine Verknüpfung beider Elemente dar. Das Kennzahlensystem leistet somit einen Beitrag zur Steuerung der Nachhaltigkeitsbestrebungen des Werkzeugbaus. Die Herleitung aus den Fragestellungen nach Gottmann sowie die Adaption dieser für den nachhaltigen Werkzeugbau und die Gestaltungsaspekte des Gestaltungselements sind in Abbildung 4.9 zusammengefasst.

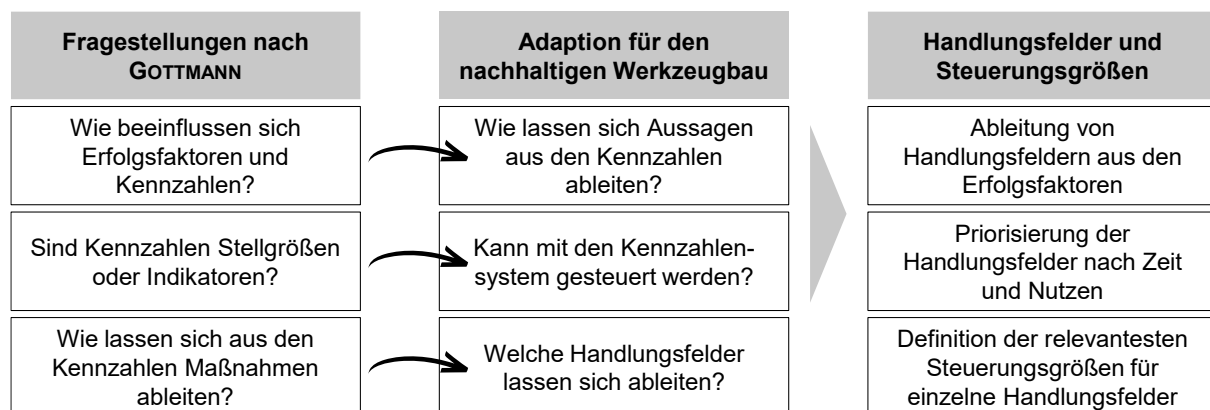


Abbildung 4.9: Gestaltungselement Handlungsfelder und Steuerungsgrößen³⁴⁸

Das **Ergebnis** des Gestaltungselements „Handlungsfelder und Steuerungsgrößen“ besteht folglich in der Verknüpfung des Kennzahlensystems mit den relevanten Handlungsfeldern des nachhaltigen Werkzeugbaus unter Zuhilfenahme von Steuerungsgrößen.

4.4 Synthese des Gestaltungskonzepts

In Kapitel 4.3.2 wurde das Konzept der einzelnen Gestaltungselemente dargelegt. In der Folge wird die Zusammenführung dieser einzelnen Gestaltungselemente in einem Gestaltungskonzept erörtert. Die Strukturierung erfolgt dabei anhand der sechs allgemeinen Komponenten

³⁴⁷ Vgl. Wühle (Making Sustainability Measurable): 2023, S. 134.

³⁴⁸ Eigene Darstellung

eines Kennzahlensystems nach GOTTMANN³⁴⁹. Dadurch ist gewährleistet, dass alle für ein Kennzahlensystem relevanten Elemente im Gestaltungsmodell abgebildet werden. Die in Kapitel 4.3.2 für das Ziel der vorliegenden Arbeit adaptierten Fragestellungen sollen durch die einzelnen Gestaltungselemente beantwortet werden. Auf diese Weise lassen sich die Gestaltungselemente dieser Arbeit ableiten. Aus diesen wird schließlich das Gestaltungsmodell synthetisiert. Dabei werden die sechs allgemeinen Elemente eines Kennzahlensystems nach Gottmann zu fünf Gestaltungselementen zusammengefasst. Die Zusammenführung der Elemente „Zieldefinition“ und „Erfolgsfaktoren“ zum Gestaltungselement **„Zielbild und Erfolgsfaktoren des nachhaltigen Werkzeugbaus“** erfolgt vor dem Hintergrund einer engen Verbindung zwischen Zielen und Erfolgsfaktoren sowie der gemeinsamen Adressierung der spezifischen Anforderung einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbetrachtung. Die Fusion dieser Elemente wurde daher als zielführend erachtet, sodass das resultierende Gestaltungselement das erste des Gestaltungsmodells bildet. Auf Basis des Zielbilds und der Erfolgsfaktoren können Kennzahlen abgeleitet und definiert werden, was das zweite Gestaltungselement, das **Kennzahlensystem**, darstellt. Das Kennzahlensystem wird ergänzt durch das dritte Gestaltungselement, die **Anforderungen an die Datenerfassung**. In diesem Element erfolgen die Definition der für die Berechnung der Kennzahlen benötigten Eingangsgrößen, deren Zuordnung zu den jeweiligen Datengruppen sowie die Aufstellung von Anforderungen an die Datenerfassung. Der Kern des Kennzahlensystems mit den ersten drei Gestaltungselementen ist somit definiert, jedoch entsteht daraus noch kein Mehrwert für den Werkzeugbau bei seinen Bestrebungen zur Steigerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit.

Der Mehrwert des Kennzahlensystems resultiert aus den beiden letzten Gestaltungselementen. Das vierte Gestaltungselement thematisiert die **Stakeholder-Kommunikation**. Hierbei wird aufgezeigt, welche Anspruchsgruppen welchen Informationsbedarf aufweisen, und es werden Ansätze zur adressatengerechten Kommunikation präsentiert. Das letzte Gestaltungselement, **Handlungsfelder und Steuerungsgrößen**, schließt den Kreis, indem es das Kennzahlensystem in Form von Steuerungsgrößen mit den relevanten Handlungsfeldern des nachhaltigen Werkzeugbaus verbindet und so die Steuerung ermöglicht. Die fünf vorgestellten Gestaltungselemente ergeben zusammen mit ihren Gestaltungsaspekten das Gestaltungsmodell. Ein Gestaltungsmodell bildet den Rahmen, der durch den Anwendenden zu einem individuellen Modell adaptiert werden muss³⁵⁰. Die Anpassung des vorgestellten Gestaltungsmodells durch den Anwendenden ist erforderlich, um das Ziel des nachhaltigen Werkzeugbaus unternehmensindividuell zu erreichen. Der vollständige Ordnungsrahmen für diese Arbeit zur Messung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau, der sich aus den sechs allgemeinen Elementen des Kennzahlensystems nach GOTTMANN ableitet, ist in Abbildung 4.10 dargestellt.

³⁴⁹ Vgl. Gottmann (Produktionscontrolling): 2019, S. 153.

³⁵⁰ Vgl. Friedli (Technologiemanagement): 2006, S. 21; Guba et al. (Qualitative research): 1994, S. 107.

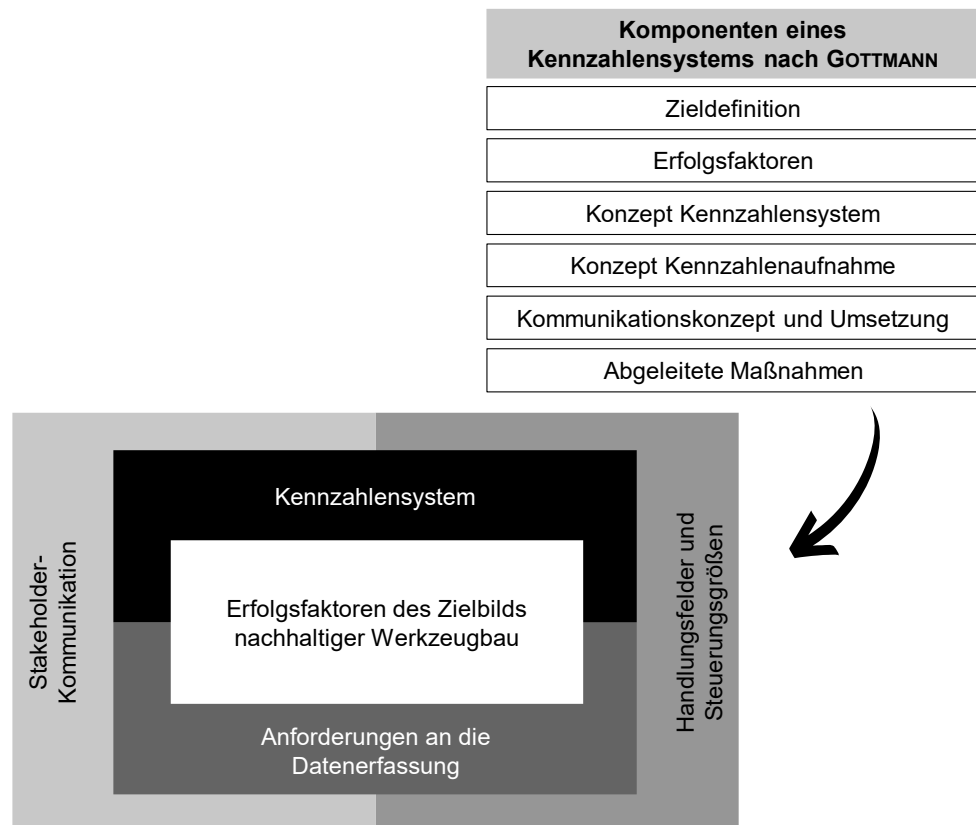


Abbildung 4.10: Herleitung des Gestaltungsmodells zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau aus den allgemeinen Elementen eines Kennzahlensystems nach GOTTMANN³⁵¹

4.5 Kritische Reflexion

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird ein Gestaltungsmodell zur Messung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau entwickelt. In Kapitel 1.2 wurde dazu zunächst die **zentrale Forschungsfrage** wie folgt definiert:

Wie muss ein Kennzahlensystem zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau ausgelegt sein?

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurden in Kapitel 4.3 die einzelnen benötigten Gestaltungselemente konzeptioniert. In Kapitel 4.4 wurden diese zu einem Gestaltungsmodell synthetisiert. Das Gestaltungsmodell setzt sich aus fünf aufeinander aufbauenden Gestaltungselementen zusammen, die jeweils für die Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau erforderlich sind. In Kapitel 5 erfolgt eine detaillierte Darstellung der konzeptionierten Gestaltungselemente. Vorab wird an dieser Stelle ein Zwischenfazit gezogen und eine kritische Reflexion des entwickelten Gestaltungsmodells vorgenommen. Dazu wird zunächst

³⁵¹ Eigene Darstellung, Vgl. Gottmann (Produktionscontrolling): 2019, S. 153.

eine Prüfung durchgeführt, ob die in Kapitel 3.2 definierten **Anforderungen an ein Kennzahlensystem zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau** durch das vorliegende Gestaltungsmodell erfüllt werden.

Die **allgemeinen Anforderungen** umfassen die Effizienz, Zeitorientierung und Anpassungsfähigkeit. Das Gestaltungsmodell erfüllt die allgemeinen Anforderungen. Die Effizienz wird insbesondere im Gestaltungselement Datenerfassung adressiert, wodurch die Grundlage für eine automatisierte Datenaufnahme und Verarbeitung gelegt wird. Die Zeitorientierung ist in der Definition der Kennzahlen und der anspruchsgerechten Kommunikation berücksichtigt. Historische Betrachtungen wie beispielsweise Zeitreihen können als Möglichkeit zur Realisierung dieser Forderung dienen. Die Anpassungsfähigkeit des Kennzahlensystems gewährleistet dessen Zukunftsfähigkeit. Dabei ist zu beachten, dass Kennzahlen dem System hinzugefügt oder entnommen werden können, sollte dies in Zukunft relevant sein.

Die **Anforderungen der Branche Werkzeugbau** stellen sicher, dass die entwickelte Lösung die spezifischen Anforderungen und Eigenschaften des Werkzeugbaus berücksichtigt. Diesbezüglich sind primär die Unikat- und Kleinserienfertigung, der Marktzugang sowie die besondere Stellung in der industriellen Wertschöpfungskette zu berücksichtigen. Im Rahmen der Entwicklung des Kennzahlensystems zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau erfolgt eine explizite Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen dieser Branche. Dies betrifft beispielsweise die Art der Kennzahlen, die spezifischen Anspruchsgruppen entlang der Prozesskette für die Kommunikation sowie die Handlungsfelder. Somit sind die Anforderungen der Branche Werkzeugbau berücksichtigt.

Die **problemspezifischen Anforderungen** stellen die für ein Kennzahlensystem der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau besonders relevanten Anforderungen dar. Der Ordnungsrahmen umfasst fünf Gestaltungselemente. Das erste Element befasst sich mit der Entwicklung eines Zielbilds für einen nachhaltigen Werkzeugbau sowie der Verknüpfung von Erfolgsfaktoren mit diesem Zielbild. Die Anforderung einer **ganzheitlichen Nachhaltigkeit** (A) wird hier erfüllt, da das Zielbild auf den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit basiert. Im nächsten Gestaltungselement erfolgt die Aufstellung des Kennzahlensystems an sich. Dabei ist eine explizite Berücksichtigung der **verschiedenen Anspruchsgruppen** (B) durch die korrekte Auswahl und Gewichtung der Kennzahlen vorgesehen. Im nächsten Gestaltungselement erfolgt die angemessene Erfassung der Kennzahlen. Des Weiteren erfolgt die korrekte Zuordnung zu verschiedenen Abteilungen und Hierarchieebenen, wodurch die **Kompatibilität mit unterschiedlichen Unternehmensstrukturen** (C) gewährleistet wird. Die Ergebnisse des Kennzahlensystems sind im vorletzten Element in ein Ergebnisschaubild zu überführen, um insbesondere **Ursache-Wirkzusammenhänge** (D) zu visualisieren. Im finalen Gestaltungselement werden die Ergebnisse dazu verwendet, Handlungsfelder aus Steuergrößen abzuleiten. Diese werden anschließend hinsichtlich ihrer Eignung für eine schnelle und nützliche Durchführbarkeit beurteilt, wodurch die **Zielorientierung** (E) sichergestellt wird. Das konzipierte Gestaltungsmodell erfüllt somit sämtliche problemspezifischen Anforderungen. Eine Zuordnung der problemspezifischen Anforderungen sowie deren Erfüllung durch das Gestaltungsmodell sind in Abbildung 4.11 dargestellt. Folglich werden alle identifizierten Anforderungen durch das Gestaltungsmodell erfüllt.

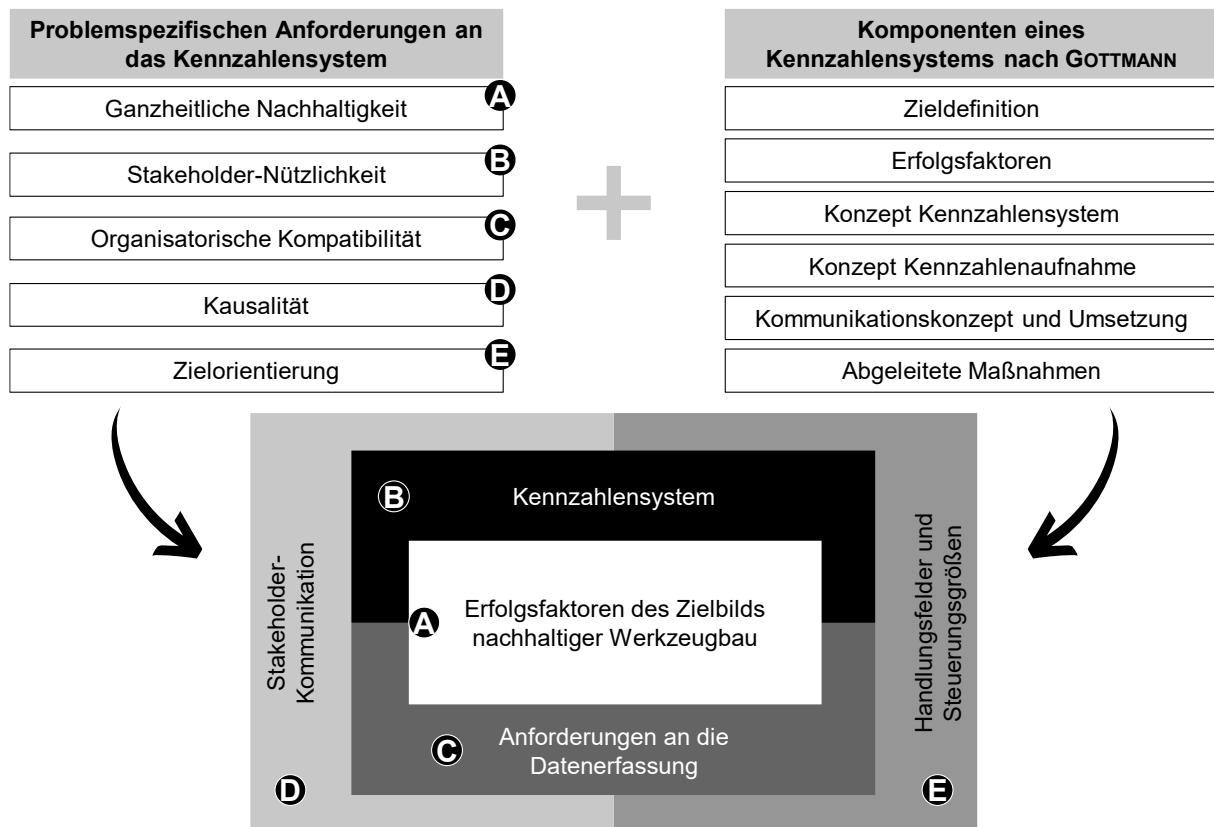


Abbildung 4.11: Anforderungen an ein Gestaltungsmodell zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau³⁵²

Das entwickelte Gestaltungsmodell erfüllt nicht nur die Anforderungen, sondern dient auch der Beantwortung der sich aus der zentralen Forschungsfrage ergebenden **Unterforschungsfragen** aus Kapitel 3.6. Diese Unterforschungsfragen sind wie folgt aufgestellt:

Durch welche Erfolgsfaktoren lässt sich der ganzheitlich nachhaltige Werkzeugbau charakterisieren?

Die erfolgreiche Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit ist nur unter der Prämisse der Zielorientierung möglich, da erst die Definition eines klaren Ziels für die Nachhaltigkeit die Ableitung von Messgrößen ermöglicht. Das erste Gestaltungselement befasst sich mit den strategischen Zielen und Teilzielen des ganzheitlich nachhaltigen Werkzeugbaus sowie den sich daraus ergebenden Erfolgsfaktoren, die den größten Einfluss auf die identifizierten Ziele haben. Anhand dieser Erfolgsfaktoren lässt sich der nachhaltige Werkzeugbau charakterisieren.

Wie kann ganzheitliche Nachhaltigkeit in Kennzahlen überführt werden und welche Anforderungen werden an die notwendigen Daten gestellt?

Die organisatorische Kompatibilität manifestiert sich in der Struktur des Kennzahlensystems, wobei die Gewährleistung einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbetrachtung die Bereitstellung

³⁵² Eigene Darstellung

aller erforderlichen Daten der drei Nachhaltigkeitsdimensionen bedingt. Bereits bei der Formulierung des Zielbilds des nachhaltigen Werkzeugbaus finden die drei Dimensionen ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeit Beachtung. Die Ableitung der Kennzahlen erfolgt aus den genannten Zielen und Erfolgsfaktoren, während die mathematische Beschreibung der Kennzahlen im anschließenden Gestaltungselement die benötigten Eingangsgrößen und die Anforderungen an diese definiert.

Wie kann das Kennzahlensystem anforderungsgerecht an relevante Anspruchsgruppen kommuniziert werden?

Die Anforderung der Stakeholder-Nützlichkeit ist von entscheidender Relevanz für die Entfaltung des vollen Potenzials, das durch die Messung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau gehoben werden kann. Die Beantwortung dieser Frage ist dem Gestaltungselement der Stakeholder-Kommunikation zuzuschreiben. In diesem Rahmen erfolgt die Identifikation der Struktur und des individuellen Informationsbedarfs der relevanten Anspruchsgruppen. Im Anschluss erfolgt die Entwicklung von Darstellungsformen des Kennzahlensystems, die auf die spezifischen Informationsbedürfnisse der zuvor identifizierten Gruppen abgestimmt sind.

Wie kann mit dem Kennzahlensystem der nachhaltige Werkzeugbau kontinuierlich gesteuert werden?

Abschließend muss der Kreis der Nachhaltigkeitsmessung zur Steuerung des Werkzeugbaus geschlossen werden, was durch die Anforderung der Kausalität sichergestellt wird. Die Beziehung zwischen den für den nachhaltigen Werkzeugbau relevanten Handlungsfeldern und den Steuergrößen aus dem entwickelten Kennzahlensystem wird durch die Identifikation und anschließende Verknüpfung dieser Handlungsfelder mit den Steuergrößen abgebildet. Das entwickelte Gestaltungsmodell zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau (vgl. Kapitel 4.4) ist folglich geeignet, um die zentrale Forschungsfrage sowie deren Unterfragen zu beantworten und somit sicherzustellen, dass der ausgearbeitete **Forschungsbedarf vollumfänglich adressiert** wird.

5 Detaillierung des Gestaltungsmodells

In Kapitel 4 wurde das Gestaltungsmodell zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau konzeptioniert und auf Basis der definierten Anforderungen sowie der zentralen Forschungsfragen samt Unterforschungsfragen kritisch reflektiert. In diesem Kapitel erfolgt eine detaillierte Darstellung der einzelnen Gestaltungselemente, wobei jeweils die spezifischen Grundlagen erläutert und die Gestaltungsaspekte der einzelnen Elemente näher beschrieben werden. Im Anschluss an diese detaillierte Betrachtung erfolgt die Analyse der Wechselwirkungen zwischen den Gestaltungselementen.

5.1 Detaillierung der Erfolgsfaktoren des Zielbilds „Nachhaltiger Werkzeugbau“

Die erfolgreiche Entwicklung eines Kennzahlensystems zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau erfordert die Definition eines **Zielbilds „Nachhaltiger Werkzeugbau“**, welches als Orientierungsrahmen für das Kennzahlensystem dient. Dieses Zielbild wird in Vision, Mission, strategischen Zielen und Teilzielen detailliert. Die Übersetzung des Zielbilds in **Erfolgsfaktoren der Nachhaltigkeit** stellt einen wesentlichen Schritt dar. Diese Faktoren umfassen alle Elemente, die einen positiven Einfluss auf die Erreichung des Zielbilds haben. Die unternehmensindividuelle Bedeutung der Ziele und Erfolgsfaktoren im betrachteten Werkzeugbau lässt sich mit der **Bewertung der Erfolgsfaktoren** erreichen. Die Bewertung der einzelnen Erfolgsfaktoren lässt in der Summe auf den Grad der Bedeutung für das definierte Zielbild „Nachhaltiger Werkzeugbau“ schließen. Die Teilaspekte des Gestaltungselements Erfolgsfaktoren des Zielbilds nachhaltiger Werkzeugbau sind in Abbildung 5.1 dargestellt.

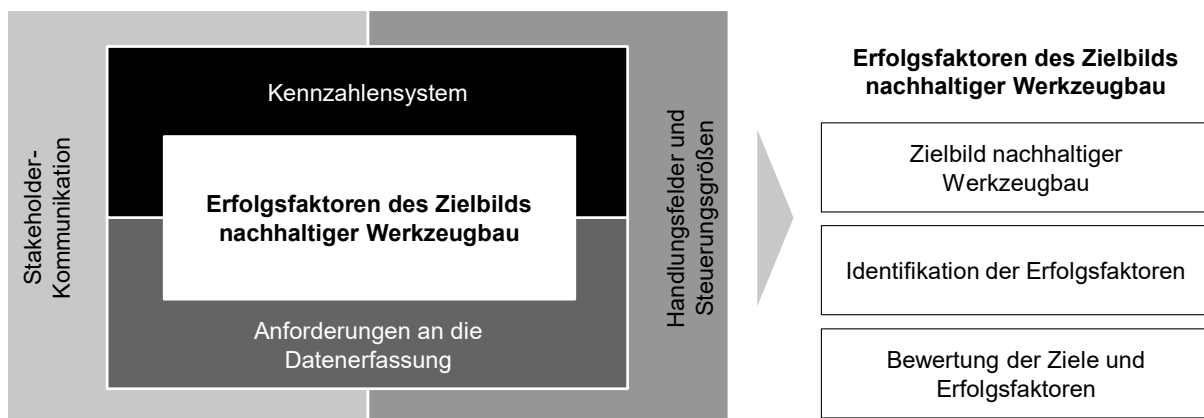


Abbildung 5.1: Gestaltungselement Erfolgsfaktoren des Zielbilds nachhaltiger Werkzeugbau³⁵³

³⁵³ Eigene Darstellung

Im Folgenden werden die relevanten Grundlagen zur Entwicklung der Erfolgsfaktoren des Zielbilds „Nachhaltiger Werkzeugbau“ dargelegt. Im Anschluss erfolgt eine Erläuterung der einzelnen Gestaltungsaspekte.

5.1.1 Grundlagen

Zunächst sollen die zentralen Begriffe des vorliegenden Gestaltungselements definiert werden. Die **Vision** (lat. „videre“ = sehen; „visio“ = Schau) stellt eine realitätsnahe Beschreibung der angestrebten Zukunft dar und bildet die Basis für die längerfristige Ausrichtung des Unternehmens.³⁵⁴ Die **Mission** konkretisiert die Vision, indem sie den Zweck des Unternehmens anhand der Nutzenversprechen gegenüber den Anspruchsgruppen beschreibt³⁵⁵. Das **Unternehmensziel** setzt sich aus den Zielsetzungen der einzelnen Anspruchsgruppen des Unternehmens zusammen, die alle ein wirtschaftliches Interesse am Unternehmen verbindet³⁵⁶. Dieses Unternehmensziel lässt sich in **strategische Ziele** gliedern. Die Strategie (griech. „strategos“ = Heerführung) bezeichnet die langfristigen Unternehmensziele³⁵⁷. Aus einem Hauptziel, den strategischen Zielen, lassen sich einzelne **Teilziele** ableiten³⁵⁸. HAUBOLD beschäftigt sich ergänzend dazu mit der Frage, auf welche Art und Weise das Prinzip der Nachhaltigkeit in die Unternehmensziele integriert werden kann³⁵⁹.

Der Begriff „**Anspruchsgruppen**“ oder im Englischen „Stakeholder“ bezeichnet alle Gruppen, die einen Anteil (engl. „stake“) am Unternehmen haben und folglich ein komplexes Netzwerk um das Unternehmen bilden. Um den Einfluss und die Interessen der verschiedenen Anspruchsgruppen zu untersuchen, ist es zunächst nötig, diese strukturiert zu erfassen.³⁶⁰

Die **Stakeholder-Analyse** bezeichnet die Analyse der Unternehmens-, Geschäftsbereichs- oder Projektumwelt. Zu diesem Zweck werden zunächst die relevanten Anspruchsgruppen identifiziert und anschließend deren Ansichten, Erwartungen und Einflussmöglichkeiten untersucht, sodass sich ein umfassendes Bild der Erwartungen, die an das Unternehmen gestellt werden, ergibt. Diese Vorgehensweise eignet sich in besonderer Weise, um das Unternehmensziel zu untersuchen.³⁶¹

Der **Paarvergleich** stellt eine Methode dar, um einzelne Objekte miteinander zu vergleichen und dabei auch feine Unterschiede aufzuzeigen. Ein Beispiel für die Anwendung des Paarweisen Vergleichs ist ein Verfahren, bei dem in einer Matrix nacheinander alle Paarungen der Objekte zueinander bewertet werden. Daraus ergibt sich schließlich eine Gesamtbewertung aller Objekte.³⁶²

³⁵⁴ Vgl. Rückle et al. (Der Unternehmenserfolg): 2017, S. 4.

³⁵⁵ Vgl. Müller-Stewens (Unternehmensleitbild): 2018, S. 1.

³⁵⁶ Vgl. Gillenkirch (Zielsystem der Unternehmung): 2018, S. 1.

³⁵⁷ Vgl. Rückle et al. (Der Unternehmenserfolg): 2017, S. 72.

³⁵⁸ Vgl. Rückle et al. (Der Unternehmenserfolg): 2017, S. 79–80.

³⁵⁹ Vgl. Haubold (Die Normierung der Unternehmensziele): 2023, S. 22.

³⁶⁰ Vgl. Freeman (Strategic Management): 2010, S. 24–25.

³⁶¹ Vgl. Nagel et al. (Methodenhandbuch der Betriebswirtschaft): 2020, S. 299–304.

³⁶² Vgl. Behnke et al. (Grundlagen der statistischen Datenanalyse): 2006, S. 169–181.

Erfolgsfaktoren werden als Eigenschaften einer Strategie definiert, die für die Zweck- oder Zielerreichung von entscheidender Bedeutung sind. Ihre Präsenz hat eine positive Wirkung und erhöht die Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung.³⁶³ Nach der Definition strategischer Ziele und Teilziele stellt die Ermittlung der Erfolgsfaktoren den entscheidenden Schritt dar, um später Kennzahlen ableiten zu können. Die Entwicklung dieser Erfolgsfaktoren sollte gemäß GOTTMANN strukturiert erfolgen und mittels eines Treiberbaums dargestellt werden, um eine vollständige Betrachtung zu gewährleisten. Die nachfolgende Ausführung präsentiert die von GOTTMANN vorgeschlagenen Strukturierungsansätze:³⁶⁴

- Zusammensetzung des Unternehmensziels
- Prozessorientierte Struktur
- Kalkulationsstruktur/ Kostenstellen
- 6Ms – Mensch, Maschine, Material, Mitwelt, Methode, Messsystem
- Funktionsorientierte Struktur (Unternehmensfunktion/ Organisationseinheit)
- Wirkkette – Was hat Einfluss auf das Unternehmensziel?

Dem ersten Ansatz folgend bietet sich beispielsweise für die Betrachtung der Nachhaltigkeit die Zusammensetzung des Unternehmensziels aus ökologischen, ökonomischen, sozialen und Governance Zielen an.

Die **doppelte Wesentlichkeitsanalyse** stellt einen essenziellen Teil der Erstellung eines CSRD-konformen Nachhaltigkeitsberichts dar. Dabei werden sämtliche relevanten Themen, die durch die ESRS-Bereiche vorgegeben sind, sowohl unter Umwelt- und sozialen als auch unter finanziellen Gesichtspunkten bewertet. In Tabelle 7.2 im Anhang ist die vollständige Aufstellung der ESRS-Bereiche dargestellt. Dadurch wird eine umfassende Analyse der Relevanz der einzelnen Aspekte der Nachhaltigkeit für das Unternehmen sichergestellt. Die Bewertung ermöglicht eine Behandlung der Aspekte im Rahmen des CSRD-Nachhaltigkeitsberichts in unterschiedlicher Detailtiefe, wobei das Vorgehen in folgenden zentralen Bestandteilen begründet ist:³⁶⁵

- Analyse des **Unternehmensumfelds** wie der Anspruchsgruppen, ökologischen, sozio-ökonomischen und politischen Besonderheiten
- Bewertung der **Chancen und Risiken** durch das Unternehmen für die Umwelt (inside-out) und durch die Umwelt für das Unternehmen (outside-in)
- **Interpretation und Darstellung** des Ergebnisses

Der **Praxisbezug** wird durch den intensiven Austausch mit Werkzeugbaubetrieben im Rahmen verschiedener Projekte hergestellt, wobei das Konsortialprojekt zur Entwicklung eines CSRD-konformen Nachhaltigkeitsberichts für Werkzeugbaubetriebe eine besondere Relevanz

³⁶³ Vgl. Heinrich et al. (Wirtschaftsinformatik-Lexikon): 2014, S. 235.

³⁶⁴ Vgl. Gottmann (Produktionscontrolling): 2019, S. 150–152.

³⁶⁵ Vgl. EFRA (Implementation guidance): 2024, S. 5–55; Europäischen Union (Richtlinie 2022/2464, Nachhaltigkeitsberichterstattung): 2022, S. 24–28.

aufweist. Im Rahmen dieses Projekts wurden zudem die Nachhaltigkeitsziele des Werkzeugbaus diskutiert.³⁶⁶ Zur Sicherstellung des Praxisbezugs und zur Entwicklung eines Zielbilds für den nachhaltigen Werkzeugbau wurde im Rahmen des Projekts die Methode der Doppelten Wesentlichkeitsanalyse genutzt, um das im folgenden Abschnitt dargestellte Ergebnis zu erarbeiten. Zunächst wurden alle Unterthemen einzeln hinsichtlich ihrer Umwelt- und sozialen Wesentlichkeit analysiert. In diesem ersten Schritt ging es darum, die Themen im Detail zu verstehen und deren Auswirkungen zu bewerten, weiter wurde das Ausmaß der Auswirkungen, der Umfang der betroffenen Bereiche sowie die Möglichkeit, die Auswirkungen zu beheben, berücksichtigt. Anschließend wurde eine Gesamtsumme dieser Bewertungen gebildet, um die Relevanz der einzelnen Themen zu bestimmen. Im weiteren Verlauf wurden bestehende Richtlinien analysiert und relevante Stakeholder spezifisch betrachtet, um deren Einfluss und Anliegen zu berücksichtigen. Zusätzlich wurden begründete Einflüsse sowie potenziell positive Auswirkungen identifiziert und erste Ziele und Maßnahmen zur Adressierung der wesentlichen Themen formuliert.

Im Anschluss daran erfolgte die Bewertung der finanziellen Wesentlichkeit, in welcher die Themen ebenfalls detailliert analysiert wurden, jedoch mit dem Fokus auf das finanzielle Risiko und die Chancen, die sie für das Unternehmen darstellen. Die Bewertung erfolgte nach dem Ausmaß der finanziellen Auswirkungen sowie der Wahrscheinlichkeit ihres Eintritts. Auch in diesem Schritt wurden spezifische Risiken und Chancen gesammelt und in die Bewertung integriert. Durch die Anwendung der doppelten Wesentlichkeit wurde sichergestellt, dass alle relevanten Themen sowohl aus Umwelt- und sozialen als auch aus finanziellen Perspektiven vollständig erfasst und im Zielbild „Nachhaltiger Werkzeugbau“ angemessen berücksichtigt werden.

Die Entwicklung der Ziele und Erfolgsfaktoren des nachhaltigen Werkzeugbaus wird durch folgende Werke maßgeblich beeinflusst: Die wohl bekannteste Publikation zum Thema Nachhaltigkeit ist die Agenda 2030 der Vereinten Nationen. In diesem Dokument werden Ziele der nachhaltigen Entwicklung formuliert, die bis zum Jahr 2030 erreicht werden sollen. Diese Ziele sind unter dem Namen **SDGs** bekannt. Die 17 Ziele der Agenda 2030 zielen auf eine ganzheitliche Nachhaltigkeit ab und haben zum allgemeinen Ziel, dass sämtlichen Menschen, dieser und kommender Generationen, ein gutes Leben gewährleistet wird.

Die **VDWF-Selbstverpflichtung nachhaltiges Wirtschaften** des Verbands Deutscher Werkzeug- und Formenbauer e. V. (VDWF) dient als Vorlage, mit der sich insbesondere KMUs zu nachhaltigem Wirtschaften verpflichten können. In diesem Kontext werden Aspekte der Nachhaltigkeit in der Unternehmensführung sowie die Fragestellungen zu Umwelt und Gesellschaft berücksichtigt.³⁶⁷

³⁶⁶ Konsortialprojekt der WBA „Nachhaltigkeitscontrolling – Entwicklung eines Nachhaltigkeitsberichts für den Werkzeugbau entsprechend der europäischen Berichtspflicht (CSRD)“, 2024

³⁶⁷ Vgl. VDWF (VDWF-Selbstverpflichtung nachhaltiges Wirtschaften): 2024, S. 3.

Das Whitepaper „**Ökoeffektiver Werkzeugbau**“ präsentiert ein neues Leitbild für den Werkzeugbau, welches auf der bisherigen Entwicklung vom werkstattorientierten zum industrialisierten Werkzeugbau aufbaut. Das neue Leitbild verbindet ökologische und soziale Nachhaltigkeit mit Industrialisierung und wirtschaftlichem Erfolg.³⁶⁸ Des Weiteren bauen Teile des Kapitels auf den Inhalten auf, die der Autor 2025 auf der Conference on Production Systems and Logistics in Lima präsentiert hat³⁶⁹.

5.1.2 Zielbild „Nachhaltiger Werkzeugbau“

Das Zielbild „Nachhaltiger Werkzeugbau“ muss auf den Forderungen seiner Anspruchsgruppen beruhen, um ein vollumfängliches Zielbild zu gewährleisten. Die Betrachtung der Organisation Werkzeugbau aus verschiedenen Perspektiven ist für die Vereinigung der Interessen all dieser Gruppen essenziell.

5.1.2.1 Forderungen der Anspruchsgruppen an den Werkzeugbau

Zunächst werden die für die vorliegende Arbeit **relevanten Anspruchsgruppen** identifiziert. Mithilfe dieser Aufstellung kann die nötige Transparenz über die an den Werkzeugbau gestellten Forderungen geschaffen werden. Das St. Galler Management-Modell nach RÜEGG-STÜRM³⁷⁰ dient dabei als Grundlage für die Strukturierung der Anspruchsgruppen, die positiven wie negativen Einfluss auf das betrachtete Unternehmen nehmen können. Für den Werkzeugbau werden die sieben Anspruchsgruppen des St. Galler Management-Modells (Mitarbeitende, Kunden, Öffentlichkeit, Staat, Lieferanten, Konkurrenz, Kapitalgebende) nach BOOS ET AL. zu sechs relevanten Gruppen zusammengefasst worden³⁷¹, wobei die Gruppen „Öffentlichkeit“ und „Staat“ zu „Politik und Gesellschaft“ aggregiert werden. Die Anspruchsgruppe Konkurrenz wird in der Betrachtung des Werkzeugbaus als Unternehmen als besonders relevant erachtet³⁷². So spielt die Konkurrenz eine bedeutende Rolle für den fairen Wettbewerb am Markt, wie beispielsweise der Zertifikatsmarkt für die Kompensation von Emissionen deutlich zeigt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ergeben sich somit folgende relevante Anspruchsgruppen für den Werkzeugbau:

- Mitarbeitende
- Kunden
- Lieferanten
- Politik und Gesellschaft
- Kapitalgebende
- Konkurrenz

³⁶⁸ Vgl. Boos et al. (Ökoeffektiver Werkzeugbau): 2023, S. 18.

³⁶⁹ Vgl. Boos et al. (Vision for sustainable tool and die manufacturing): 2025.

³⁷⁰ Vgl. Rüegg-Stürm et al. (Das St. Galler Management-Modell): 2017, S. 105–116.

³⁷¹ Vgl. Boos et al. (Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit): 2020, S. 11.

³⁷² Vgl. Ochel (Resilienzsteigerung im Werkzeugbau): 2023, S. 146.

Aufbauend auf den identifizierten Anspruchsgruppen werden deren **Forderungen gegenüber dem Werkzeugbau** analysiert und als Übersicht in Abbildung 5.2 dargestellt. Die Gruppe der **Mitarbeitenden** bildet die Grundlage für den erfolgreichen Werkzeugbau³⁷³. Der Schwerpunkt der Anforderungen dieser Gruppe liegt in der sozialen Dimension, wenngleich nicht ausschließlich. Sichere Arbeitsbedingungen im Sinne der Arbeitssicherheit und der langfristigen Erhaltung des Arbeitsplatzes sind dabei von besonderer Relevanz. Darüber hinaus ist die Zufriedenheit der Mitarbeitenden mit der Arbeit von entscheidender Bedeutung, da diese sich positiv auf die Produktivität, Qualität und Fluktuation von Mitarbeitenden auswirkt³⁷⁴. Weitere Forderungen sind faire Bezahlung, Entwicklungsmöglichkeiten und Mitbestimmung.³⁷⁵

- **Mitarbeitende:** Faire Bezahlung, Mitbestimmung, Entwicklungsmöglichkeiten und sichere Arbeitsbedingungen

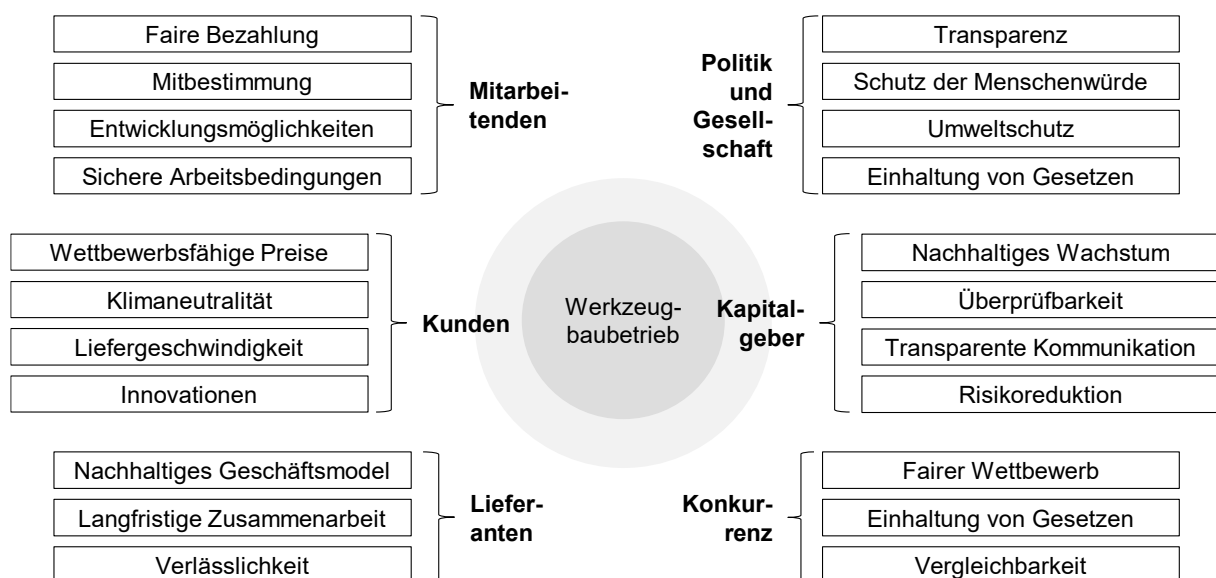


Abbildung 5.2: Anspruchsgruppen und deren Erwartungen an den nachhaltigen Werkzeugbau³⁷⁶

Die Anspruchsgruppe der **Kunden** betrachtet den Werkzeugbau aus externer und primär ökonomischer Perspektive und formuliert traditionelle Anforderungen hinsichtlich wettbewerbsfähiger Preise, Qualität und Liefargeschwindigkeit. Externe Werkzeugbaubetriebe sind in hohem Maße von den Kunden abhängig und unterliegen einem signifikanten Kostendruck. Neben dem finanziellen Druck werden von den Kunden des Werkzeugbaus vermehrt auch Maßnahmen zur Steigerung der Nachhaltigkeit gefordert, die über die reine Erfüllung von Nachhaltigkeitsrichtlinien hinaus gehen³⁷⁷. Dabei liegt der Fokus auf der Klimaneutralität. In einem solchen Umfeld, das durch einen hohen Wettbewerbsdruck gekennzeichnet ist, kann die Steige-

³⁷³ Vgl. Boos et al. (Erfolgreich Nachhaltigkeit messbar machen): 2024, S. 11–12.

³⁷⁴ Vgl. Boos et al. (Erfolgreich Nachhaltigkeit messbar machen): 2024, S. 11.

³⁷⁵ Vgl. Boos et al. (Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit): 2020, S. 33–35.

³⁷⁶ Eigene Darstellung

³⁷⁷ Vgl. Boos et al. (Erfolgreich Nachhaltigkeit messbar machen): 2024, S. 12.

rung der Nachhaltigkeit als Chance betrachtet werden, um sich von internationalen Marktbegleitern zu differenzieren³⁷⁸. Eine weitere Möglichkeit zur Differenzierung stellt die Positionierung als ein besonders innovationsgetriebenes Unternehmen dar.

- **Kunden:** Wettbewerbsfähige Preise, Liefergeschwindigkeit, Klimaneutralität und Innovation

In der vorgelagerten Wertschöpfungskette sind die **Lieferanten** zu verorten, für die eine langfristige und verlässliche Zusammenarbeit von Relevanz ist. Diese Zusammenarbeit basiert auf gegenseitigem Vertrauen und Transparenz, wobei realistische Forderungen in Bezug auf Preise, Qualität und Lieferzeit die Grundlage bilden. Daraus folgt die Forderung nach einem nachhaltigen Geschäftsmodell, welches eine langfristig erfolgreiche Zusammenarbeit ermöglicht. Dies ist insbesondere im Kontext der Nachhaltigkeit von großer Bedeutung für den Werkzeugbau, da eine vertrauensvolle Zusammenarbeit entlang der Lieferkette essenziell ist, um die Emissionen des Scope 3, welche den größten Anteil der Emissionen in der Werkzeugherstellung ausmachen, zu reduzieren.

- **Lieferanten:** Nachhaltiges Geschäftsmodell und langfristige Zusammenarbeit

Die Marktbegleiter des Werkzeugbaus stellen die **Konkurrenz** dar, wobei der Werkzeugbau auf die manuelle Arbeit von gut ausgebildeten Fachkräften angewiesen ist. Insofern üben insbesondere Betriebe aus Regionen mit geringerem Lohnniveau einen großen ökonomischen Druck auf deutschsprachige Werkzeugbaubetriebe aus, was zu einem intensiveren Wettbewerb führt. In einem solchen angespannten Markt stellt der faire Wettbewerb eine zentrale Forderung dar. Diese Forderung kann um die Einhaltung aller relevanten Wettbewerbsgesetze erweitert werden, wobei primär die Aspekte der ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit zu berücksichtigen sind. In diesen Bereichen existieren noch keine etablierten Standards, was zu erheblichen Unterschieden bei der Berechnung der am Markt relevanten Emissionen führt. Die Forderung nach Transparenz und Vergleichbarkeit ist in diesem Zusammenhang von besonderer Relevanz.

- **Konkurrenz:** Fairer Wettbewerb, Einhaltung aller Gesetze, Vergleichbarkeit und Transparenz

Die Anspruchsgruppe „**Politik und Gesellschaft**“ nimmt einen signifikanten Einfluss auf den Werkzeugbau, da die Rahmenbedingungen für diesen durch Richtlinien und Gesetze bestimmt werden, die wiederum der zunehmenden Forderung der Gesellschaft nach Umweltschutz und sozialer Gerechtigkeit Ausdruck verleihen. Exemplarisch hierfür sind das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz (LkSG)³⁷⁹ oder die europäische Berichtspflicht CSRD³⁸⁰. Die von der UN 2015

³⁷⁸ Vgl. Boos et al. (Leistungssysteme im Werkzeugbau): 2024; Boos et al. (Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit): 2020, S. 5.

³⁷⁹ Vgl. Bundestag (Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz): 2021.

³⁸⁰ Vgl. Europäischen Union (Richtlinie 2022/2464, Nachhaltigkeitsberichterstattung): 2022.

verabschiedeten 17 SDGs³⁸¹ sind zwar nicht bindend, drücken jedoch ebenfalls die Erwartungen der Gesellschaft aus. Konkret treffen dabei den Werkzeugbau die Forderungen nach Transparenz, Gerechtigkeit, Schutz der Menschenwürde und Umweltschutz im Sinne von Klimaschutz, Ressourcenschonung und Vermeidung von negativen Auswirkungen auf die Biodiversität.³⁸²

- **Politik und Gesellschaft:** Transparenz, Gerechtigkeit, Schutz der Menschenwürde und Umweltschutz im Sinne von Klimaschutz, Ressourcenschonung und Vermeidung von negativen Auswirkungen auf die Biodiversität

Abschließend sind die Forderungen der Anspruchsgruppe der **Kapitalgebende** zu nennen, deren Interesse traditionell auf einer hohen Rendite ihres investierten Kapitals liegt. Somit stehen die herkömmlichen ökonomischen Kennwerte im Fokus. Jedoch ist zu beobachten, dass der Kapitalmarkt zum einen auf Druck aus Politik und Kunden dazu gezwungen ist, ökologische und soziale Aspekte bei Investitionen zu berücksichtigen. Zum anderen gewährleisten nachhaltige Unternehmen auch einen langfristigen Erfolg und damit Renditen. Die Forderungen der Kapitalgebende lassen sich demnach auf die Überprüfbarkeit von Nachhaltigkeitsbemühungen, deren Vergleichbarkeit mit anderen Betrieben der Branche sowie nachhaltiges Wachstum zurückführen.

- **Kapitalgebende:** Überprüfbarkeit von Nachhaltigkeitsbemühungen, Vergleichbarkeit und nachhaltiges Wachstum

5.1.2.2 Strategische Ziele des nachhaltigen Werkzeugbaus

Das Zielbild des nachhaltigen Werkzeugbaus muss den identifizierten Anforderungen gerecht werden, wobei die für Unternehmen relevanten SDGs bei der Zielentwicklung als Teil der Forderungen der Anspruchsgruppe „Politik und Gesellschaft“ zu berücksichtigen sind. Die ESRS-Bereiche aus der CSRD-Berichtspflicht werden bei den Erfolgsfaktoren berücksichtigt, wobei unter den 17 SDGs der UN vier als besonders relevant für die Wirtschaft identifiziert werden. Diese werden im Rahmen des „SDGs Wedding Cake“-Modells³⁸³ herausgearbeitet und sind daher auch Teil der Zielbildung für den Werkzeugbau. Die für den Werkzeugbau besonders relevanten vier SDGs sind „menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum“, „Industrie, Innovation und Infrastruktur“, „weniger Ungleichheiten“ und „verantwortungsvolle Konsum- und Produktionsmuster“. Die Darstellung dieser erfolgt in Abbildung 5.3.

³⁸¹ Vgl. United Nations (Transforming our world): 2015, S. 14.

³⁸² Vgl. Boos et al. (Erfolgreich Nachhaltigkeit messbar machen): 2024, S. 11.

³⁸³ Vgl. Rockström et al. (The SDGs Wedding Cake): 2016, S. 1.



Abbildung 5.3: Übersicht der vier für den Werkzeugbau relevantesten SDGs³⁸⁴

Eine weitere Grundlage für die Entwicklung des Zeitbilds stellt der Austausch mit Werkzeugbaubetrieben als zukünftige Anwendende des in der vorliegenden Arbeit entwickelten Konzepts dar. Um die Bewertung der Werkzeugbaubetriebe zu berücksichtigen, wurde im Rahmen des Konsortialprojekts der WBA zum Thema Nachhaltigkeitscontrolling gemeinsam mit den teilnehmenden Werkzeugbaubetrieben eine für die Branche gültige Bewertung der Nachhaltigkeitsbereiche vorgenommen³⁸⁵. Die Basis dafür stellten die ESRS-Bereiche der CSRD-Berichtspflicht und die doppelte Wesentlichkeitsanalyse (vgl. Kapitel 5.1.1) dar.

Die Werkzeugbaubetriebe stuften die Themen E1 (Klimawandel) und E5 (Ressourcennutzung und Kreislaufwirtschaft) als besonders wesentlich ein. Die Herstellung von Werkzeugen ist energieintensiv und erfordert erhebliche Mengen an Rohstoffen, sodass der Klimawandel die Produktionsprozesse direkt beeinflusst und Maßnahmen zur Reduzierung von CO₂e-Emissionen erfordert. Die effiziente Nutzung von Ressourcen und die Implementierung von Prinzipien der Kreislaufwirtschaft sind entscheidend, um Materialabfälle zu minimieren und nachhaltige Produktionsmethoden zu fördern. Die Ergebnisse der Analyse sind in Abbildung 5.4 in einem Koordinatensystem dargestellt.

³⁸⁴ Eigene Darstellung mit Inhalten und Grafiken der UN SDGs

³⁸⁵ Konsortialprojekt der WBA „Nachhaltigkeitscontrolling – Entwicklung eines Nachhaltigkeitsberichts für den Werkzeugbau entsprechend der europäischen Berichtspflicht (CSRD)“, 2024

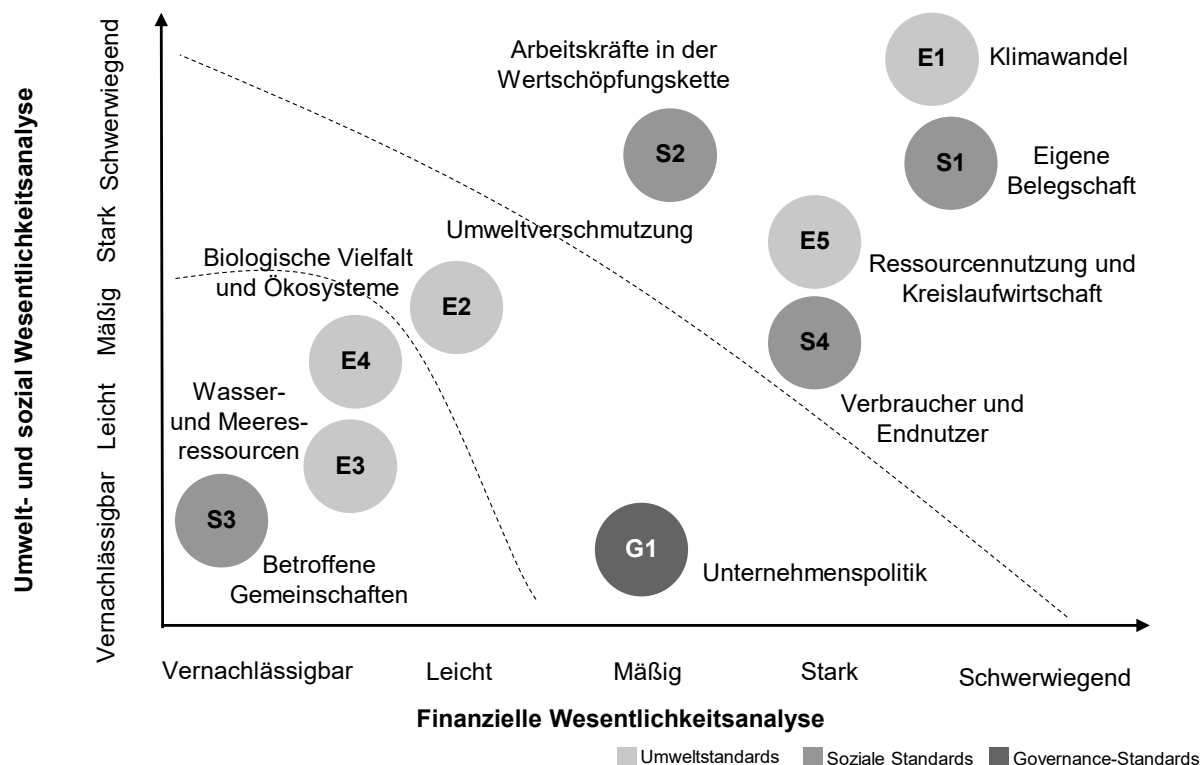


Abbildung 5.4: Ergebnis der Bewertung der Nachhaltigkeitsbereiche durch Werkzeugbaubetriebe mit Hilfe der doppelten Wesentlichkeitsanalyse³⁸⁶

Im sozialen Bereich wurden die folgenden Aspekte als wesentlich identifiziert: S1 (Eigene Belegschaft), S2 (Arbeitskräfte in der Wertschöpfungskette) und S4 (Verbraucher und Endnutzer). Mitarbeitende stellen das Rückgrat des Werkzeugbaus dar, weshalb großer Wert auf ihre Sicherheit, Gesundheit und berufliche Weiterentwicklung gelegt wird. Auch in der Lieferkette ist es von hoher Relevanz, faire Arbeitsbedingungen zu gewährleisten und soziale Standards einzuhalten. Die Produktverantwortung gegenüber den Kunden ist von hoher Bedeutung, da die Qualität und Sicherheit der Werkzeuge direkte Auswirkungen auf die Arbeitsprozesse der Endnutzer haben.

Darüber hinaus wurden die Themen E2 (Umweltverschmutzung) und G1 (Unternehmenspolitik) als relevant eingestuft. Die Kontrolle von Emissionen und die Vermeidung von Umweltverschmutzung sind essenziell, insbesondere hinsichtlich der Verwendung von Chemikalien und Schmierstoffen in der Fertigung. Eine solide Unternehmensführung ist notwendig, um Nachhaltigkeitsziele zu erreichen und ethische Geschäftspraktiken sicherzustellen. Diese Einstufungen resultieren aus einem strukturierten Bewertungsprozess, bei dem Experten aus verschiedenen Unternehmensbereichen wie Produktion, Umweltmanagement und Personalwesen eingebunden wurden. Dadurch wurde ein umfassendes Verständnis der für den Werkzeugbau wesentlichen Nachhaltigkeitsthemen erlangt und gezielte Strategien entwickelt, um

³⁸⁶ Vgl. Hinrichs (Nachhaltigkeit als Unternehmensstrategie): 2023, S. 148.; mit Ergebnissen aus Konsortialprojekt der WBA „Nachhaltigkeitscontrolling – Entwicklung eines Nachhaltigkeitsberichts für den Werkzeugbau entsprechend der europäischen Berichtspflicht (CSRD)“, 2024

sowohl ökologische als auch soziale Verpflichtungen zu erfüllen. Die Vorarbeiten für die Herleitung der Ziele und Erfolgsfaktoren sind in Abbildung 5.5 zusammengefasst. Auf dieser Basis wurde das entwickelte Zielbild erstellt.

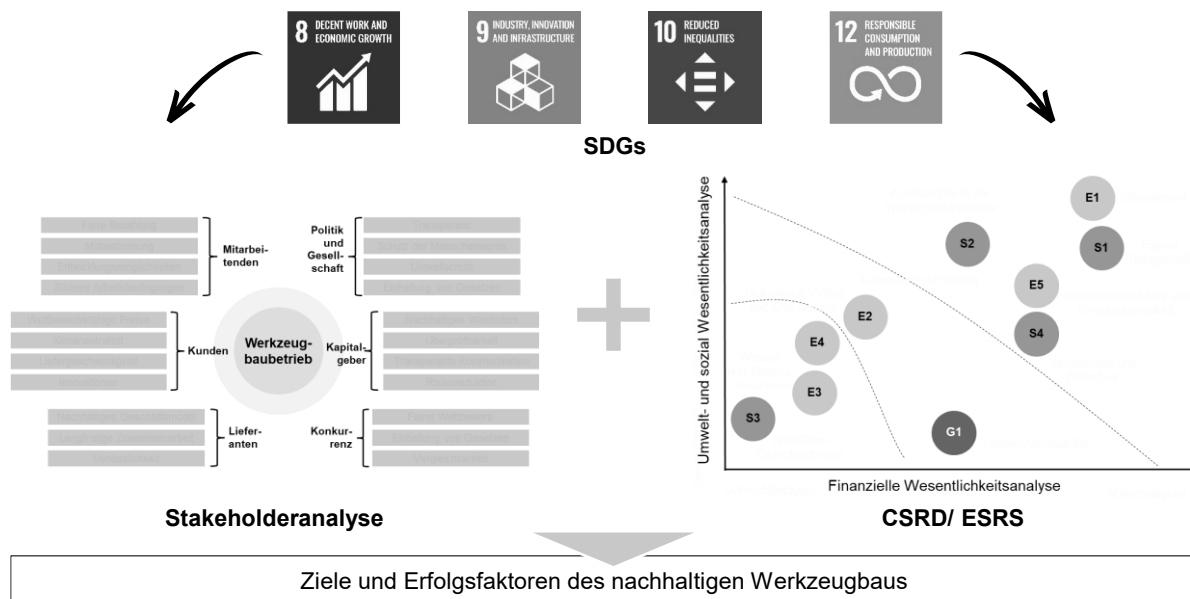


Abbildung 5.5: Herleitung der Ziele und Erfolgsfaktoren für den nachhaltigen Werkzeugbau³⁸⁷

Die Vision stellt die höchste Abstraktionsebene der **Struktur des Zielbilds „Nachhaltiger Werkzeugbau“** dar. Alle folgenden Ebenen zeichnen sich durch eine zunehmende Detaillierung aus, wodurch eine Verbindung sämtlicher Ebenen untereinander sowie eine Ausrichtung auf die gleiche Vision und die gleichen Ziele gewährleistet wird. Die Vision wird in die Mission übersetzt, die sich wiederum in verschiedene strategische Ziele gliedert. Diese strategischen Ziele lassen sich durch Teilziele je strategisches Ziel beschreiben. In den Erfolgsfaktoren werden alle Faktoren beschrieben, die einen relevanten Einfluss auf die Erreichung des ihnen zugeordneten Teilziels haben. Damit ist die geforderte Durchgängigkeit von der Vision des nachhaltigen Werkzeugbaus bis zu den Erfolgsfaktoren gewährleistet. Die Struktur der Ziele und Erfolgsfaktoren ist in Abbildung 5.6 schematisch dargestellt.

³⁸⁷ Eigene Darstellung



Abbildung 5.6: Schematische Darstellung der Struktur der Ziele und Erfolgsfaktoren des nachhaltigen Werkzeugbaus³⁸⁸

Die **Vision** des im Rahmen dieser Arbeit zu definierenden nachhaltigen Werkzeugbaus lautet wie folgt: Eine Welt, in der der Werkzeugbau nachhaltig gestaltet ist und innovative Lösungen für die umweltfreundliche Produktion bietet. Aus dieser übergeordneten Vision leitet sich die **Mission** ab, welche wie folgt lautet: Der nachhaltige Werkzeugbau strebt danach, durch innovative Technologien und verantwortungsbewusste Praktiken den ökologischen Fußabdruck zu minimieren, wirtschaftlichen Wert zu maximieren und einen positiven sozialen Einfluss zu erzielen. Die **strategischen Ziele** des nachhaltigen Werkzeugbaus leiten sich aus der Vision und Mission ab und orientieren sich zudem an den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit: Ökologie, Ökonomie und Soziales (vgl. Kapitel 2.2) sowie der Governance. Folgend sind die vier strategischen Ziele für den nachhaltigen Werkzeugbau beschrieben und in Abbildung 5.7 in der vorgestellten Struktur dargestellt:

- **Ökologische Integrität (E):** Reduzierung des ökologischen Fußabdrucks durch effiziente Ressourcennutzung, Abfallminimierung und Einsatz erneuerbarer Energien in allen Bereichen des Werkzeugbaus.
- **Wirtschaftliche Resilienz (F):** Sicherstellung der wirtschaftlichen Rentabilität und Langlebigkeit des Werkzeugbaus durch Investitionen in nachhaltige Technologien und Praktiken, die sowohl den aktuellen als auch zukünftigen Marktbedürfnissen gerecht werden.
- **Soziale Verantwortung (S):** Schaffung eines positiven Arbeitsumfelds, das Sicherheit, Weiterbildung und Wachstumsmöglichkeiten für alle Mitarbeitenden bietet und gleichzeitig einen wertvollen Beitrag zur lokalen Gemeinschaft leistet.
- **Vorbildliche Unternehmenskultur (G):** Etablierung als Branchenführer, der durch ethisches Verhalten neue Maßstäbe in Bezug auf Solidarität, Gerechtigkeit und Teilhabe setzt sowie durch Transparenz hervortritt.

³⁸⁸ Eigene Darstellung

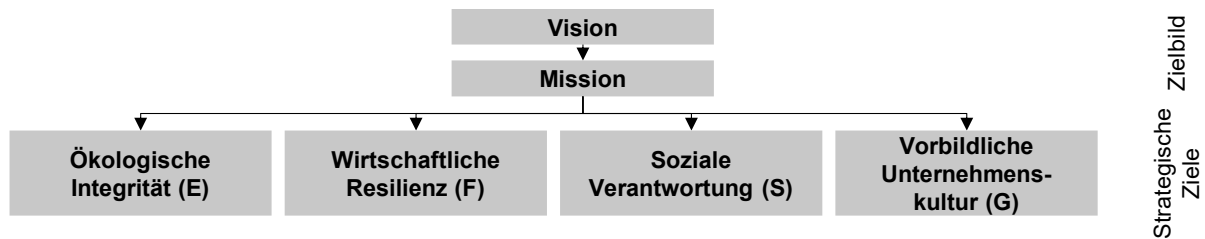


Abbildung 5.7: Struktur des Zielbilds „Nachhaltiger Werkzeugbau“³⁸⁹

Es sei darauf hingewiesen, dass die spezifischen strategischen Ziele in hohem Maße von den individuellen Prioritäten und Werten des Unternehmens im Bereich des nachhaltigen Werkzeugbaus abhängen. Aus diesem Grund ist eine regelmäßige Überprüfung und Anpassung dieser Ziele erforderlich, um den sich wandelnden Umweltaforderungen und geschäftlichen Erfordernissen zu entsprechen.

5.1.2.3 Teilziele des nachhaltigen Werkzeugbaus

Die strategischen Ziele werden in den **Teilzielen** ausdetailliert, sodass eine Präzisierung der Zielsetzung erfolgt. Im Anschluss wird die Analyse der Faktoren vorgenommen, die positiven wie negativen Einfluss auf die Teilziele, die strategischen Ziele und schließlich die Vision des nachhaltigen Werkzeugbaus haben. Zur Erleichterung der Arbeit mit dem Kennzahlensystem werden die vier strategischen Ziele mit den Buchstaben eindeutig benannt, die sich an der englischen Bezeichnung der Nachhaltigkeitsdimensionen orientieren: Environmental (E), Financial (F), Social (S) und Governance (G). Die jeweiligen Teilziele werden zudem durchnummeriert, beispielsweise wird das erste Teilziel der ökologischen Integrität (E) mit „E1“ benannt. Die dem Teilziel zugeordneten Erfolgsfaktoren (E1.1) sowie deren Kennzahlen (E1.1.1) werden in gleicher Weise durchnummeriert, wobei die Nummerierung keine Priorisierung darstellt. Eine Übersicht der strategischen Ziele und der jeweils zugeordneten Teilziele ist in Abbildung 5.8 dargestellt.

³⁸⁹ Eigene Darstellung

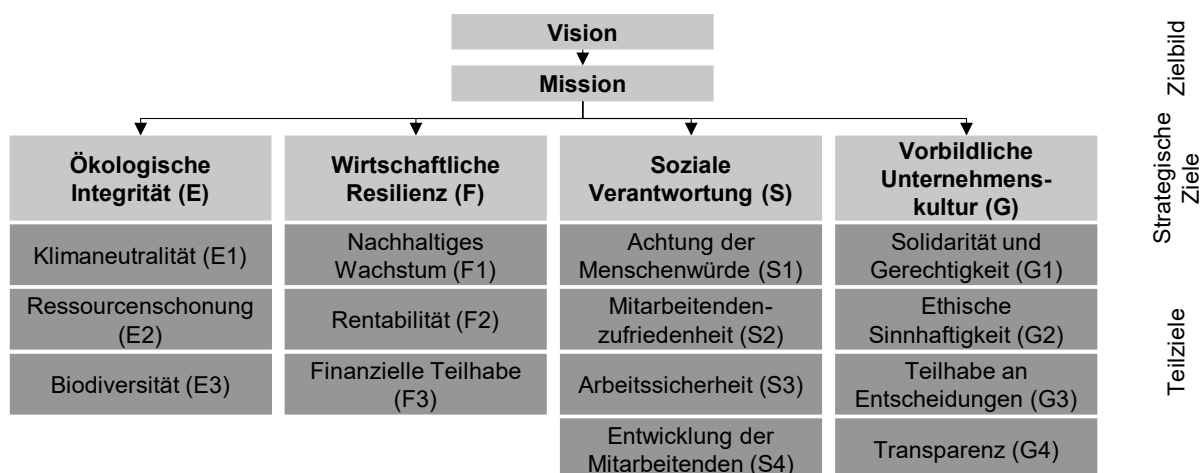


Abbildung 5.8: Übersicht der strategischen Ziele und der zugehörigen Teilziele³⁹⁰

Im Rahmen der nachfolgenden Vorstellung der Erfolgsfaktoren erfolgt eine detaillierte Erläuterung der Teilziele. Die strategischen Ziele und Teilziele des Kennzahlensystems sind in Tabelle 7.3 im Anhang definiert. In Abbildung 5.9 ist ein exemplarischer Auszug aus der Tabelle des Anhangs mit der Definition des strategischen Ziels „Ökologische Integrität“ und dem Teilziel „Klimaneutralität“ dargestellt. Zudem ist in der Kopfzeile der Aufbau der Tabelle definiert.

Strat. Ziel	Teilziel	Erfakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder
(E) Ökologische Integrität: Reduzierung des ökologischen Fußabdrucks durch effiziente Ressourcennutzung, Abfallminimierung und Einsatz erneuerbarer Energien in allen Bereichen des Werkzeugbaus.			
	(E1) Klimaneutralität: Die Klimastrategie orientiert sich an den Zielen der Pariser Klimakonferenz (COP 21), insbesondere der Begrenzung der Erderwärmung auf maximal 1,5 °C. Nach ISO 14068 sollten Maßnahmen umgesetzt und in eine umfassende Nachhaltigkeitsstrategie eingebettet werden, um einen aktiven Beitrag zu Netto-Null-Emissionen und den Zielen des Pariser Abkommens zu leisten.		
	(E1.1) Kompensation von CO₂e: Die Kompensation von unvermeidbaren		

Abbildung 5.9: Auszug aus der der Tabelle mit der exemplarischen Definition der strategischen Ziele und Teilziele³⁹¹

³⁹⁰ Eigene Darstellung

³⁹¹ Eigene Darstellung

5.1.3 Identifikation der Erfolgsfaktoren

Die Erfolgsfaktoren fungieren als Instrument zur Beschreibung der Faktoren, die die zuvor identifizierten Teilziele sowohl positiv als auch negativ beeinflussen. Dies dient der weiteren Schärfung des Zielbildes und bildet die Transition von Zielen zu konkreten Kennzahlen. In den nachfolgenden vier Abschnitten werden die einzelnen Teilziele der strategischen Ziele anhand der relevanten Erfolgsfaktoren beschrieben.

5.1.3.1 Erfolgsfaktoren der ökologischen Integrität (E)

Das strategische Ziel der ökologischen Integrität (E) beschreibt die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit, wobei die Wahrung der Integrität der Umwelt mit ihren Ökosystemen als übergeordnetes Ziel zu betrachten ist. Ein Teilziel dieses strategischen Ziels ist die **Klimaneutralität (E1)**, die darauf abzielt, die Emission von Treibhausgasen durch den Werkzeugbau zu vermeiden. In der aktuellen Praxis liegt der Fokus im Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit für Werkzeugbaubetriebe auf der Messung und Reduktion der CO_{2e}-Emissionen. Das Teilziel der **Ressourcenschonung (E2)** zielt demgegenüber auf die Reduktion der Menge der eingesetzten Ressourcen ab, indem diese wiederverwendet oder auf sie verzichtet werden kann. Dies soll durch Erfolgsfaktoren wie Kreislaufwirtschaft und Ressourcenoptimierung erreicht werden. Ein weiterer Erfolgsfaktor stellt die Exnovation dar, die die Beendigung nicht nachhaltiger Praktiken, Technologien oder Nutzungssysteme beschreibt³⁹². Für die angestrebte Transformation hin zu mehr Nachhaltigkeit wird es demnach nicht nur notwendig sein, durch Innovationen neue Lösungen zu etablieren, sondern sich auch bewusst von nicht nachhaltigen Lösungen zu trennen³⁹³. Im Kontext des Werkzeugbaus könnte dies beispielsweise bedeuten, aktuelle Prozessschritte oder Produkte, die nicht in die strategische Ausrichtung passen, zu entfernen. Das Teilziel **Biodiversität (E3)** manifestiert sich im Werkzeugbau in der Reduktion der Landnutzung, mit dem übergeordneten Ziel, potenziellen Lebensraum durch unternehmerische Aktivitäten nicht zu blockieren. Die erörterten Teilziele und dazugehörigen Erfolgsfaktoren sind in Abbildung 5.10 als Übersicht dargestellt.

³⁹² Vgl. Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit (Exnovation), S. 1.

³⁹³ Vgl. Heyen (Workingpaper Exnovation): 2016, S. 9; Arnold et al. (Innovation - Exnovation): 2015, S. 10.

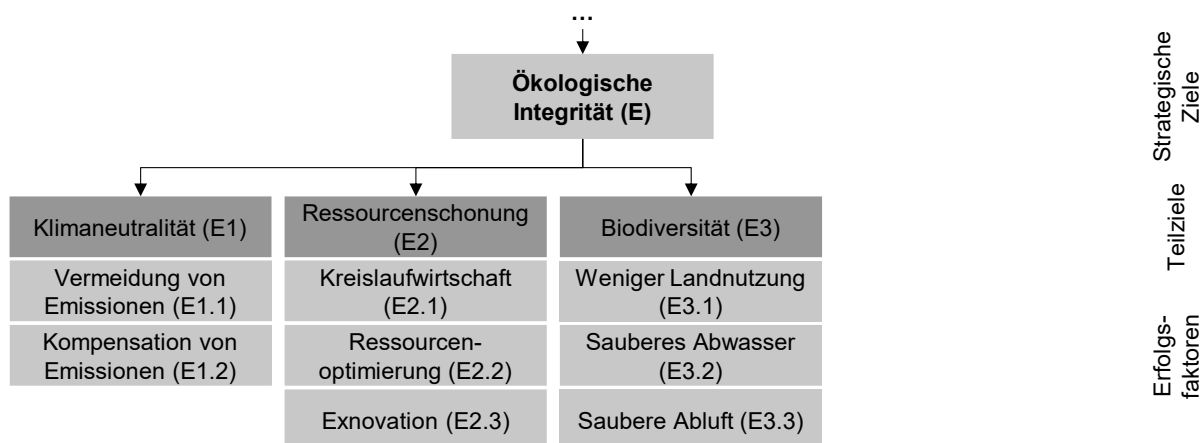


Abbildung 5.10: Übersicht der Erfolgsfaktoren des strategischen Ziels der ökologischen Integrität (E)³⁹⁴

5.1.3.2 Erfolgsfaktoren der wirtschaftlichen Resilienz (F)

Das strategische Ziel der wirtschaftlichen Resilienz (F) beschreibt die wirtschaftliche Dimension der Nachhaltigkeit und zielt auf die Erreichung finanzieller Stabilität und Widerstandsfähigkeit des Werkzeugbaus ab. Das strategische Ziel kann in drei Teilziele untergliedert werden, welche wiederum durch Erfolgsfaktoren adressiert werden. Das Teilziel des **nachhaltigen Wachstums (F1)** zielt auf die Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit des Werkzeugbaus ab, wobei insbesondere die Entwicklung effizienterer Werkzeugkonzepte im Vordergrund steht. Der Erfolgsfaktor der Marktposition betrifft das Erschließen neuer Märkte sowie die Entwicklung der Beziehung zu neuen oder bestehenden Kunden des Werkzeugbaus. Nachhaltiges Wirtschaften zielt auf die Bildung von Rücklagen und das Tätigen von Investitionen ab und bildet einen Gegenpol zum oft kurzfristig ausgerichteten, quartalsweisen Optimieren wirtschaftlicher Kennzahlen. Die **Rentabilität (F2)** stellt eine Grundanforderung an ein Unternehmen in unserem aktuellen Wirtschaftssystem dar. Gemäß Einkommensteuergesetz (EStG) muss eine Gewinnerzielungsabsicht bestehen³⁹⁵. Aus der Perspektive der Nachhaltigkeit erscheint diese Anforderung jedoch zunächst diskussionswürdig, da durch die Gewinnerzielungsabsicht auch nicht ganzheitlich nachhaltige Aktivitäten begründet werden könnten. Es hat sich gezeigt, dass bei der Entscheidungsfindung für nachhaltige Aktivitäten in Unternehmen die Gewinnerzielungsabsicht nur eine untergeordnete Rolle spielt³⁹⁶. In diversen Bereichen gehen Aktivitäten zur Steigerung der Nachhaltigkeit mit der Gewinnerzielungsabsicht einher³⁹⁷. Die Reduktion der Kosten bei gleichbleibendem Umsatz stellt ein zentrales Ziel der wirtschaftlichen Nachhaltigkeit des Werkzeugbaus dar, da nur so die Rentabilität und damit die Fähigkeit des Unternehmens, sich selbst zu tragen, gewährleistet werden kann. Dies trifft in besonderem Maße auf externe Werkzeugbaubetriebe zu, da diese sich aus eigenen Mitteln

³⁹⁴ Eigene Darstellung

³⁹⁵ Vgl. Bundesministerium der Justiz (§ 4 Abs. 1 EStG, Gewinnbegriff):

³⁹⁶ Vgl. Maaß et al. (Nachhaltigen Unternehmenertums): 2024, S. 38.

³⁹⁷ Vgl. Maaß et al. (Nachhaltigen Unternehmenertums): 2024, S. 3–4.

finanzieren und am Markt behaupten muss. Bei internen Werkzeugbaubetrieben kann es sich anders darstellen (vgl. Kapitel 2.1). Hier kann beispielsweise der Werkzeugbau bewusst durch andere Geschäftsfelder mitfinanziert werden. Die **finanzielle Teilhabe (F3)** drückt sich in der Beteiligung der Mitarbeitenden oder der Gesellschaft an Gewinnen oder Verlusten des Unternehmens aus. Die in diesem Abschnitt erläuterten Teilziele und dazugehörigen Erfolgsfaktoren sind in Abbildung 5.11 als Übersicht dargestellt.

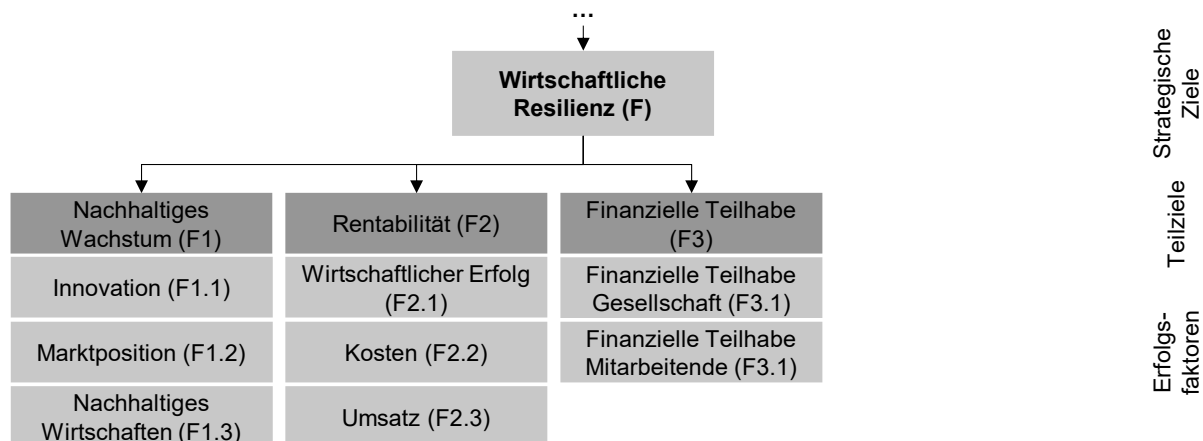


Abbildung 5.11: Übersicht der Erfolgsfaktoren des strategischen Ziels der ökonomischen Resilienz (F)³⁹⁸

5.1.3.3 Erfolgsfaktoren der sozialen Verantwortung (S)

Das strategische Ziel der sozialen Verantwortung (S) beschreibt die soziale Dimension der Nachhaltigkeit und zielt darauf ab, der sozialen Verantwortung des Werkzeugbaus insbesondere gegenüber seinen Mitarbeitenden sowie der Gesellschaft als Ganzes gerecht zu werden. Dieses Ziel lässt sich in vier Teilziele untergliedern, welche im Folgenden anhand ihrer Erfolgsfaktoren beschrieben werden. Das Teilziel der **Achtung der Menschenwürde (S1)** umfasst die Möglichkeit der Mitarbeitenden zur Mitgestaltung im Unternehmen und die Gleichberechtigung in Hinblick auf Geschlechter, Herkunft oder andere Merkmale. Gute Arbeitsbedingungen beziehen sich auf die Arbeitszeiten und grenzen sich somit von den Erfolgsfaktoren des Teilziels Arbeitssicherheit (S3) ab. Die **Mitarbeitendenzufriedenheit (S2)** zeigt sich in verschiedenen Aspekten, wie beispielsweise der Dauer der Betriebszugehörigkeit und einem geringen Krankenstand. Zudem kann sie durch Kulturangebote, wie etwa Familien- oder Sommerfeste, positiv beeinflusst werden. Die Gewährleistung von **Arbeitssicherheit (S3)** bildet die Grundlage für soziale Verantwortung. Hierbei sind sichere Prozesse und die Barrierefreiheit der Arbeitsumgebung von entscheidender Bedeutung. Langfristig können Gesundheitsprogramme das potenzielle Risiko von Arbeitsbelastung und Verletzungen reduzieren. Die **Entwicklung der Mitarbeitenden (S4)** stellt ein weiteres Teilziel dar. Sie zielt auf die fachliche

³⁹⁸ Eigene Darstellung

Qualifizierung und Weiterbildung der Mitarbeitenden sowie auf gesellschaftlich wünschenswerte Schulungen, wie beispielsweise zum Ersthelfenden oder Brandschutzbeauftragten, ab. Die im vorliegenden Abschnitt erläuterten Teilziele und dazugehörigen Erfolgsfaktoren sind in Abbildung 5.12 als Übersicht dargestellt.

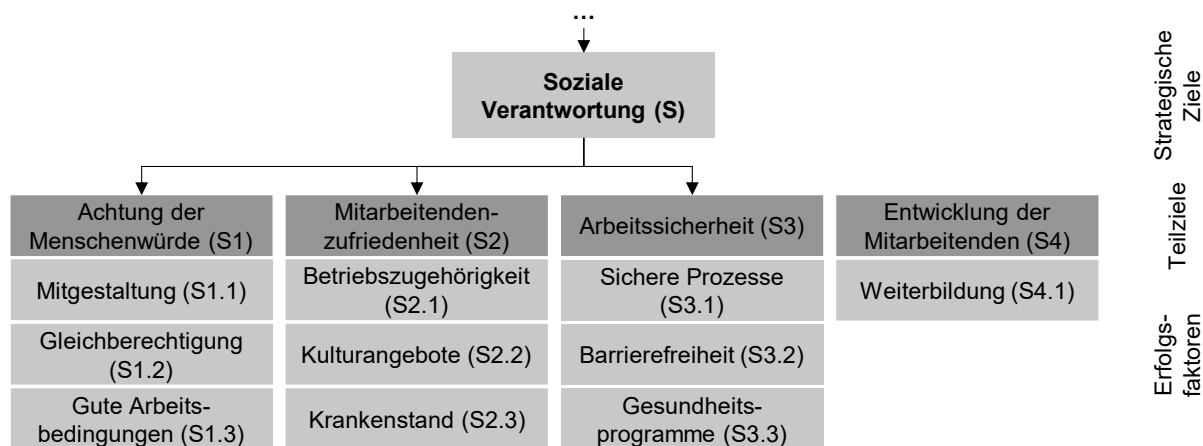


Abbildung 5.12: Übersicht der Erfolgsfaktoren des strategischen Ziels der sozialen Verantwortung (S)³⁹⁹

5.1.3.4 Erfolgsfaktoren der vorbildlichen Unternehmenskultur (G)

Das strategische Ziel der vorbildlichen Unternehmenskultur (G) beschreibt die Unternehmensführung oder Kultur und stellt damit die grundlegende Voraussetzung für den Erfolg in den drei vorangegangenen Nachhaltigkeitsdimensionen dar. Die Interessen der verschiedenen Anspruchsgruppen am Werkzeugbau in den drei Nachhaltigkeitsdimensionen können erst in diesem Rahmen transparent und fair gegeneinander abgewogen werden. Das Ergebnis sind damit vorbildliche Entscheidungsprozesse und eine wünschenswerte Kultur für das Unternehmen. Im Teilziel **Solidarität und Gerechtigkeit (G1)** sollen Aufsichtsstrukturen sicherstellen, dass etablierte Unternehmensprozesse und Ziele genauso wie Regularien und Gesetze eingehalten werden. Weiter geht es darum, einen fairen Wettbewerb zu ermöglichen, indem ethische Partnerschaften beispielsweise mit Kunden und Lieferanten gepflegt werden. Im Hinblick auf Spenden und Lobbyarbeit ist darauf zu achten, dass diese nicht zu einer unzulässigen Wettbewerbsverzerrung führen. Das Teilziel der **Teilhabe an Entscheidungen (G2)** zielt auf die Einbindung der Mitarbeitenden in Entscheidungsprozessen ab, wobei das Teilziel **Transparenz (G3)** eine wichtige Grundlage für diese Teilhabe bildet. Die interne Kommunikation ermöglicht den Mitarbeitenden, sich ein klares Bild über die Geschäftstätigkeiten und den Erfolg des eigenen Unternehmens zu verschaffen. Diese interne Transparenz ist von der externen Kommunikation zu unterscheiden, deren Ziel es ist, den Kreis der externen Anspruchsgruppen wie Kunden, Gesellschaft oder Kapitalgebende zu informieren. Das Risikomanagement hat die Aufgabe, über potenzielle Gefahren für den Erfolg des Unternehmens aufzuklären

³⁹⁹ Eigene Darstellung

und diese möglichst realistisch zu bewerten. Die erläuterten Teilziele und die zugehörigen Erfolgsfaktoren sind in Abbildung 5.13 als Übersicht dargestellt.

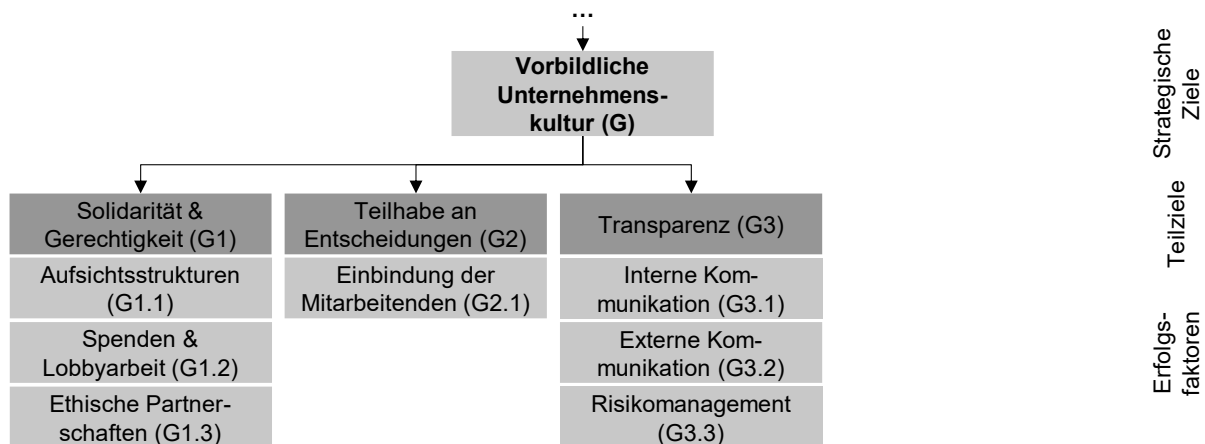


Abbildung 5.13: Übersicht der Erfolgsfaktoren des strategischen Ziels der vorbildlichen Unternehmenskultur (G)⁴⁰⁰

Die aus den strategischen Zielen über die Teilziele hergeleiteten Erfolgsfaktoren für den nachhaltigen Werkzeugbau bilden eine solide Grundlage für die Steuerung in eine nachhaltigere Zukunft. Sie umfassen alle relevanten Aspekte zur Steuerung der Nachhaltigkeitsbestrebungen. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass eine unternehmensspezifische Evaluation und Gewichtung der Ziele erforderlich ist, um den diversen Rahmenbedingungen der Betriebe innerhalb der Branche Werkzeugbau sowie der Zukunftsfähigkeit des Konzepts gerecht zu werden. Die Definition der einzelnen Erfolgsfaktoren sowie deren Einordnung im Kennzahlensystem ist in Tabelle 7.3 im Anhang nachzuschlagen. In Abbildung 5.14 ist ein exemplarischer Auszug der Tabelle mit der Definition des Erfolgsfaktors „Kompensation von CO₂e“ dargestellt.

⁴⁰⁰ Eigene Darstellung

Strat. Ziel	Teilziel	Erfolgsfakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder
(E) Ökologische Integrität: Reduzierung des ökologischen Fußabdrucks durch effiziente Ressourcennutzung, Abfallminimierung und Einsatz erneuerbarer Energien in allen Bereichen des Werkzeugbaus.			
			(E1) Klimaneutralität: Die Klimastrategie orientiert sich an den Zielen der Pariser Klimakonferenz (COP 21), insbesondere der Begrenzung der Erderwärmung auf maximal 1,5 °C. Nach ISO 14068 sollten Maßnahmen umgesetzt und in eine umfassende Nachhaltigkeitsstrategie eingebettet werden, um einen aktiven Beitrag zu Netto-Null-Emissionen und den Zielen des Pariser Abkommens zu leisten.
			(E1.1) Kompensation von CO₂e: Die Kompensation von unvermeidbaren CO₂e-Emissionen ist ein zentraler Bestandteil effektiver Klimaschutzmaßnahmen. Durch den Einsatz hochwertiger Klimaschutzzertifikate wie Gold Standard oder Verified Carbon Standard (VCS) können Unternehmen verbleibende Emissionen ausgleichen und einen messbaren Beitrag leisten. Entscheidend ist, dass die Kompensation in eine glaubwürdige Reduktionsstrategie eingebettet wird, um Greenwashing-Vorwürfe zu vermeiden. Projekte und Zertifikate sollten regelmäßig geprüft werden, um Transparenz und Wirksamkeit sicherzustellen. Als Übergangslösung ergänzt die Kompensation langfristige Maßnahmen zur Emissionsminderung und schafft kurzfristig reale Klimaschutzwirkungen.
			(E1.1.1) Kompensationsquote [%]: Anteil der Emissionen, die durch ... (COP21)

Abbildung 5.14: Auszug aus der der Tabelle mit der exemplarischen Definition des Erfolgsfaktors „Kompensation von CO₂e“⁴⁰¹

5.1.4 Bewertung der Ziele und Erfolgsfaktoren

Die heterogene Struktur der Branche Werkzeugbau, die in Kapitel 2.1.2 detailliert dargestellt ist, ist gekennzeichnet durch eine Vielzahl unterschiedlicher Unternehmen. Ein wesentlicher Aspekt der wirtschaftlichen Dimension stellt der Unterschied zwischen internen und externen Werkzeugbaubetrieben dar. Darüber hinaus zeigt sich im Werkzeugbau ein breites Spektrum an Ansätzen im Umgang mit dem Thema Nachhaltigkeit⁴⁰², aus dem unterschiedliche strategische Ausrichtungen folgen. Um diesen Unterschieden gerecht zu werden, bedarf es der

⁴⁰¹ Eigene Darstellung

⁴⁰² Konsortialprojekt der WBA „Nachhaltigkeitscontrolling – Entwicklung eines Nachhaltigkeitsberichts für den Werkzeugbau entsprechend der europäischen Berichtspflicht (CSRD)“, 2024

Möglichkeit, durch die Bewertung der Ziele und Erfolgsfaktoren das hier entwickelte Kennzahlensystem, um eine unternehmensindividuelle Gewichtung zu ergänzen.

Um diese Bewertung für den Anwendenden standardisiert und nachvollziehbar umzusetzen, wurde eine Methodik entwickelt, die auf dem Konzept der doppelten Wesentlichkeit basiert (vgl. Kapitel 5.1.1). Diese Methodik zielt darauf ab, die Ziele aus den vier Dimensionen der Nachhaltigkeit – Ökonomie, Ökologie, Soziales und Governance – systematisch zu bewerten und in ihrer Bedeutung für das Unternehmen einzuordnen. Die doppelte Wesentlichkeit wurde ursprünglich zur Identifikation berichtspflichtiger Themen in den Bereichen Ökologie, Soziales und Governance entwickelt, jedoch im Rahmen dieser Methodik angepasst, um zusätzlich eine Bewertung der ökonomischen Ziele zu ermöglichen. Folglich ermöglicht diese angepasste Methodik eine differenzierte Bewertung aller Teilziele aus allen Dimensionen.

Die Methodik ist in zwei Hauptkomponenten unterteilt: die Bewertung der Umwelt- und sozialen Wesentlichkeit sowie die Bewertung der finanziellen Wesentlichkeit eines Ziels. Diese zweigeteilte Betrachtung folgt dem Prinzip der doppelten Wesentlichkeit (vgl. Abbildung 5.15), das im Kontext der Nachhaltigkeitsberichterstattung etabliert ist, jedoch für die spezifischen Bedürfnisse eines Werkzeugbaubetriebs erweitert wurde. Das Ziel der Methodik besteht darin, sowohl die unmittelbare Wirkung eines Ziels auf ökologische und soziale Faktoren als auch dessen finanzielle Implikationen zu erfassen und in einem übergeordneten Bewertungsrahmen zusammenzuführen.

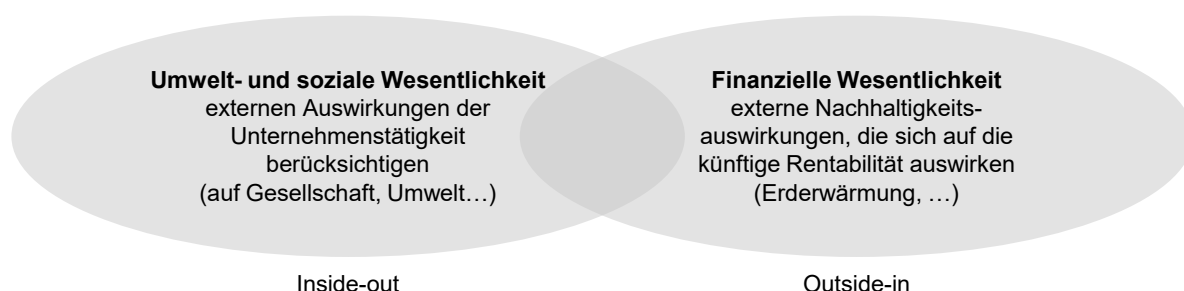


Abbildung 5.15: Abgrenzung der beiden Perspektiven der doppelten Wesentlichkeitsanalyse i. A. a. EFRAG⁴⁰³

Die Bewertung der **Umwelt- und sozialen Wesentlichkeit** erfolgt in einem strukturierten, achtschritten Prozess, der auf einer systematischen Analyse der jeweiligen Zielsetzung basiert. Im ersten Schritt wird das zu bewertende Ziel in seiner Grundstruktur festgehalten. Dies umfasst eine klare Definition des Ziels sowie eine erste Einordnung in die jeweilige Nachhaltigkeitsdimension. Der zweite Schritt bezieht sich auf die Analyse bestehender Richtlinien, die im Zusammenhang mit dem Ziel stehen. Hierbei werden relevante regulatorische und unternehmensspezifische Vorgaben identifiziert, die die Zielsetzung beeinflussen können. Im dritten Schritt werden die relevanten Anspruchsgruppen identifiziert, wobei untersucht wird, welche Akteure – sowohl intern als auch extern – von der Zielerreichung betroffen sind oder Einfluss

⁴⁰³ Vgl. EFRAG (Implementation guidance): 2024, S. 11.

auf den Zielerreichungsprozess nehmen können. Diese Analyse ist entscheidend, um die gesellschaftliche und unternehmerische Relevanz des Ziels zu verstehen. Im vierten und fünften Schritt erfolgt eine differenzierte Analyse der potenziellen negativen und positiven Einflüsse, die das Ziel auf ökologische und soziale Systeme haben kann. Die dargestellten Schritte dienen dazu, die wechselseitigen Auswirkungen der Zielerreichung transparent zu machen. Im sechsten Schritt werden spezifische Ziele und Maßnahmen zur Erreichung der definierten Nachhaltigkeitsziele festgelegt. Hierbei wird nicht nur die Zielerreichung selbst betrachtet, sondern auch der Weg dorthin, einschließlich der dafür notwendigen Ressourcen und Strukturen. Im siebten Schritt erfolgt die Impact-Bewertung, die anhand von drei wesentlichen Einflussgrößen vorgenommen wird: dem Ausmaß (engl. Scale) der Auswirkung des Ziels, dem Umfang (engl. Scope) der Zielwirkung und der Behebbarkeit beziehungsweise Irreversibilität der eingetretenen Effekte. Die Bewertung der drei Kategorien erfolgt auf einer Skala von 1 bis 5, um eine quantifizierte Einschätzung der sozialen und ökologischen Relevanz zu ermöglichen. Abschließend werden im achten Schritt die einzelnen Bewertungen addiert, was zu einer Gesamtbewertung der Umwelt- und sozialen Wesentlichkeit führt (vgl. Formel 5.1). Die Schritte zur Bewertung der Umwelt und sozialen Wesentlichkeit sind in Abbildung 5.16 zusammengefasst.

Formel 5.1: Berechnung der Umwelt und sozialen Wesentlichkeit der Teilziele

Umwelt und soziale Wesentlichkeit (Teilziel_i)

$$= \text{Bewertung}_i(\text{Scale}) + \text{Bewertung}_i(\text{Scope}) + \text{Bewertung}_i(\text{Irreversibilität})$$

1	Themen verstehen	2	Bestehende Richtlinien	3	Relevante Stakeholder		
4	Begründung negative Einflüsse	5	Begründung positive Einflüsse	6	Ziele, Maßnahmen		
7	Impact bewerten						
Kategorie*	1	2	3	4	5		
Scale							
Ausmaß der Auswirkungen	Minimal	Niedrig	Medium	Hoch	Sehr Hoch		
Scope							
Umfang der Auswirkungen	Lokal/ Limitiert	Regional/ Konzentriert	National/ Mittel	Kontinental/ Weitverbreitet	Global		
Irreversibilität							
Behebbarkeit der Auswirkungen	Relativ einfach zu beheben	Behebung mit Kosten & Zeit verbunden	Schwer zu beheben oder mittelfristig	Sehr schwer zu beheben oder langfristig	Irreversibel		
8	Summe	Ergebnis =	≥ 12 kritisch	[10,12) signifikant	[8,10) wichtig	[5,8) informativ	< 5 minimal

Abbildung 5.16: Vorgehen für die Zielbewertung aus der Perspektive der Umwelt und sozialen Wesentlichkeit⁴⁰⁴

Die Bewertung der **finanziellen Wesentlichkeit** folgt einem vergleichbaren achtstufigen Prozess, der die finanziellen Risiken und Chancen des Ziels betrachtet. Zunächst wird das Ziel in seiner ökonomischen Dimension erfasst und im Hinblick auf bestehende finanzielle Richtlinien

⁴⁰⁴ Eigene Darstellung

und Vorgaben analysiert. Im dritten Schritt erfolgt erneut eine Stakeholder-Analyse, diesmal jedoch mit einem Fokus auf jene Akteure, die durch finanzielle Auswirkungen des Ziels betroffen sein könnten. Im vierten und fünften Schritt werden die finanziellen Risiken und Chancen des Ziels beschrieben, wobei sowohl potenzielle Verluste als auch mögliche Gewinne in die Bewertung einfließen. Der sechste Schritt konzentriert sich auf die Festlegung finanzieller Ziele und Maßnahmen, um die mit dem Ziel verbundenen wirtschaftlichen Chancen zu maximieren und Risiken zu minimieren. Im siebten Schritt erfolgt eine Impact-Bewertung, die durch die Faktoren Ausmaß (Impact) und Wahrscheinlichkeit (engl. Probability) der finanziellen Auswirkungen strukturiert wird. Diese beiden Faktoren werden ebenfalls auf einer Skala von 1 bis 5 bewertet und im achten Schritt zu einem Gesamtwert zusammengeführt, der die finanzielle Wesentlichkeit des Ziels wiedergibt. Die Methodik zur Bewertung der finanziellen Wesentlichkeit der Ziele wird in Analogie zur Darstellung der Methodik zur Bewertung der Umwelt- und sozialen Wesentlichkeit der Ziele (vgl. Abbildung 5.16) im Anhang dargestellt. Dort sind die Methodik zur Bewertung der finanziellen Wesentlichkeit der ökologischen, sozialen und governance Ziele in Abbildung 7.2 sowie die Methodik zur Bewertung der finanziellen Wesentlichkeit der ökonomischen Ziele in Abbildung 7.3 dargestellt. Die finanzielle Wesentlichkeit der Teilziele wird durch die Multiplikation der Bewertung von Impact und Probability berechnet (vgl. Formel 5.2).

Formel 5.2: Berechnung der finanziellen Wesentlichkeit der Teilziele

$$\text{Finanzielle Wesentlichkeit (Teilziel}_i\text{)} = \text{Bewertung}_i(\text{Impact}) \cdot \text{Bewertung}_i(\text{Probability})$$

Nach Abschluss der Bewertungen und Berechnung der beiden Wesentlichkeitsdimensionen erfolgt eine Gegenüberstellung der Ergebnisse, die eine erste qualitative Einordnung des Ziels relativ zu den anderen in einem Koordinatensystem erlaubt, welches vier Quadranten umfasst. Ziele, die sowohl in der Umwelt- und sozialen als auch in der finanziellen Wesentlichkeit hohe Bewertungen aufweisen, gelten als besonders relevant für das Unternehmen. Ziele, die in einer der beiden Wesentlichkeitsdimensionen eine Ausprägung über dem Mittelwert aufweisen,

werden als mittel relevant eingestuft, während Ziele, bei denen beide Dimensionen gering ausgeprägt sind, in die Kategorie der geringeren Relevanz eingeordnet werden.

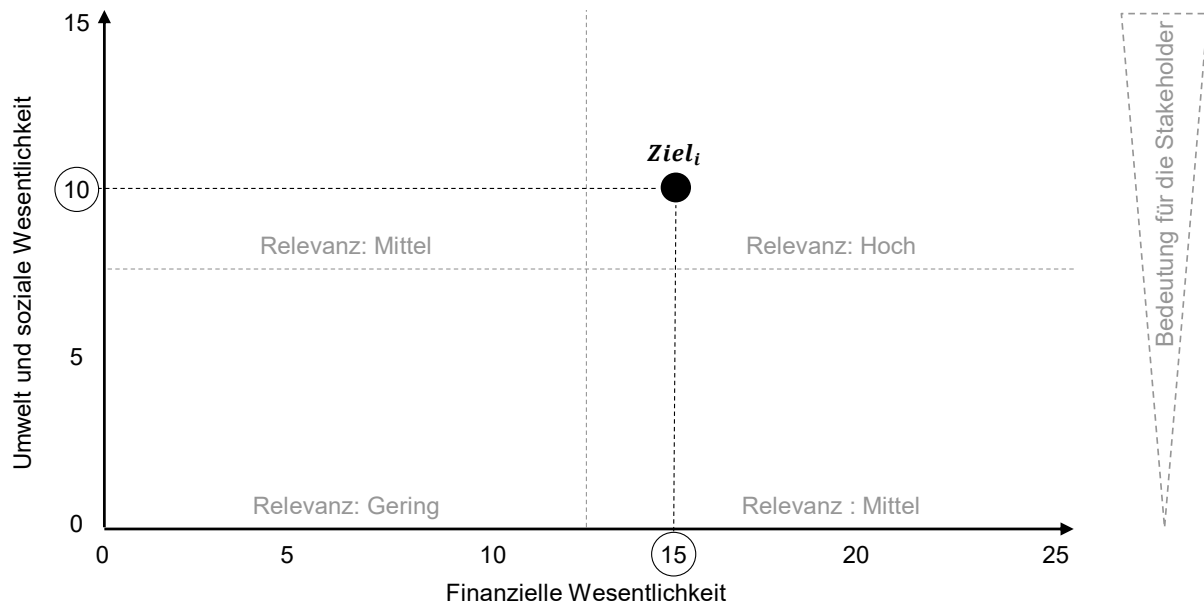


Abbildung 5.17: Koordinatensystem zur Visualisierung der relativen Bewertung der Ziele
i. A. a. HINRICHS⁴⁰⁵

Zur Fortführung dieser qualitativen Einordnung wird eine quantitative Bewertung der Ziele (Ziel) anhand einer mathematischen Formel durchgeführt. Dabei werden die Ergebnisse der beiden Wesentlichkeitsbewertungen miteinander multipliziert und durch die maximal erreichbare Summe beziehungsweise das maximal erreichbare Produkt (15 beziehungsweise 25) dividiert (vgl. Formel 5.3). Die so ermittelte Zahl liegt zwischen 0 und 1. Der Wert „0“ wird dabei explizit aus dem Wertebereich ausgeschlossen, um zu verhindern, dass ein Ziel fälschlicherweise als vernachlässigbar bewertet wird. Die so ermittelte Zahl gibt eine feinere Abstufung der Zielrelevanz an: Je näher der Wert bei 0 liegt, desto weniger relevant ist das Ziel für das Unternehmen. Ein Wert nahe 1 hingegen weist auf eine hohe Relevanz hin.

Formel 5.3: Berechnung der Zielgewichtung

$$\begin{aligned} \text{Zielgewichtung (Ziel}_i\text{)} &= \text{Ausprägung der Umwelt und sozialen Wesentlichkeit (Ziel}_i\text{)} \\ &\cdot \text{Ausprägung der finanziellen Wesentlichkeit (Ziel}_i\text{)} \frac{1}{15 \cdot 25} \end{aligned}$$

Durch diese Berechnung erfolgt die quantitative Bewertung der Ziele. Es lässt sich somit eine Rangfolge der Ziele nach deren Bedeutung für den jeweiligen Werkzeugbau erstellen. Dies ist schematisch in Abbildung 5.18 dargestellt.

⁴⁰⁵ Vgl. Hinrichs (Nachhaltigkeit als Unternehmensstrategie): 2023, S. 148.

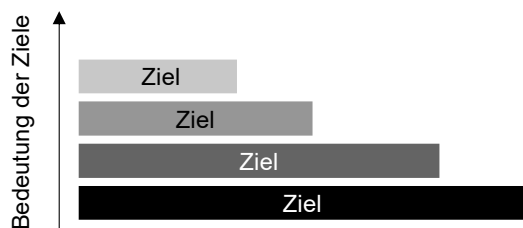


Abbildung 5.18: Die unternehmensindividuelle Hierarchie der Ziele als Ergebnis der Bewertung⁴⁰⁶

Nach der quantitativen Evaluation der Ziele erfolgt die **Bewertung der Erfolgsfaktoren**, die signifikant zur Zielerreichung beitragen. Diese Erfolgsfaktoren stellen wesentliche Aspekte dar, die den Erfolg eines Ziels unmittelbar beeinflussen. Da ein Ziel von mehreren Erfolgsfaktoren beeinflusst werden kann, ist es erforderlich, die Bedeutung jedes Faktors differenziert zu bewerten, um eine präzise Einschätzung der Zielerreichung zu ermöglichen. Die Erfolgsfaktoren stehen in engem Zusammenhang mit der strategischen Ausrichtung des Unternehmens und spielen eine zentrale Rolle in der Steuerung der Nachhaltigkeitsziele. Die Bewertung der Erfolgsfaktoren und die Zusammensetzung des Ergebnisses sind in Tabelle 5.1 anhand von exemplarischen Werten dargestellt.

Tabelle 5.1: Exemplarisches Vorgehen zur Ableitung der Bewertung der Erfolgsfaktoren aus der Bewertung der zugeordneten Ziele

Ziele	Ziel-gewichtung	Erfolgsfaktor (EF)	Priorisierung	Prozentuale Zuordnung (EF)	Gewichtung (EF)
Ziel 1	0,07	EF 1.1	1	70%	0,049
		EF 1.2	3	10%	0,007
		EF 1.3	2	20%	0,014
Ziel 2	0,35	EF 2.1	2	40%	0,140
		EF 2.2	1	60%	0,210
Ziel 3	0,06	EF 3.1	1	100%	0,060

Der Prozess der Bewertung beginnt mit der Priorisierung aller Erfolgsfaktoren, die einem spezifischen Ziel zugewiesen sind. Zu diesem Zweck wird für jedes Ziel ein Paarvergleich durchgeführt (vgl. Kapitel 5.1.1), wodurch die Relevanz in Form einer Priorisierung der einzelnen Erfolgsfaktoren für die Zielrichtung definiert wird. Darauf aufbauend erfolgt eine intuitive Gewichtung der Erfolgsfaktoren, die sich an den spezifischen Rahmenbedingungen und strategischen Zielen des Unternehmens orientiert. Diese Bewertung kann je nach Unternehmensstrategie, Marktumfeld oder spezifischen Nachhaltigkeitszielen variieren. In der Folge wird jedem Erfolgsfaktor eine prozentuale Bedeutung zugewiesen, die den Beitrag dieses Faktors zur Zielerreichung ausdrückt. Dabei muss die Summe der Gewichtungen für alle Faktoren eines Ziels stets 100 % betragen. Weiter sollte der Erfolgsfaktor mit der höchsten Priorisierung auch den

⁴⁰⁶ Eigene Darstellung

höchsten prozentualen Wert erhalten. Es findet also nur eine Bestimmung der Größe der Abstufung statt. Die finale Gewichtung der Erfolgsfaktoren (EF) wird berechnet, indem der prozentuale Anteil des jeweiligen Faktors mit der zuvor ermittelten Zielbewertung multipliziert wird (vgl. Formel 5.4).

Formel 5.4: Berechnung der Gewichtung der Erfolgsfaktoren

$$\text{Gewichtung } (EF_i) = \text{Zielgewichtung } (Ziel_i) \cdot \text{prozentuale Zuordnung } (EF_i)$$

Durch die vorliegende Methode wird der spezifische Beitrag jedes Erfolgsfaktors zur Erreichung des jeweiligen Ziels präzise quantifiziert und nachvollziehbar gemacht. Somit ist die standardisierte und nachvollziehbare Bewertung der Ziele und Erfolgsfaktoren des Kennzahlensystems für den Werkzeugbau abgeschlossen (vgl. Abbildung 5.19). Im weiteren Verlauf wird es nun darum gehen, die bewerteten Erfolgsfaktoren messbar zu machen, um deren tatsächlichen aktuellen Beitrag zur Zielerreichung bewerten zu können. Im folgenden Kapitel werden die dazu erforderlichen Kennzahlen des Kennzahlensystems dargestellt.

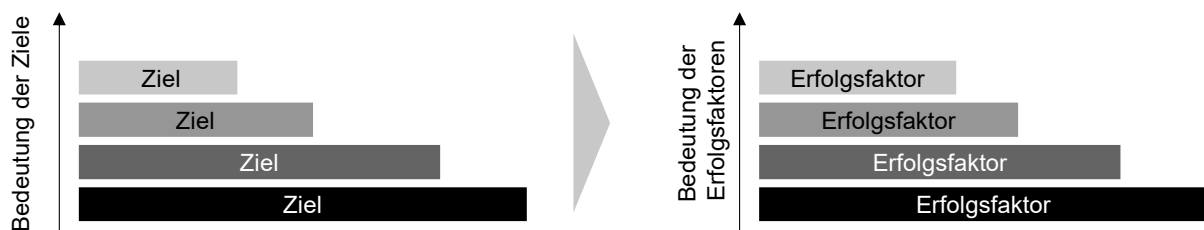


Abbildung 5.19: Die unternehmensindividuelle Hierarchie der Erfolgsfaktoren als Ergebnis der Bewertung⁴⁰⁷

5.2 Detaillierung des Kennzahlensystems

Im vorangegangenen Kapitel 5.1 wurde das Zielbild des nachhaltigen Werkzeugbaus entwickelt und dieses detailliert über strategische Ziele, Teilziele und Erfolgsfaktoren ausgeführt. In der Folge werden die identifizierten und bewerteten Erfolgsfaktoren durch die **Definition der relevanten Kennzahlen für den nachhaltigen Werkzeugbau** messbar gemacht. Dadurch wird die Grundlage geschaffen, die identifizierten Erfolgsfaktoren erfolgreich zu steuern und auf die Erreichung der aufgestellten Ziele hinzuarbeiten. Durch die **Analyse der Abhängigkeiten der Kennzahlen zueinander** wird die Bedeutung der einzelnen Kennzahl für das gesamte Kennzahlensystem deutlich. Anschließend wird die zuvor stattgefundene Bewertung der Erfolgsfaktoren, um die **Bewertung der Kennzahlen für die Zielerreichung** erweitert. Somit ergibt sich eine unternehmensindividuelle Struktur für das Kennzahlensystem. In Abbildung 5.20 sind die drei Gestaltungsaspekte sowie der Ordnungsrahmen dargestellt.

⁴⁰⁷ Eigene Darstellung

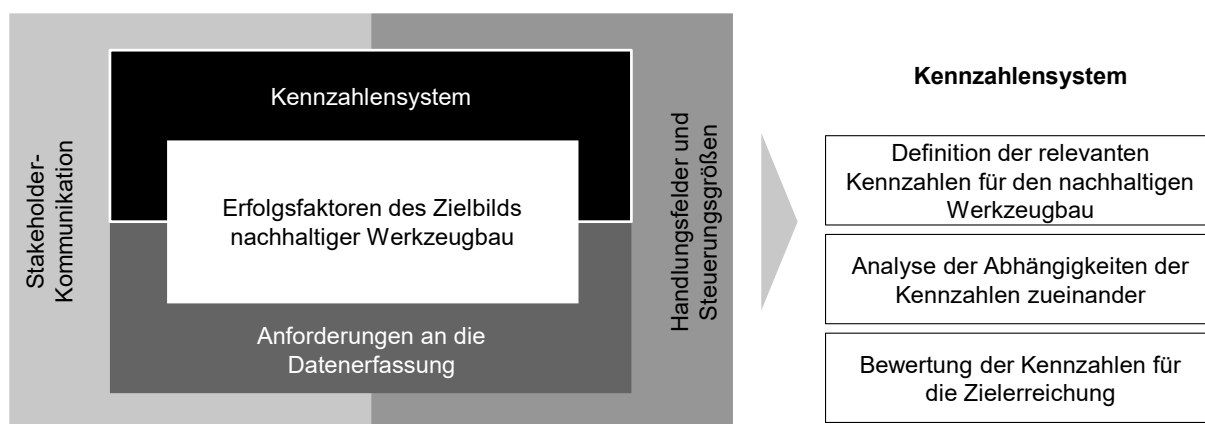


Abbildung 5.20: Gestaltungsaspekte des Gestaltungselement Kennzahlensystem⁴⁰⁸

Im Folgenden werden die relevanten Grundlagen zur Detaillierung des Kennzahlensystems erörtert. Im Anschluss daran werden die einzelnen Gestaltungsaspekte behandelt.

5.2.1 Grundlagen

Um die im vorausgegangenen Kapitel entwickelten Erfolgsfaktoren durch Kennzahlen messbar zu machen, wird es nötig sich mit den Eigenschaften von Kennzahlen und Kennzahlensystemen auseinanderzusetzen. Dies ist zu Genüge in Kapitel 2.3 als Grundlage dargelegt worden.

Um bei der Erarbeitung des Gestaltungselements auf entsprechende **Regelungen und Leitlinien zur Messung und Berichterstattung im Bereich der Nachhaltigkeit** zurückgreifen zu können, ist zunächst festzulegen, welche dieser Referenzen betrachtet werden. Die Richtlinie für **Corporate Social Responsibility (CSR)** bildet eine wichtige Basis dieser Texte. Hierbei handelt es sich um eine Richtlinie zur nichtfinanziellen Berichterstattung, die für große sowie kapitalmarktstarke Unternehmen gilt. Das Ziel dieser Richtlinie besteht darin, dass diese Unternehmen auch abseits finanzieller Belange einen jährlichen Bericht abgeben, um auf diese Weise Transparenz über Themen mit Nachhaltigkeitsbezug zu schaffen. Im Rahmen dieses Berichts sind das Unternehmen und dessen Vision vorzustellen. Abgesehen von finanziellen Angaben sind außerdem nachhaltigkeitsbezogene Chancen, Risiken und Abhängigkeiten darzulegen und welche Maßnahmen in diesem Bereich geplant sind. Diese Darstellung kann sowohl qualitativ als auch quantitativ erfolgen.⁴⁰⁹

Die Herausforderungen im Bereich der Nachhaltigkeit haben sich in den letzten Jahren vergrößert, weshalb die CSR-Richtlinie erweitert wurde. Diese Erweiterung ist unter dem Namen **CSRD** bekannt und beinhaltet eine signifikante Erweiterung der Anzahl der berichtspflichtigen Unternehmen. Zu diesen zählen nun unter anderem kapitalmarktorientierte KMUs, was für eine Vielzahl von Unternehmen des Werkzeugbaus relevant ist. Zudem wurde der Umfang der

⁴⁰⁸ Eigene Darstellung

⁴⁰⁹ Vgl. Europäischen Union (Richtlinie 2013/34/EU, Jahresabschluss): 2013; Europäischen Union (Richtlinie 2014/95/EU, Angabe nichtfinanzieller Informationen): 2014.

Berichterstattung erweitert und die berichterstattenden Unternehmen unterliegen bestimmten Maßstäben.⁴¹⁰

Im Rahmen dieser Regelungen zur Berichtserstattung wurden diverse Leitlinien und Rahmenwerke publiziert, die bei der Berichtserstattung unterstützend wirken sollen. Eine dieser Leitlinien wurde von der Europäischen Kommission veröffentlicht und hat dabei die folgenden Rahmenwerke berücksichtigt, die auch in der vorliegenden Arbeit Berücksichtigung finden:⁴¹¹

Das **CDP** ist eine Non-Profit-Organisation, deren Fokus auf der Unterstützung von KMUs bei der Berichtserstattung liegt. Dabei werden insbesondere die Themen Treibhausgasemissionen, Wasserschutz und der Erhalt von Waldgebieten adressiert⁴¹². Im Climate Disclosure Standards Board (**CDSB**)⁴¹³ und im International Integrated Reporting Framework (**IIRC**)⁴¹⁴ wird im Wesentlichen auf Standards hingewiesen, die bei der Messung verschiedener Werte zu berücksichtigen sind. So sind etwa alle Messungen verständlich und nachvollziehbar zu gestalten. Ein ähnlicher Ansatz findet sich im Leitfaden der **Sustainable Stock Exchanges Initiative** der Vereinten Nationen für die ESG-Berichterstattung (ESG, engl. Environmental, Social and Governance) an Investoren, wobei die Berichtserstattung hier explizit auf die Bereiche der ESG-Berichte ausgerichtet ist. Der Leitfaden der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (**OECD**) für verantwortungsvolles unternehmerisches Handeln⁴¹⁵ und entsprechende Lieferketten⁴¹⁶ richtet sich primär an international agierende Unternehmen und verfolgt das Ziel, die Wahrung von Arbeits- und Menschenrechten sowie Umweltschutz und korruptionsfreies Handeln entlang der gesamten Lieferkette zu gewährleisten. Eine ähnliche Intention verfolgen die Leitsätze der **Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung** für multinationale Unternehmen⁴¹⁷.

Das Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung (**EMAS**, engl. Eco-Management and Audit Scheme) fokussiert sich im Wesentlichen auf die Umweltberichterstattung von partizipierenden Unternehmen. Zu diesem Zweck wird ein Audit durchgeführt, das im Rahmen der ISO 14001 die Umweltberichterstattung und die Umweltbelastungen eines Unternehmens zertifiziert. Die Leistungsindikatoren der ESG-Kriterien sind Kennzahlen, die in die Kategorien Umwelt, Soziales und Governance eingeteilt werden. Die Kategorie Umwelt umfasst dabei Energieeffizienz und Treibhausgasemissionen⁴¹⁸, die Kategorie Soziales, die Mitarbeitendenfluktuation, die Mitarbeitendenqualifikation und die Abwesenheitsrate gemessen und die Kategorie Governance, Rechtsstreitigkeiten und Korruption.

⁴¹⁰ Vgl. Europäischen Union (Richtlinie 2022/2464, Nachhaltigkeitsberichterstattung): 2022.

⁴¹¹ Vgl. Europäischen Union (Mitteilung 2017/C 215/01, Berichtserstattung): 2017, 3–4.

⁴¹² Vgl. CDP Worldwide (Small and medium-sized enterprises): 2023.

⁴¹³ Vgl. CDSB (Framework for reporting): 2022.

⁴¹⁴ Vgl. IIRC (International integrated reporting framework): 2021.

⁴¹⁵ Vgl. OECD (OECD-Leitfaden Sorgfaltspflichten): 2018.

⁴¹⁶ Vgl. OECD/FAO (Leitfaden Lieferketten): 2016.

⁴¹⁷ Vgl. OECD (OECD-Leitsätze für multinationale Unternehmen): 2011.

⁴¹⁸ Vgl. UN SSE initiative (Model guidance on reporting): 2015.

Schlussendlich gibt es eine zusätzliche Kategorie, die die Umsätze durch neue Produkte festhält.⁴¹⁹

Die **GRI** hat eine umfassende Richtlinie zur Nachhaltigkeitsberichterstattung für KMUs, Regierungen und NGOs entwickelt. Gemäß dieser Richtlinie werden Kennzahlen aus sämtlichen Dimensionen der Nachhaltigkeit von Unternehmen zusammengetragen. Darüber hinaus ist die Angabe der Art und Weise der Ermittlung obligatorisch. Für die einzelnen Ermittlungsgrößen steht jeweils ein spezifisches Rahmenwerk zur Berichterstattung zur Verfügung.⁴²⁰ Die GRI stützt sich in ihrer Ausgestaltung auf den **Deutschen Nachhaltigkeitskodex (DNK)** und das **GHG-Protokoll**. Der Nachhaltigkeitskodex unterteilt Nachhaltigkeit in 20 Kriterien, die jeweils einer der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit zugeordnet sind.⁴²¹ Eine weniger umfassende Nachhaltigkeitsberichterstattung bietet das Sustainability Accounting Standards Board (**SASB**), das sich auf die Themen Energiemanagement, Mitarbeitendengesundheit und -sicherheit, Kraftstoffverbrauch und Emissionen, Rohstoffbeschaffung sowie Design und Dienstleistungen für Generalüberholungen beschränkt.⁴²² Im Bereich der Wirtschaftsprüfung ist der Strategic Report des britischen Financial Reporting Council (**FRC**) tätig. In diesem Rahmen werden Berichte erstellt und Audits durchgeführt, mit dem Ziel, die finanzielle Situation der bewerteten Unternehmen offenzulegen.⁴²³

Die **Leitlinie für Wirtschaft und Menschenrechte** der UN fordert Unternehmen dazu auf, über die Einhaltung der Menschenrechte entlang ihrer Lieferkette zu berichten.⁴²⁴ Ziel dieses Berichtsrahmens ist es, einen grundlegenden Wandel im Verantwortungsbereich der Menschenrechtsprobleme zu bewirken, indem die globale Wahrung von Menschenrechten tief in der Strategie jedes Unternehmens verankert wird. Die Leitlinie für Unternehmen und Menschenrechte⁴²⁵ verfolgt ein ähnliches Ziel. Auch die **ISO 26000**⁴²⁶ beschäftigt sich mit dem Thema der Einhaltung der Menschenrechte, wobei anzumerken ist, dass es sich hierbei lediglich um einen Leitfaden handelt, der keine Norm darstellt. Die Zielsetzung der ISO 26000 besteht in der Unterstützung von Unternehmen bei der Adressierung von Menschenrechtsverstößen und der Förderung eines positiven Beitrags zur sozialen Nachhaltigkeit auf freiwilliger Basis. Die Förderung dieses Bewusstseins für soziale Nachhaltigkeit auf internationaler Ebene ist ein wesentlicher Aspekt der Aktivitäten der Vereinten Nationen. Im Rahmen des Globalen Paktes der Vereinten Nationen (engl. **UN Global Compact**) wurden in diesem Zusammenhang zehn Prinzipien definiert, deren Befolgung für Unternehmen obligatorisch ist, die den Vertrag unterschrieben haben.⁴²⁷

⁴¹⁹ Vgl. Weiß et al. (Umweltkennzahlen in der Praxis): 2013.

⁴²⁰ Vgl. Global Reporting Initiative (GRI 1): 2023.

⁴²¹ Vgl. DNK (Der Deutsche Nachhaltigkeitskodex): 2020.

⁴²² Vgl. Sustainability Accounting Standards Board (Industriemaschinen und -güter: Sustainability): 2018.

⁴²³ Vgl. Financial Reporting Council (Guidance on the strategic report): 2022.

⁴²⁴ Vgl. Vereinte Nationen (Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte): 2020.

⁴²⁵ Vgl. Vereinte Nationen (Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte): 2020.

⁴²⁶ Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (ISO 26000, Gesellschaftliche Verantwortung): 2010.

⁴²⁷ Vgl. United Nations Global Compact (Strategy 2021-2023): 2021.

Im Kontext des **Natural Capital Protocol** wird Unternehmen ein Entscheidungsrahmen für die Nutzung natürlicher Ressourcen bereitgestellt⁴²⁸. Dieser Prozess umfasst die Durcharbeitung von vier Stufen im Entscheidungsprozess. Ziel ist die Erfassung der Auswirkungen auf natürliche Ressourcen für alle verfügbaren Alternativen und die Auswahl der optimalen Entscheidung. In ähnlicher Weise fokussiert sich der Product and Organisation Environmental Footprint Guide (**OEF**) des Europäischen Komitees auf den Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit⁴²⁹. Die Leitlinie zielt darauf ab, die ökologischen Faktoren eines Unternehmens zu analysieren und daraus eine Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit zu entwickeln.

Die „**Dreigliedrige Grundsatzerklärung**“ der Internationalen Arbeitsorganisation zu multinationalen Unternehmen und zur Sozialpolitik widmet sich spezifisch dem Arbeitsumfeld und den Möglichkeiten, die den Mitarbeitenden zur Verfügung stehen. Ein besonderer Fokus liegt hier auf den Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten der Mitarbeitenden. Darüber hinaus werden die Arbeitsbedingungen und die Arbeitsbeziehungen, ergo die Zufriedenheit der Mitarbeitenden, bewertet.⁴³⁰

Die Grundlage für die Erstellung des vorliegenden Kennzahlensystems wurde um die **Gemeinwohlökonomie** (GWÖ) ergänzt. Die GWÖ stellt eine neue Art des Wirtschaftens von Unternehmen dar, bei der das Wirken des Unternehmens nicht auf die Maximierung des Unternehmensgewinns, sondern auf die Maximierung des Wohles der Gemeinschaft abzielt. Die Gemeinwohl-Bilanz (GWB) stellt dabei das Werkzeug zur Umsetzung und Kommunikation dieses Ziels dar. Die Gemeinwohl-Bilanz (GWB) setzt sich aus den folgenden vier Grundwerten zusammen: Menschenwürde, Solidarität und soziale Gerechtigkeit, ökologische Nachhaltigkeit, Transparenz und Mitbestimmung. Die in Tabelle 5.2 dargestellte Bilanz spiegelt diese Werte wider.⁴³¹

Tabelle 5.2: Gemeinwohl-Matrix 5.0⁴³²

Wert				
Berührungsgruppen	Menschenwürde	Solidarität und Gerechtigkeit	Ökologische Nachhaltigkeit	Transparenz und Mitentscheidung
A: Lieferant*innen	A1 Menschenwürde in der Zulieferkette	A2 Solidarität und Gerechtigkeit in der Zulieferkette	A3 Ökologische Nachhaltigkeit in der Zulieferkette	A4 Transparenz und Mitentscheidung in der Zulieferkette
B: Eigentümer*innen & Finanzpartner*innen	B1 Ethische Haltung im Umgang mit Geldmitteln	B2 soziale Haltung im Umgang mit Geldmitteln	B3 sozial-ökologische Investitionen und Mittelverwendung	B4 Eigentum und Mitentscheidung

⁴²⁸ Vgl. Natural Capital Coalition (Natural capital protocol): 2016.

⁴²⁹ Vgl. Pelletier et al. (Organisation environmental footprint (OEF): 2012.

⁴³⁰ Vgl. IAA (Dreigliedrige Grundsatzerklärung): 2022.

⁴³¹ Vgl. Harrach (Transformation von Unternehmen): 2023, S. 17–24.

⁴³² Vgl. Blachfellner et al. (Arbeitsbuch zur Gemeinwohl-Bilanz): 2023, S. 8.

C: Mitarbeitende	C1 Menschenwürde am Arbeitsplatz	C2 Ausgestaltung der Arbeitsverträge	C3 Förderung des ökologischen Verhaltens der Mitarbeitenden	C4 Innerbetriebliche Mitentscheidung und Transparenz
D: Kund*innen & Mitunternehmen	D1 ethische Kund*innenbeziehungen	D2 Kooperation und Solidarität mit Mitunternehmen	D3 Ökologische Auswirkung durch Nutzung und Entsorgung von Produkten und Dienstleistungen	D4 Kund*innen-Mitwirkung und Produkttransparenz
E: Gesellschaftliches Umfeld	E1 Sinn und gesellschaftliche Wirkung der Produkte und Dienstleistungen	E2 Beitrag zum Gemeinwesen	E3 Reduktion ökologischer Auswirkungen	E4 Transparenz und gesellschaftliche Mitentscheidung

Der **Praxisbezug** zur Branche Werkzeugbau ergibt sich aus dem kontinuierlichen Austausch mit Betrieben der Branche im Rahmen von Industrie- und Forschungsprojekten. Für das vorliegende Gestaltungselement erweisen sich insbesondere das Mitverfassen der WBA-Studie zum Thema Messen der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau⁴³³ sowie die Inhalte des Konsortialprojekts zu diesem Thema im Jahr 2023 als relevant⁴³⁴.

Das „**Haus der Qualität**“ oder auch „QFD-Haus“ nach der Methode Quality Function Deployment (QFD) benannt, der es entspringt. Im vorliegenden Gestaltungselement bildet das „Haus der Qualität“ die Grundlage für die Bewertung der Bedeutung der Kennzahlen des Kennzahlensystems für die Zielerreichung des nachhaltigen Werkzeugbaus. Die Methode zielt darauf ab, eine strukturierte und frühzeitige Entscheidungsfindung in der Produktentwicklung zu ermöglichen, die sich auf die Kundenbedürfnisse fokussiert. Darüber hinaus ermöglicht sie eine optimierte Ressourcenverteilung, weshalb sie vor allem in der Produktentwicklung, der Dienstleistungsgestaltung und der Prozessoptimierung Anwendung findet. Das Grundkonzept des „Haus der Qualität“ besteht in der systematischen Erfassung, Gewichtung und Erfassung von Kundenwünschen in technischen Spezifikationen, welche für die Priorisierung in der Produktentwicklung von entscheidender Bedeutung sind. Die Struktur des „Haus der Qualität“ ist in Abbildung 5.21 schematisch dargestellt und setzt sich aus den folgenden Komponenten zusammen:

1. **Kundenwünsche** (linke Seite): Liste der Kundenanforderungen
2. **Technische Merkmale** (obere Seite): Produkteigenschaften zur Erfüllung der Kundenwünsche
3. **Korrelationsmatrix** (Dach): Zeigt Wechselwirkungen zwischen technischen Merkmalen
4. **Beziehungsmatrix** (Zentrum): Zeigt Zusammenhänge zwischen Kundenwünschen und technischen Merkmalen
5. **Wettbewerbsvergleich** (rechte Seite): Vergleich mit Konkurrenzprodukten

⁴³³ Vgl. Boos et al. (Erfolgreich Nachhaltigkeit messbar machen): 2024.

⁴³⁴ Konsortialprojekt der WBA „Messbarmachung der Nachhaltigkeit – Kennzahlensystem für den nachhaltigen Werkzeugbau“, 2023

6. Gewichtung und Priorisierung (unterer Teil): Bewertung der Wichtigkeit der Anforderungen

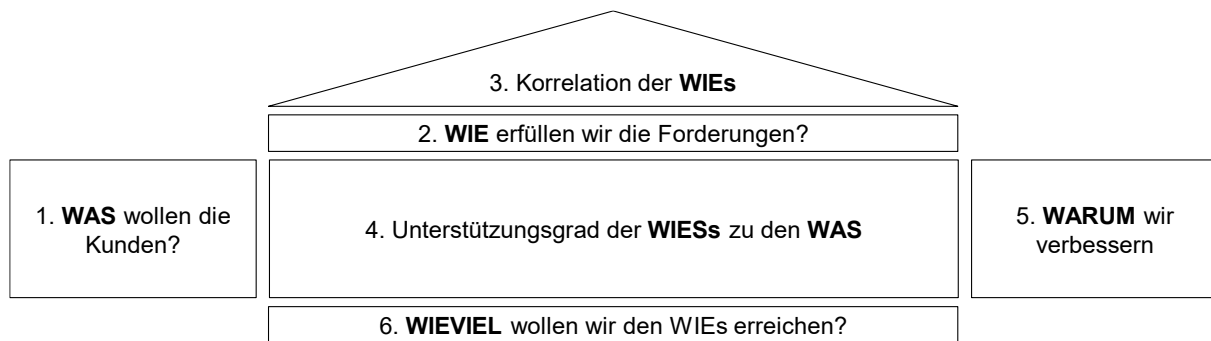


Abbildung 5.21: Schematische Darstellung des „Haus der Qualität“ i. A. a. SAATWEBER⁴³⁵

Das Vorgehen beginnt mit der Identifizierung der Kundenwünsche. Darauf aufbauend werden anschließend die technischen Merkmale definiert. Im darauffolgenden Schritt wird die Beziehung zwischen den technischen Merkmalen und den Kundenwünschen bewertet. Daraus entstehen die Zielwerte für die technischen Merkmale. Abschließend werden eine Konkurrenzanalyse durchgeführt und die Entwicklungsaufgaben priorisiert.⁴³⁶

5.2.2 Definition der relevanten Kennzahlen für den nachhaltigen Werkzeugbau

Die im vorangegangenen Kapitel entwickelten Erfolgsfaktoren beschreiben die Faktoren, die einen positiven Einfluss auf die Ziele des nachhaltigen Werkzeugbaus haben. Um die Bemühungen, diese Ziele zu erreichen, zu steuern, ist es erforderlich, die Erfolgsfaktoren messbar zu machen. Dabei sind die folgenden **Randbedingungen des Kennzahlensystems** zu berücksichtigen. Das operative Ziel des Kennzahlensystems besteht in der Förderung der internen Steuerung der Entwicklung des Werkzeugbaus hin zur Steigerung der Nachhaltigkeit. Dazu werden die Geschäftsführung und die Führungskräfte bei ihren Entscheidungen durch die Kennzahlen unterstützt. Da die Nachhaltigkeit in den Dimensionen Ökologie, Ökonomie, Soziales und Unternehmensführung gesteuert werden soll, handelt es sich um ein mehrdimensionales Kennzahlensystem. Neben Finanzkennzahlen werden demnach auch weitere Werte berücksichtigt. Der Fokus liegt, soweit möglich, auf quantitativen Kennzahlen, die die Basis für ein Rechensystem darstellen. Dadurch lassen sich Werte aggregieren und nachvollziehbar berechnen und eine hohe Objektivität erreichen. Aufgrund der Herausforderung, die verschiedenen Nachhaltigkeitsdimensionen, insbesondere der sozialen, zu integrieren, muss ein hybrides System aus Rechen- und Ordnungssystem gewählt werden.

⁴³⁵ Vgl. Saatweber (Kundenorientierung durch Quality Function): 2011, S. 72.

⁴³⁶ Vgl. Saatweber (Kundenorientierung durch Quality Function): 2011, S. 71–73; Eder (Methode QFD): 1995, 1–9.

5.2.2.1 Systemgrenzen des Kennzahlensystems

Die Selektion der relevanten Kennzahlen bedingt die Festlegung der Grenzen des betrachteten Systems. In der vorliegenden Arbeit werden diese Grenzen insbesondere im Hinblick auf die Emissionsberechnung definiert, da an dieser Stelle die Systemgrenzen eine besondere Komplexität aufweisen. Die Festlegung, welche Prozesse und Elementarflüsse in die Bewertung einzubeziehen sind, erfolgt auf Basis der zuvor definierten Grenzen, wobei auch der Detaillierungsgrad eine entscheidende Rolle spielt⁴³⁷. Die Systemgrenze definiert demnach die Schnittstelle zwischen dem betrachteten System und anderen, nicht berücksichtigten Systemen, wie der Technosphäre und der Ökosphäre. Daraus ergeben sich die relevanten Eingangs- und Ausgangsgrößen in Form von Elementar- und Produktströmen, wobei sich Letztere auf Produkte beziehen, die von anderen Produktsystemen geliefert oder in andere Produktsysteme geliefert werden. Elementarströme umfassen demnach Ströme, die entweder direkt aus der Umwelt entnommen oder ohne zusätzliche menschliche Vor- oder Nachbearbeitung in die Umwelt abgegeben werden.⁴³⁸

Aus der CO₂e-Perspektive differenzieren ISO 14064-1, ISO/TR 14069 und das GHG-Protokoll in der Regel zwischen betrieblichen Grenzen beziehungsweise Berichtsgrenzen und organisatorischen Grenzen. Während erstere die Bereiche mit den verschiedenen direkten und indirekten Emissionen beziehungsweise dem Abbau der zurechenbaren Prozesse umfassen, beziehen sich letztere direkt auf die Grenzen der betrachteten Einheit des Werkzeugbaus. Im Folgenden sollen diese näher erläutert werden. Die Wahl der Systemgrenze ist von entscheidender Bedeutung, um die tatsächlichen wirtschaftlichen Aktivitäten realistisch abzubilden und die Rechtsform des Unternehmens widerzuspiegeln. Zu diesem Zweck haben sich die beiden Konsolidierungsmethoden, die Equity-Methode und die Kontrollmethode, etabliert, die sich beide aus den Leitlinien der International Financial Reporting Standards (IFRS) ableiten. In Fällen, in denen beide Methoden als gleichwertig geeignet und mit den Unternehmenszielen vereinbar angesehen werden, ist der Kontrollansatz vorzuziehen, da er eine engere Anlehnung an die bereits verwendeten Finanzbuchhaltungsregeln zur Emissionsberechnung aufweist.⁴³⁹

In der Branchenübersicht in Kapitel 2.1 wird dargelegt, dass Werkzeugbaubetriebe typischerweise als selbstständige KMU mit einer geringen Anzahl an Mitarbeitenden zu charakterisieren sind. In Kombination mit den Projekterfahrungen lässt sich die Hypothese ableiten, dass für Werkzeugbaubetriebe als pragmatische Verallgemeinerung Organisationsformen ohne externe Einbindung postuliert werden können, die sich durch eine einfache Struktur und klare Abgrenzung auszeichnen. In der Konsequenz ist es nicht erforderlich, einen expliziten Konsolidierungsansatz anzuwenden. Werkzeugbaubetriebe sollten somit sowohl Eigentum als auch Kontrolle über ihre Aktivitäten besitzen, wobei diese zudem mit ihrer Rechtsform übereinstimmen sollten. Eine weitere Einschränkung ergibt sich aus der Betrachtung nur des einzelnen

⁴³⁷ Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (14067:2018, Greenhouse gases): 2018, S. 39.

⁴³⁸ Vgl. Hottenroth et al. (Carbon Footprints für Produkte): 2014, 32, 36.

⁴³⁹ Vgl. ISO (ISO 14064-1, Greenhouse gases): 2019, 6, 22, 24-25; ISO/TC207 (Greenhouse gases), S. 7-12; Ranganathan et al. (The Greenhouse Gas Protocol): 2004, 8, 16-19, 24-25.

spezifischen Standorts. Es ist essenziell, dass alle vorherigen Annahmen nicht nur für externe Werkzeugbaubetriebe, sondern auch für interne gelten, da diese ein Teil eines größeren Unternehmens sind.

Es ist von Relevanz, dass sämtliche Aktivitäten, die für die Werkzeugherstellung essenziell sind, in die Betrachtung einbezogen werden. Demgegenüber sind solche Aktivitäten, die nicht für die Werkzeugherstellung relevant sind, außerhalb der definierten Systemgrenze zu verorten. Andernfalls würden die Gemeinkosten des gesamten, potenziell multinationalen Unternehmens das Kennzahlensystem beeinflussen, obwohl sie in keinem eindeutigen Zusammenhang mit dem betrachteten Produktsystem stünden. Der Produktionsstandort, an dem das Werkzeug für interne Zwecke hergestellt wird, kann jedoch auch andere Abteilungen als den Werkzeugbau umfassen, was sich auf das Ergebnis des Kennzahlensystems auswirken würde. Für den Marktzugangstyp des internen Werkzeugbaus sind daher die organisatorischen Grenzen nur um die jeweilige interne Werkzeugabteilung zu ziehen, da diese entweder als Abteilung, Cost- oder als Profit-Center in die Mutterorganisation integriert ist (vgl. Kapitel 2.1). Es wird angenommen, dass eine getrennte Bilanzierung dieser Center aufgrund der bestehenden, differenzierten Verwaltung als praktikabel anzunehmen ist.

Die Begrenzung der Systemgrenze auf den Produktionsstandort (extern) beziehungsweise auf den Werkzeugbau (intern) definiert auch die geografische Systemgrenze, die primär den deutschen Werkzeugbau betrifft. Allerdings sind die direkten, energetisch indirekten und sonstigen indirekten Emissionen (upstream) aller zurechenbaren Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu betrachten. Dies betrifft beispielsweise auch soziale Kennzahlen, die die Lieferkette betreffen. Der geografische Geltungsbereich des Systems hängt folglich von der physischen Realität des Lieferantennetzwerks ab, weshalb eine Zuordnung aller relevanten Daten zu länderspezifischen Ökopprofilen erforderlich ist, um eine belastbare CO₂e-Bilanzierung zu ermöglichen. Die beschriebenen Systemgrenzen des externen und internen Werkzeugbaus sind in Abbildung 5.22 dargestellt.

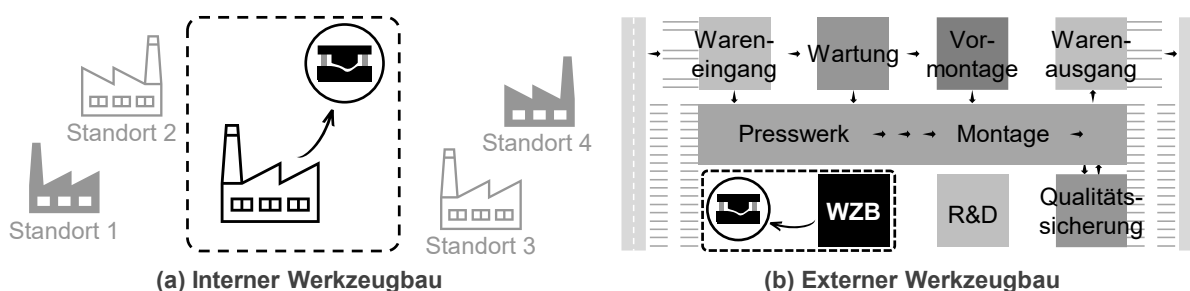


Abbildung 5.22: Systemgrenzen des externen (a) und internen Werkzeugbaus (b)⁴⁴⁰

5.2.2.2 Aufbau des Kennzahlensystems

Der in Kapitel 5.1 dargestellte **Aufbau des Kennzahlensystems** wird durch eine weitere Detaillierungsebene ergänzt. Die Kennzahlen dienen der präzisen Beschreibung der entwickelten

⁴⁴⁰ Eigene Darstellung

Erfolgsfaktoren und deren Messung, sodass eine zielgerichtete Steuerung der Erfolgsfaktoren über diese Kennzahlen ermöglicht wird. Die Struktur des Kennzahlensystems entwickelt sich von der Vision des Werkzeugbaubetriebs und damit der höchsten Abstraktion ausgehend mit zunehmendem Detaillierungsgrad nach unten. In Kapitel 5.1.2 wurden aus der Vision zunächst die Mission, die vier strategischen Ziele und Teilziele abgeleitet. In Kapitel 5.1.3 wurde die Entwicklung der Erfolgsfaktoren vorgenommen, wodurch die nächste Detaillierungsebene der Struktur des Kennzahlensystems ergänzt wurde. Im vorliegenden Kapitel erfolgt auf der nächsten Ebene die Ergänzung um den Erfolgsfaktoren zugeordnete Kennzahlen. Der Aufbau der Struktur des Kennzahlensystems ist somit abgeschlossen und es wird eine transparente Verknüpfung der einzelnen Kennzahlen über sechs Ebenen mit der Vision des Werkzeugbaubetriebs ermöglicht. Die Struktur des Kennzahlensystems ist schematisch in Abbildung 5.23 dargestellt.



Abbildung 5.23: Schematische Darstellung der Integration der Kennzahlen in die Struktur des Kennzahlensystems⁴⁴¹

Die Selektion der Kennzahlen erfolgt mit der Intention, Erfolgsfaktoren zu quantifizieren und die zuvor beschriebenen Rahmenbedingungen des Kennzahlensystems zu erfüllen. Zudem müssen die einzelnen Kennzahlen bestimmten Anforderungen genügen. Gemäß GOTTMANN⁴⁴² lassen sich die zu erfüllenden **Eigenschaften der Kennzahlen** wie folgt zusammenfassen:

- Einfluss auf das Zielsystem
- Tatsächliche Stellgröße zur Steuerung
- Fokus auf interne Kennzahlen
- Vertretbarer Aufwand zu Nutzen
- Bekannte Wechselwirkung zwischen Kennzahlen
- Zielführende Kommunikation

⁴⁴¹ Eigene Darstellung

⁴⁴² Vgl. Gottmann (Produktionscontrolling): 2019, S. 152–153.

- Bestehende Ziel- oder Sollwerte

Nach diesen Kriterien ergeben sich die Kennzahlen des Kennzahlensystems. Die Auswahl der Kennzahlen erfolgt anhand der spezifischen Kriterien, wobei der Fokus auf der Transparenz der Herleitung aus der Vision sowie der Verknüpfung mit den Erfolgsfaktoren und Teilzielen liegt. Die Kennzahlen des Systems sind darauf ausgerichtet, mindestens einen Erfolgsfaktor zu repräsentieren und somit einen Einfluss auf das Zielsystem auszuüben. In der Konsequenz stellen sie Stellgrößen für die Unternehmenssteuerung des Werkzeugbaus dar. Der Fokus liegt somit auf internen Kennzahlen, die innerhalb der direkten Einflussosphäre des Werkzeugbaus liegen. Die Anwendung der Kennzahlen zur Steuerung wird in Kapitel 5.5 dargestellt, wo diese mit den relevanten Handlungsfeldern der Nachhaltigkeit für den Werkzeugbau verknüpft werden. Im Sinne der Anwendbarkeit wurde der Umfang möglichst geringgehalten. Im Durchschnitt werden 22 Kennzahlen in einem Werkzeugbaubetrieb verwendet⁴⁴³. Das vorliegende Kennzahlensystem umfasst 55 Kennzahlen wobei sich jedoch durch die spätere Bewertung der Kennzahlen, die für den jeweiligen Werkzeugbau relevante Anzahl an Kennzahlen reduziert (vgl. Kapitel 5.2.4). Neben der Anzahl an Kennzahlen wurde auch das Verhältnis von Aufwand zu Nutzen jeder Kennzahl untersucht. Der größte Aufwand entsteht dabei aus der Gewinnung und geforderten Qualität der Eingangsgrößen, die zur Berechnung der Kennzahlen nötig sind. In Kapitel 5.3 werden daher der für dieses Kennzahlensystem benötigte Datenumfang und die Anforderungen an die Primärdaten dargestellt. Die Analyse und Darstellung der Wechselwirkung der Kennzahlen zueinander gewährleistet Transparenz über die potenziell gegenläufige Beeinflussung der Kennzahlen untereinander. Darüber hinaus lässt sich aus den Wechselwirkungen der Einfluss der einzelnen Kennzahl auf das gesamte Kennzahlensystem bewerten. Das Ergebnis der Bewertung der Wechselwirkungen ist in Kapitel 5.2.3 dargestellt. Das Kennzahlensystem zielt darauf ab, den Werkzeugbaubetrieb bei der Verwirklichung von mehr Nachhaltigkeit zu unterstützen, wobei sich die primäre Wirkung durch die Kommunikation der Kennzahlen an die relevanten Anspruchsgruppen entfaltet, die auf die Steigerung der Nachhaltigkeit Einfluss nehmen können. Die Kommunikation des Kennzahlensystems an die relevanten Anspruchsgruppen ist in Kapitel 5.4 dargestellt.

Zur Gewährleistung einer möglichst großen Standardisierung und möglichen Verwendungen der erhobenen Kennzahlen über die interne Unternehmenssteuerung hinaus sind, wo möglich, Kennzahlen aus etablierten **Kennzahlendatenbanken** (vgl. Kapitel 5.2.1) zum Einsatz gekommen. Als repräsentative Beispiele für derartige Datenbanken sind in diesem Zusammenhang insbesondere die Kennzahlenkataloge der GRI und der GWÖ hervorzuheben. Der umfangreiche Kennzahlenkatalog der GRI kann in verschiedene Dokumente untergliedert werden, die die universellen Standards, die sektoralen Standards und die thematischen Standards darstellen. Die GRI-Kennzahlen adressieren die ökologische, ökonomische und soziale Dimension und zielen darauf ab, die Transparenz der Nachhaltigkeitsberichterstattung zu erhöhen. Anwendende dieser Kennzahlen sind in erster Linie große Unternehmen, doch auch KMUs, wie

⁴⁴³ Vgl. Boos et al. (Erfolgreich Performance Messen): 2017, S. 42.

sie im Werkzeugbau weit verbreitet sind, können sie nutzen.⁴⁴⁴ Die Struktur der GRI-Kennzahlen wird in Abbildung 5.24 veranschaulicht.



Abbildung 5.24: **Aufbau der GRI-Standards der Global Reporting Initiative i. A. a. GRI⁴⁴⁵**

Die etablierten ökonomischen Kennzahlen wurden der aktuellen Fachliteratur sowie der Dissertation von KOZIELSKI⁴⁴⁶, die ein integratives Kennzahlensystem explizit für den Werkzeugbau darstellt, entnommen. Die Quellen dieser Kennzahlenkataloge sind, soweit nötig, in Kapitel 5.2.1 kurz beschrieben. Die Erstellung der Kennzahlensammlung basiert zudem auf den Ergebnissen der Studie „Erfolgreich Nachhaltigkeit messbar machen im Werkzeugbau“⁴⁴⁷ sowie dem Konsortialprojekt zur Messung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau⁴⁴⁸. In Abbildung 5.25 ist die Übersicht der verschiedenen Quellen und Vorarbeiten, die die Kennzahlensammlung darstellen. Die so ermittelte Kennzahlensammlung bildet die Grundlage für das vorliegende Kennzahlensystem.

⁴⁴⁴ Vgl. GRI (Introduction to GRI): 2023, S. 2–4.

⁴⁴⁵ Vgl. GRI (Introduction to GRI): 2023, S. 3.

⁴⁴⁶ Vgl. Kozielski (Integratives Kennzahlensystem): 2013, S. 205–224.

⁴⁴⁷ Vgl. Boos et al. (Erfolgreich Nachhaltigkeit messbar machen): 2024.

⁴⁴⁸ Konsortialprojekt der WBA „Messbarmachung der Nachhaltigkeit – Kennzahlensystem für den nachhaltigen Werkzeugbau“, 2023

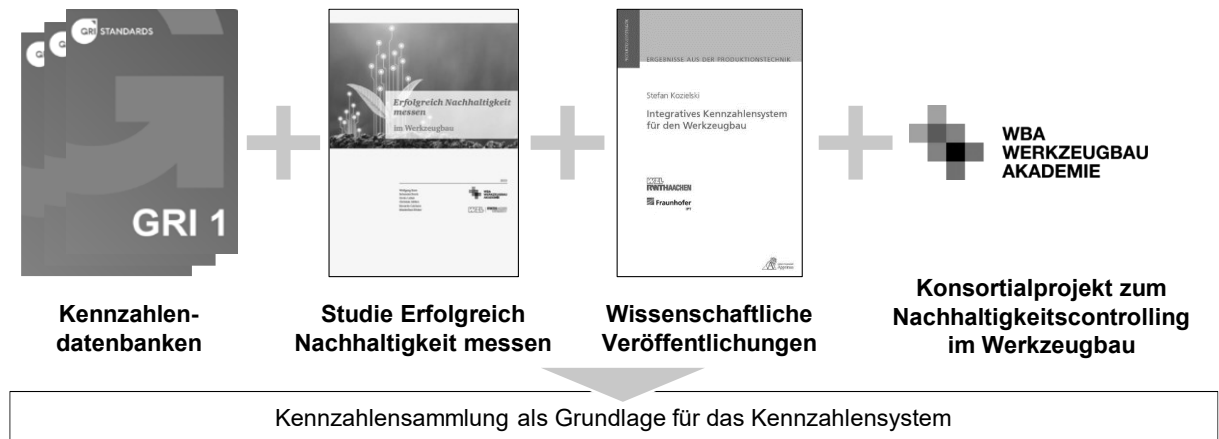


Abbildung 5.25: Quellen der Kennzahlensammlung als Grundlage für das Kennzahlensystem⁴⁴⁹

Die Selektion der Kennzahlen aus der Kennzahlensammlung erfolgt demnach auf Basis zweier Faktoren. Einerseits sind dies die definierten Anforderungen an die Kennzahlen, andererseits die im Kapitel 5.1 entwickelten Ziele und Erfolgsfaktoren. Den Erfolgsfaktoren sind in der Folge verschiedene Kennzahlen zugeordnet, die ebenjene beschreiben. Die Kennzahlen, welche die beschriebenen Anforderungen erfüllen, finden sich folglich in der eingangs dargestellten Struktur des Kennzahlensystems wieder, sodass sich insgesamt das Kennzahlensystem ergibt. Der Aufbau des Kennzahlensystems inklusive der gewählten Kennzahlen ist nach den Zieldimensionen aufgeteilt in den folgenden vier Abbildungen dargestellt (vgl. Abbildung 5.26, Abbildung 5.27, Abbildung 5.28 und Abbildung 5.29).

⁴⁴⁹ Eigene Darstellung

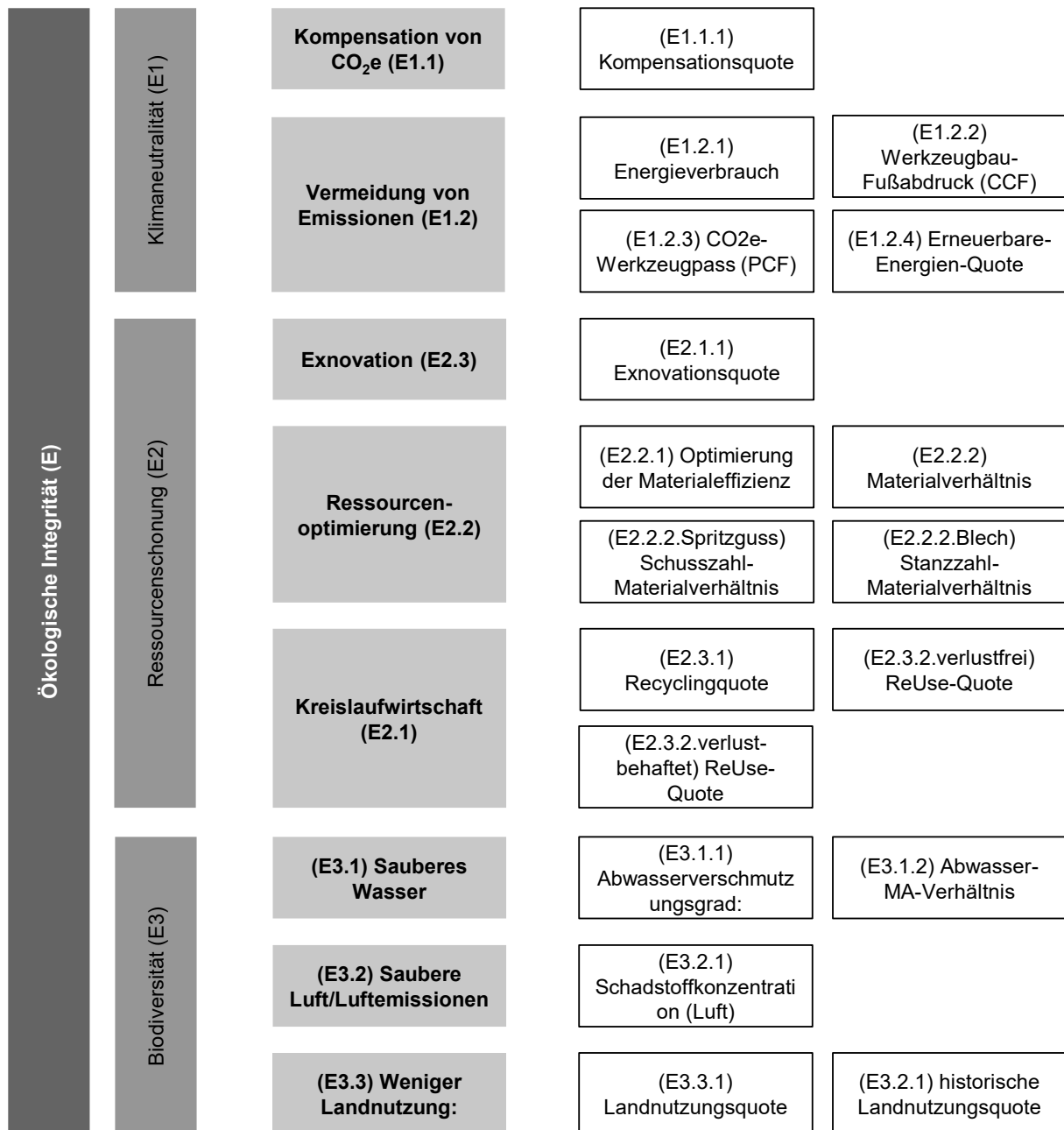


Abbildung 5.26:

Treiberbaumdarstellung der ökologischen Kennzahlen des Kennzahlensystems⁴⁵⁰⁴⁵⁰ Eigene Darstellung

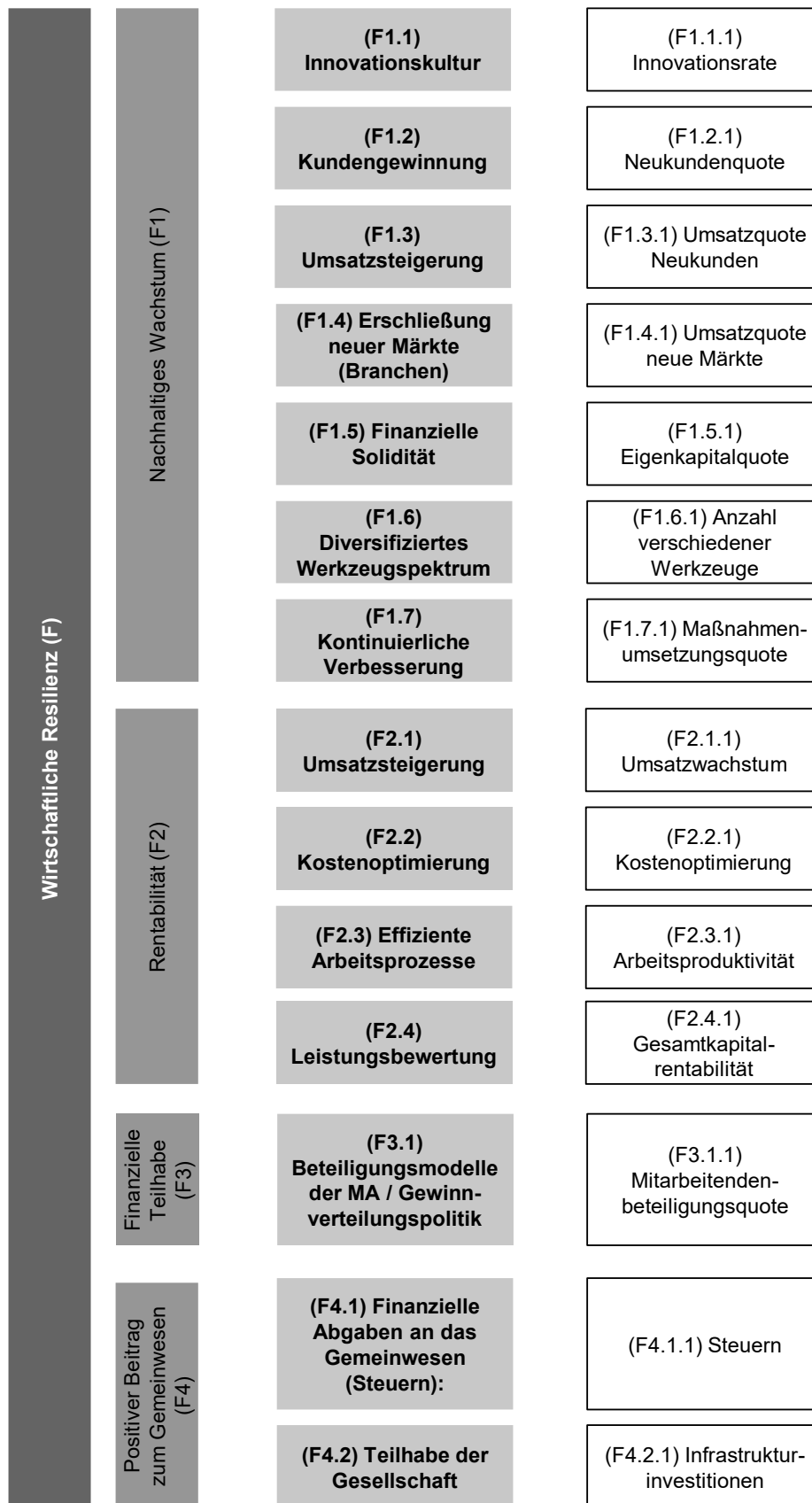


Abbildung 5.27:

Treiberbaumdarstellung der ökonomischen Kennzahlen des Kennzahlen-

systems⁴⁵¹

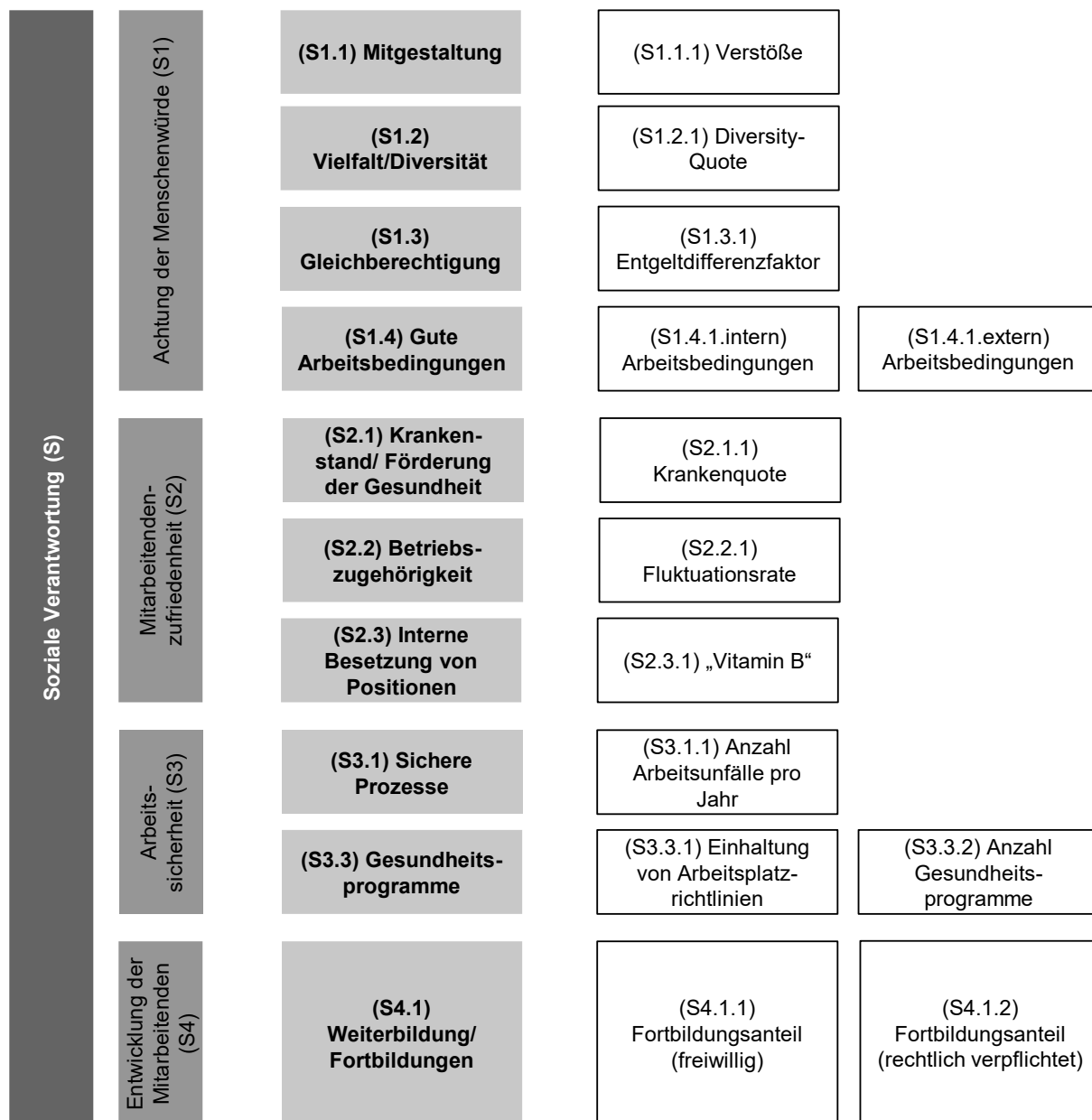


Abbildung 5.28: Treiberbaumdarstellung der sozialen Kennzahlen des Kennzahlensystems⁴⁵²

⁴⁵¹ Eigene Darstellung

⁴⁵² Eigene Darstellung

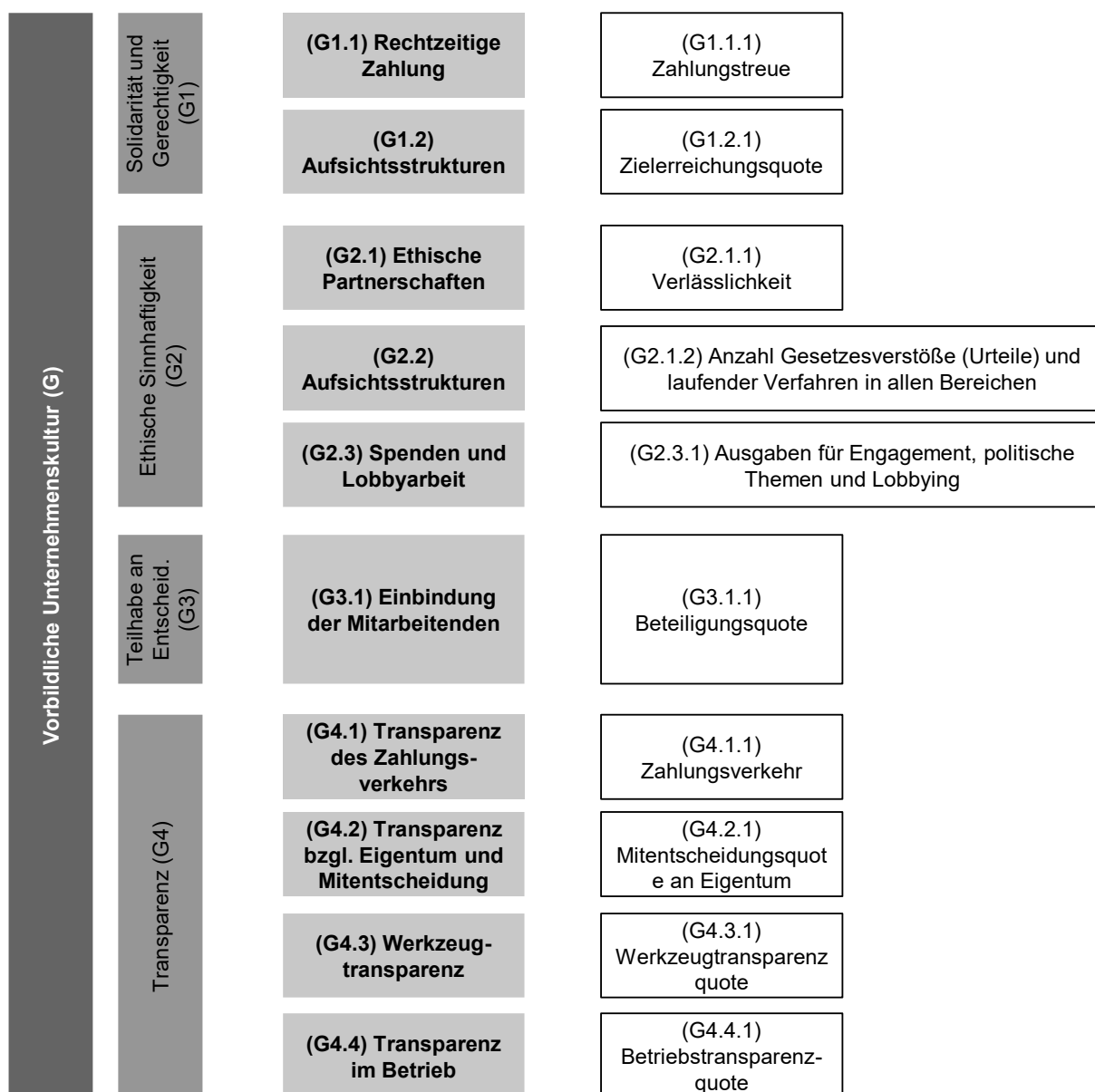


Abbildung 5.29: Treiberbaumdarstellung der Governance-Kennzahlen des Kennzahlensystems⁴⁵³

5.2.2.3 Spitzenkennzahlen am Beispiel der Emissionsmessung im Werkzeugbau

Im Rahmen des in der vorliegenden Arbeit entwickelten Kennzahlensystems werden den Erfolgsfaktoren zugeordneten Kennzahlen „Spitzenkennzahlen“ bezeichnet. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass sie Sachverhalte in stark komprimierter und aggregierter Form abbilden⁴⁵⁴ und in hohem Maße mit den Unternehmenszielen verbunden sind, da sie die Aggregation weiterer Kennzahlen darstellen.⁴⁵⁵ Die Anzahl der relevanten Kennzahlen wird somit reduziert und die Praktikabilität des geschaffenen Kennzahlensystems gewährleistet. Die ausgewählten

⁴⁵³ Eigene Darstellung

⁴⁵⁴ Vgl. Burth et al. (Spitzenkennzahlen): 2024, S. 1.

⁴⁵⁵ Vgl. Dierkes et al. (Finanzcontrolling in der Unternehmenspraxis): 2022, S. 260–261.

Kennzahlen stehen somit stellvertretend für eine Vielzahl weiterer Werte, die sie aggregieren, insbesondere bei den CO₂e-Emissionen. Sie werden als einer der wichtigsten Werte in der ökologischen Nachhaltigkeit aggregiert als Scope 1, 2 und 3 Emissionen des Unternehmensfußabdrucks (CCF, vgl. Kapitel 2.2) abgebildet.

Im Folgenden werden die für die Scope-Darstellung der Emissionen erforderlichen Daten dargestellt. Das Systemflussdiagramm in Abbildung 5.30 visualisiert die in Kapitel 5.2.2.1 erläuterten Systemgrenzen der betrachteten Technosphäre und umfasst sämtliche für die Emissionsberechnung relevanten Elementar- und Produktflüsse. Die Ressourcenentnahme aus der Ökosphäre ist implizit durch die Prozess-Inputs dargestellt. Ein weiteres charakteristisches Merkmal der Werkzeugproduktion ist die Einbeziehung von Erprobungsaktivitäten in die Produktionsphase, auch Try-out-Schleifen genannt. In diesen Schleifen wird die Prozessfähigkeit des Werkzeugs sichergestellt, indem es in iterativen Qualifizierungszyklen geprüft und optimiert wird. Dies umfasst auch die Transporte zum Kunden, bevor die endgültige Auslieferung erfolgt und die direkte Verantwortung für den Werkzeugbau endet⁴⁵⁶. Es erfolgt also eine Differenzierung zwischen vorgelagerten Transporten, produktionsnahen Logistikprozessen und Produktionsphasen gebundenen logistischen Prozessen. Letztere sind nicht durch die Intralogistik auf dem Firmengelände abgedeckt.

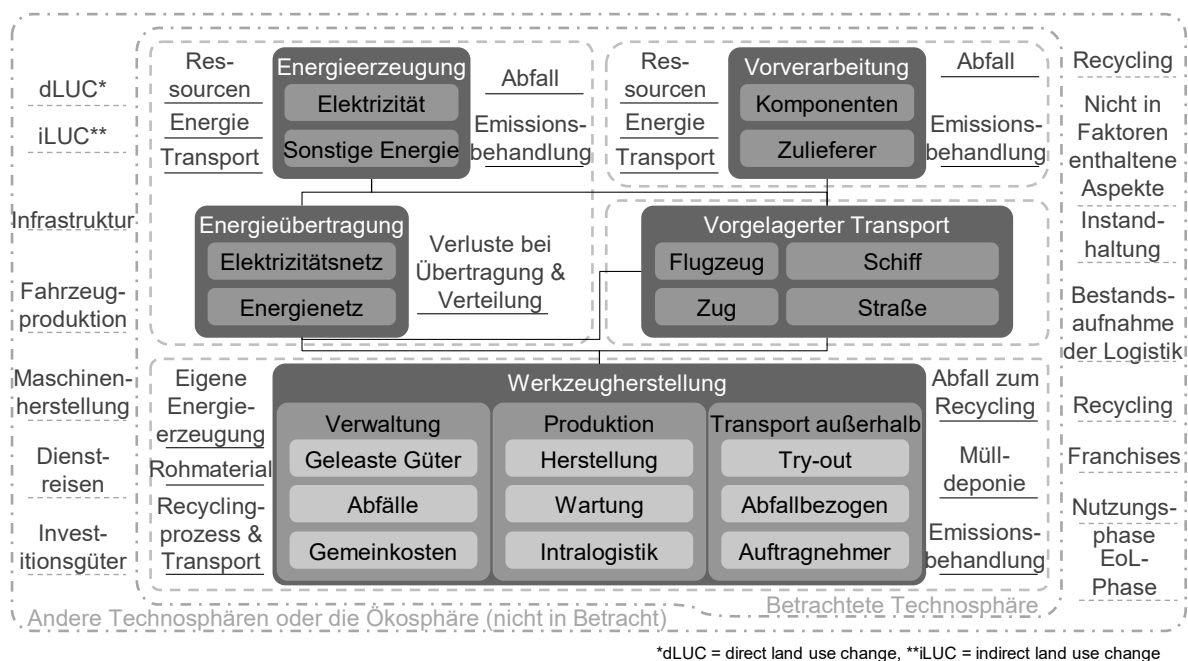


Abbildung 5.30: Systemflussdiagramm der für die Emissionsberechnung benötigten Eingangsgrößen und der Systemgrenzen⁴⁵⁷

Es wird ersichtlich, dass die einzelnen Phasen, auch wenn sie nacheinander formuliert sind, in der Realität oft ineinandergreifen. So benötigt beispielsweise die Vorverarbeitung selbst

⁴⁵⁶ Vgl. Kelzenberg (Datenstrukturmodell von Werkzeugbaubetrieben): 2019, S. 60–61.

⁴⁵⁷ Eigene Darstellung

Energie benötigt, während die Energiebereitstellung wiederum auf Zulieferteile angewiesen ist. Das betrachtete System ist in bestimmten Aspekten von anderen Technosphären abgegrenzt. Einige dieser Ausschlüsse, wie die Produktion von Transportmitteln, deren Wartung oder die Einrichtung physischer Infrastrukturen, gehören zu anderen Produktsystemen und/oder sind vorübergehend von der Produktion des Werkzeugs getrennt, während andere, wie dLUC (engl. direct land use change), Geschäftsreisen oder Investitionsgüter zwar zum System des untersuchten Werkzeugs gehören, aber dennoch ausgeschlossen sind. Es sei jedoch angemerkt, dass nur jene Prozesse in die Bewertung einbezogen werden können, die ebenfalls in den verfügbaren Emissionsdatenbanken enthalten sind. Zwar entspricht dies nicht immer dem Idealzustand einer vollständigen Berücksichtigung vorgelagerter Prozesse, doch ist dies der derzeit gängige Ansatz. Die Komplexität und der Umfang eines Kennzahlensystems samt den nachgelagerten Kennzahlen werden somit ersichtlich.

5.2.2.4 Definition der Kennzahlen

Für die eindeutige Bestimmung jeder Kennzahl des Kennzahlensystems und deren klare Beschreibung ist ein **Kennzahlensteckbrief** erforderlich, der alle relevanten Informationen bezüglich der einzelnen Kennzahl sowie deren Stellung im Kennzahlensystem umfassen soll. Die eindeutige Bestimmung jeder Kennzahl des Kennzahlensystems erfolgt durch einen solchen Steckbrief, wobei der erste Eintrag die Position ist, welche die Stellung im gesamten Kennzahlensystem beschreibt und durch die Kennzahl eindeutig beschrieben ist. Die **Position** folgt der bisherigen Logik der Benennung der Ziele und Erfolgsfaktoren. Die Benennung der Kennzahl setzt sich aus dem Buchstaben der Nachhaltigkeitsdimension (E, F, S oder G), der Nummer des Teilziels (m), getrennt durch einen Punkt von der Nummer des Erfolgsfaktors (n) und durch einen Punkt getrennt der Nummer der Kennzahl (o) und setzt sich somit zu „Xm.n.o“ zusammen. Die **Bezeichnung** der Kennzahl stellt eine verbale Benennung dar, die eine eindeutige Identifikation ermöglicht und Rückschluss auf die Definition zulässt. Die **Definition** ist die verbale Beschreibung des Inhalts der Kennzahl. Die **Quelle** fungiert als Referenz für den Ursprung der Kennzahl und ermöglicht eine detaillierte Beschreibung sowie eine mögliche Vergleichbarkeit mit anderen Unternehmen oder Berichten. In diesem Zusammenhang wird beispielsweise auf die GRI verwiesen, sollte es sich um eine Kennzahl handeln, die dieser Kennzahlendatenbank entspringt. Die Einträge im Kennzahlensteckbrief ermöglichen die eindeutige Identifizierung und Definition jeder Kennzahl des Kennzahlensystems. Die Kennzahlensteckbriefe aller Kennzahlen des Kennzahlensystems sind dem Anhang in Tabelle 7.3 zu entnehmen. In Kapitel 5.3 wird diese Definition der Kennzahlen um die benötigte Datengrundlage und die Anforderungen an diese erweitert. Der Aufbau des Kennzahlensteckbriefs ist in Abbildung 5.31 dargestellt.

Kennzahlensteckbrief			
Position	Bezeichnung	Definition	Quelle

Abbildung 5.31: Aufbau des Kennzahlensteckbriefs zur eindeutigen Beschreibung der Kennzahlen⁴⁵⁸

In Abbildung 5.32 ist exemplarisch ein Auszug aus der Tabelle des Anhangs dargestellt in dem die Kennzahl „Schusszahl-Materialverhältnis“ definiert ist. Zu sehen ist der folgende Aufbau „(Position) Bezeichnung = Definition [Quelle]“.

(E2.2.2.Spritzguss) Schusszahl-Materialverhältnis [1/kg] =			
Schusszahl / Summe (Masse jedes Teils [kg] inkl. Ersatzteile) [GRI]			
■	Schusszahl	Masse jedes Teils [kg] inkl. Ersatzteile	Bewe

Abbildung 5.32: Auszug aus der der Tabelle mit der exemplarischen Definition Kennzahl „Schusszahl-Materialverhältnis“⁴⁵⁹

5.2.3 Analyse der Beziehung der Kennzahlen zueinander

Das entwickelte Kennzahlensystem ist derzeit hierarchisch durch die Darstellung im Treiberbaum strukturiert (vgl. Abbildung 5.26 und nachfolgende Abbildungen). Der Vorteil dieser Form der Strukturierung liegt in der transparenten Darstellung des Aufbaus und der Struktur. Zudem werden der Aufbau und die Durchgängigkeit von der Vision des nachhaltigen Werkzeugbaus bis zu den Kennzahlen hervorgehoben. Der Fokus liegt dabei auf den vertikalen Beziehungen der Elemente des Kennzahlensystems. Eine Schwäche dieser Struktur besteht jedoch in der Darstellung der horizontalen Abhängigkeiten der Elemente des Kennzahlensystems. In diesem Kapitel soll dem Defizit, die Abhängigkeiten der Kennzahlen zueinander darzustellen, nachgegangen werden. Um den Anforderungen an die Kennzahlen gerecht zu werden, wurden die Abhängigkeiten der Kennzahlen untersucht und in einer Korrelationsmatrix abgebildet. Die Korrelationsmatrix eignet sich in besonderer Weise dazu, die Stärke und Richtung eines linearen Zusammenhangs darzustellen.

In der vorliegenden Korrelationsmatrix kann der Koeffizient einen Wert zwischen -1 und +1 annehmen, wobei der Wert 1 das Maximum darstellt und somit als Korrelation derselben Kennzahlen zueinander interpretiert werden kann. Eine starke Korrelation nicht gleicher Kennzahlen wird durch den Wert 0,9 ausgedrückt. Zur Vereinfachung wurde der Bewertungsraum in diskrete Schritte eingeteilt (-1; -0,9; -0,5; 0; 0,5; 0,9; 1). Dabei stellt +1 einen starken linearen Zusammenhang, 0,5 einen mittleren und 0 keinen Zusammenhang dar. Das Vorzeichen gibt

⁴⁵⁸ Eigene Darstellung

⁴⁵⁹ Eigene Darstellung

die Richtung der Korrelation an. Ein negatives Vorzeichen drückt demnach eine negative Korrelation aus. Die Korrelationsmatrix ist symmetrisch, was bedeutet, dass sich die Werte entlang der Diagonalen spiegeln, wobei die Diagonale die Korrelation der Kennzahl mit sich selbst darstellt, also den Wert 1.

Zur Optimierung der Lesbarkeit des Analyseergebnisses erfolgt eine zusätzliche Einfärbung der absoluten Werte in Graustufen, die dem Prinzip einer Heatmap folgt. Die Einfärbung erfolgt in Abhängigkeit von der Korrelationsstärke, das heißt: je heller das Feld, desto geringer die Korrelation. Im Rahmen der Untersuchung wurde das aufgestellte Kennzahlensystem auf die gegenseitige Beeinflussung der Kennzahlen analysiert. Die Struktur der Korrelationsmatrix ist in Abbildung 5.33 anhand von beispielhaften Einträgen dargestellt, während die Bewertung jeder einzelnen Kennzahl des Kennzahlensystems in Abbildung 7.4 im Anhang zu finden ist.

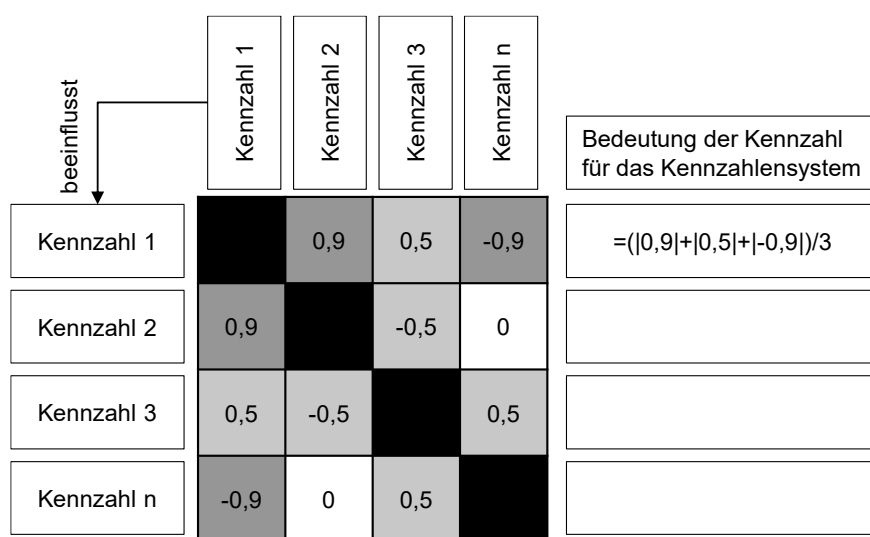


Abbildung 5.33: Schematische Korrelationsmatrix als Heatmap zur Darstellung der Beeinflussung der Kennzahlen zueinander⁴⁶⁰

Die Resultate der Analyse sind für die Evaluation des entwickelten Kennzahlensystems von großer Bedeutung, da auf diese Weise sichergestellt werden kann, dass es sich um relevante und sich ergänzende Kennzahlen handelt. Des Weiteren kann die Signifikanz der einzelnen Kennzahl für das gesamte Kennzahlensystem berechnet werden. Zu diesem Zweck wird der Betrag aller Einträge einer Kennzahl entlang der Zeile, mit Ausnahme des Feldes auf der Diagonalen, welches die Korrelation mit sich selbst darstellt, addiert. Es ist jedoch zu beachten, dass durch die Summierung der Beträge die Vorzeichen und damit die Richtung der Korrelation nicht berücksichtigt werden. Durch Division der zuvor genannten Summe der Beträge durch die Summe der Einträge wird der Mittelwert gebildet, wodurch sich die Gesamtbedeutung der einzelnen Kennzahl für das gesamte Kennzahlensystem ergibt.

⁴⁶⁰ Eigene Darstellung

Das Resultat dieser Berechnung findet in Kapitel 5.2.4 Anwendung und ist in Abbildung 5.34 stilisiert dargestellt. Die eine Hälfte der systemischen Korrelationsmatrix ist als Dreieck dargestellt, wobei die Zeile die Signifikanz der Kennzahl für das gesamte System repräsentiert und die Einträge sämtlicher Kennzahlen beinhaltet. Dieses Resultat der Analyse ist Bestandteil des Kennzahlensystems, insofern es anwendungsunabhängig gleich bleibt. Im folgenden Abschnitt wird die unternehmensindividuelle Bewertung thematisiert.

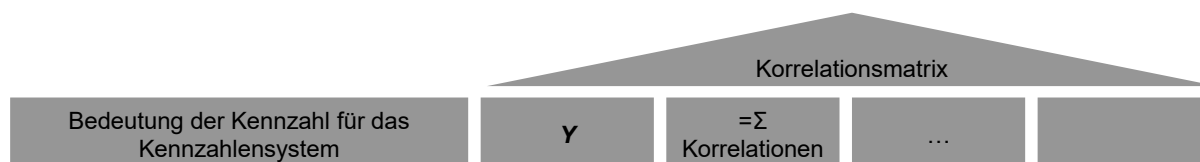


Abbildung 5.34: Schematischer Aufbau der Bewertung der Bedeutung der Kennzahlen für das Kennzahlensystem⁴⁶¹

5.2.4 Bewertung der Kennzahlen für die Zielerreichung

Nach Darstellung der Abhängigkeiten unter den Kennzahlen, die für das Kennzahlensystem konstant bleiben, wird in diesem Kapitel dargelegt, wie die Bedeutung der einzelnen Kennzahl für die Zielerreichung zu bewerten ist. Diese Bewertung erfolgt unternehmensindividuell, da sie von der Gewichtung der Ziele abhängt. Diese Bewertung ist von zentraler Bedeutung, da sie es dem Anwendenden im Werkzeugbau ermöglicht, die Relevanz der im Kennzahlensystem ermittelten Kennzahlen für die Steigerung der eigenen Nachhaltigkeit zu ermitteln.

5.2.4.1 Analyse der Beziehung zwischen Erfolgsfaktoren und Kennzahlen

Die Visualisierung des Kennzahlensystems im Treiberbaum veranschaulicht dessen Struktur und definiert somit die hierarchische Beziehung der Kennzahlen. Zudem werden die Abhängigkeiten der Kennzahlen zueinander in Kapitel 5.2.3 in Form einer Korrelationsmatrix dargestellt, wodurch neben der hierarchischen Struktur des Treiberbaums auch die horizontale Beziehung der Kennzahlen zueinander abgebildet wird. Es sei jedoch angemerkt, dass diese Darstellung die detaillierte Beziehung der Kennzahlen zu den Erfolgsfaktoren vernachlässigt. Diese Beziehung wurde bisher lediglich durch den Treiberbaum abgebildet, in dem jedem Erfolgsfaktor eindeutig Kennzahlen zugeordnet sind (vgl. Abbildung 5.26 und nachfolgende Abbildungen). Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass diese Darstellung eine vereinfachte Darstellung darstellt, da eine genauere Untersuchung gezeigt hat, dass Kennzahlen durchaus Aspekte verschiedener Erfolgsfaktoren und damit der Ziele abbilden. Um die dargestellte Eigenschaft des entwickelten Kennzahlensystems zu veranschaulichen, ist es zunächst erforderlich, den Einfluss der einzelnen Kennzahl auf den einzelnen Erfolgsfaktor abzubilden. Hierzu wird eine Korrelationsmatrix verwendet, die in Analogie zur im vorangegangenen Kapitel 5.2.3 dar-

⁴⁶¹ Eigene Darstellung

gestellten Korrelationsmatrix aufgebaut ist. In der Folge besitzen der Koeffizient und die Heatmap den gleichen Werteraum und sind durch dieselben Farbabstufungen abgebildet. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass nun der Einfluss der Kennzahl auf den Erfolgsfaktor abgebildet wird. Diese Beziehung der Kennzahl zum Erfolgsfaktor stellt eine Eigenschaft des Kennzahlensystems dar und ist damit unternehmensunabhängig. Die beschriebene Korrelationsmatrix ist in Abbildung 5.35 schematisch dargestellt. Die vollständige Analyse der Beziehung der Kennzahlen zu den Erfolgsfaktoren des Kennzahlensystems ist in Abbildung 7.5 im Anhang zu finden.

		Kennzahl 1	Kennzahl 2	Kennzahl 3	Kennzahl n
Ziel 1	Erfolgsfaktor 1	0,9	0,9	0,5	-0,9
	Erfolgsfaktor 2	0	0	-0,5	0
Ziel 2	Erfolgsfaktor 3	0,5	0	0	0,5
Ziel n	Erfolgsfaktor n	0	-0,9	0,5	0

Abbildung 5.35: Schematische Korrelationsmatrix als Heatmap zur Darstellung der Beeinflussung der Kennzahlen auf die Erfolgsfaktoren⁴⁶²

Um den maximalen Nutzen des Kennzahlensystems für den Anwendenden im Werkzeugbau zu generieren, ist die Berücksichtigung zweier Faktoren erforderlich. Einerseits sind die Beziehungen der Elemente des Kennzahlensystems von Relevanz, andererseits ist deren Bewertung für die Zielerreichung von essenzieller Bedeutung. Die Bewertung ermöglicht eine Fokussierung der Bestrebungen des Werkzeugbaus zur Steigerung der Nachhaltigkeit und leistet einen Beitrag zur erfolgreichen Umsetzung des Zielbilds des nachhaltigen Werkzeugbaus. Die Bewertung der Relevanz der Kennzahlen für die Zielerreichung ist dabei von entscheidender Bedeutung. Die daraus resultierende unternehmensindividuelle Hierarchie der Kennzahlen des Kennzahlensystems ist in Abbildung 5.37 schematisch dargestellt. Die Bewertung stellt das Resultat der Verknüpfung der zuvor durch die Korrelationsmatrix dargestellten Beziehung der Kennzahlen mit den Erfolgsfaktoren (vgl. Abbildung 5.35) und der Gewichtung der Ziele und damit der Erfolgsfaktoren in Kapitel 5.1.4. Die Verknüpfung dieser beiden Bewertungen erfolgt in Anlehnung an das „Haus der Qualität“ oder auch „QFD-Haus“ nach der Quality Function Deployment (QFD) Methode genannt⁴⁶³. Das Grundkonzept des „Haus der Qualität“ ist es, Kundenwünsche systematisch zu erfassen, zu gewichten und in technische Spezifikationen

⁴⁶² Eigene Darstellung

⁴⁶³ Vgl. Saatweber (Kundenorientierung durch Quality Function): 2011, S. 71–73; Eder (Methode QFD): 1995, 1–9.

zu übertragen. Zudem werden diese technischen Spezifikationen für die Produktentwicklung priorisiert. Ausführlichere Informationen zum „Haus der Qualität“ sind in den Grundlagen dieses Kapitels zu finden (vgl. Kapitel 5.2.1).

Der Anwendungsfall der vorliegenden Arbeit weicht in seiner Natur signifikant von dem herkömmlichen des „Haus der Qualität“ ab. Dies ergibt sich daraus, dass es sich nicht um eine Produktentwicklung oder Optimierung handelt, sondern um die Darstellung der **Struktur zur Bewertung der Kennzahlen des Kennzahlensystems**. Nichtsdestotrotz lassen sich Parallelen zwischen den beiden Methoden erkennen. Zunächst werden analog zu den Kundenforderungen die Forderungen der Anspruchsgruppen des Werkzeugbaus, die das „Was“ darstellen, untersucht und in gewichtete Ziele und Erfolgsfaktoren übersetzt (vgl. Kapitel 5.1.4). Analog zu den technischen Merkmalen werden die benötigten Kennzahlen identifiziert, die das „Wie“ darstellen (vgl. Kapitel 5.2.2). Im Anschluss erfolgt eine Untersuchung der Abhängigkeiten dieser Kennzahlen (vgl. Kapitel 5.2.3). Schließlich werden die beiden zuvor beschriebenen Perspektiven des „Was“ und des „Wie“ miteinander verknüpft. Dieser Prozess umfasst die abschließende Bewertung der Bedeutung beziehungsweise Priorisierung der Kennzahlen, die ebenfalls Gegenstand des folgenden Abschnitts ist.

Die Struktur zur Bewertung der Kennzahlen ist in Abbildung 5.36 dargestellt. Die Ziele und Erfolgsfaktoren (das „Was“) befinden sich auf der linken Seite, die Kennzahlen (das „Wie“), sowie die Korrelationsmatrix sind oben angedeutet. Für die Bewertung der Kennzahlen wird jeweils der zuvor in diesem Abschnitt identifizierte Koeffizient, der den Einfluss der einzelnen Kennzahl (K) auf den einzelnen Erfolgsfaktor (EF) ausdrückt (vgl. Abbildung 5.35), mit der Gewichtung des entsprechenden Erfolgsfaktors multipliziert (vgl. Formel 5.5).

Formel 5.5: Berechnung der Bedeutung der einzelnen Kennzahl für das einzelne Ziel des Kennzahlensystems

$$\text{Bedeutung}(K_i \text{ für } Z_j) = \text{Korrelation}(K_i \text{ für } EF_j) \cdot \text{Gewichtung}(EF_j)$$

Das Resultat dieser Multiplikation wird in den jeweiligen Feldern dargestellt. So ergibt sich beispielsweise für den Erfolgsfaktor 1.1. und die Kennzahl 1 ein Wert, der im mit „X“ markierten Feld dargestellt würde. Die übrigen Werte ergeben sich in analoger Weise. Die Summe der so berechneten Werte einer Kennzahl beziehungsweise einer Spalte gibt die Bedeutung der einzelnen Kennzahl für die gesamte Zielerreichung des Kennzahlensystems an (vgl. Formel 5.6). Für die Kennzahl 1 würde sich dieser Wert im Feld Z befinden.

Formel 5.6: Berechnung der Bedeutung der einzelnen Kennzahl für die gesamte Zielerreichung des Kennzahlensystems

$$\text{Gesamtbedeutung}_h(K_i \text{ für alle } EF_j) = \sum_{h=1}^n (\text{Korrelation}_h(Z_i \text{ für } EF_j) \cdot \text{Gewichtung}(EF_j))$$

Korrelationsmatrix						
Ziel	Erfolgsfaktor (EF)	Gewichtung (EF)	Kennzahl 1	Kennzahl 2	...	Kennzahl n
Ziel 1	EF 1.1	0,050	X		...	
	EF 1.2	0,007			...	
Ziel 2	EF 2.1	0,014			...	
...	...	...	...	...	...	...
Ziel n	EF n.1				...	
Bedeutung der Kennzahl für das Kennzahlensystem			Y		...	
Bedeutung der Kennzahl für die Zielerreichung			Z		...	

Abbildung 5.36: Struktur zur Bewertung der Bedeutung der Kennzahlen für das Kennzahlensystem und die Zielerreichung⁴⁶⁴

So kann es sein, dass eine Kennzahl je nach Konstellation ausschließlich für einen Erfolgsfaktor von signifikanter Bedeutung sein kann und zugleich dieser Erfolgsfaktor sehr hoch gewichtet wird. In diesem Fall würde dies eine hohe Summe für die Kennzahl ergeben. Umgekehrt kann eine Kennzahl für eine Vielzahl von gering gewichteten Erfolgsfaktoren von Bedeutung sein, was zu einer ähnlichen Gesamtsumme beziehungsweise Bedeutung führt. Die Summe der Bedeutung einer Kennzahl kann demnach als Indikator für die Höhe der Relevanz betrachtet werden. Die hier beschriebene und durch die Zielgewichtung unternehmensindividuelle Bewertung der Kennzahl für die Zielerreichung (Feld Z) wird der unternehmensunabhängigen Bewertung des Einflusses der einzelnen Kennzahl auf die Gesamtheit der Kennzahlen aus Kapitel 5.2.3 (Feld Y) gegenübergestellt. Somit kann eine umfassende Bewertung gewährleistet werden. Die Gewichtung der Ziele des Kennzahlensystems wurde somit in eine Bewertung der Kennzahlen des Systems überführt. Auf dieser Grundlage kann der Werkzeugbau unternehmensindividuell die Relevanz der Kennzahlen des Systems bewerten und für sich priorisieren (vgl. Abbildung 5.37).

⁴⁶⁴ Eigene Darstellung

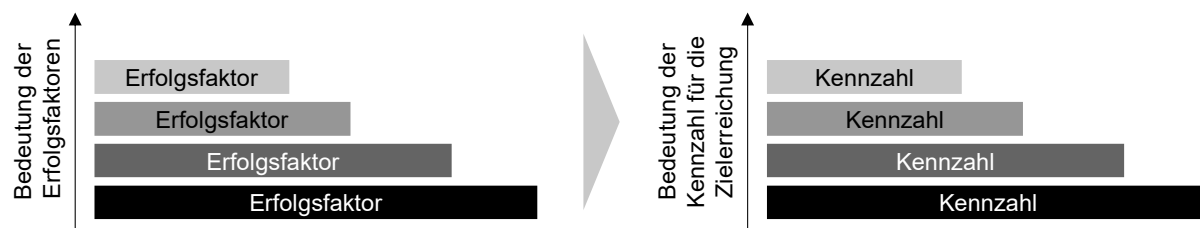


Abbildung 5.37: Die unternehmensindividuelle Hierarchie der Kennzahlen als Ergebnis der Bewertung⁴⁶⁵

5.2.4.2 Sensitivitätsanalyse des entwickelten Kennzahlensystems

Die Sensitivitätsanalyse findet als Instrument zur Untersuchung der Sensitivität von Modellparametern Anwendung. Der Begriff der Sensitivität bezeichnet die Empfindlichkeit einer Ausgangsgröße auf die Veränderung einer oder mehrerer Eingangsgrößen. Die Modellparameter stellen dabei variable Größen dar, die sich je nach Ausprägung verschiedener Eingangsgrößen verändern können. Die Analyse zielt darauf ab, die Relevanz unterschiedlicher Modellparameter zu bestimmen, wobei der Einfluss dieser Parameter auf das System untersucht wird. Das Zusammenwirken einzelner Variablen in komplexen Prozessen wird veranschaulicht, um etwaige Unsicherheiten im Modell zu identifizieren. Sensitivitätsanalysen evaluieren die Aussagekraft und Verlässlichkeit neuer Modelle.⁴⁶⁶ Die Sensitivitätsanalyse erweist sich somit ein wertvolles Instrument zur Auswertung, Interpretation und Analyse des Modells.⁴⁶⁷

Zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen verschiedenen Kennzahlen und den Zielen eines Werkzeugbaubetriebs wurde ein Kennzahlensystem entwickelt, welches diesen Zusammenhang in drei Schritten analysiert. Im ersten Schritt wurde eine Korrelationsmatrix erstellt, welche den Zusammenhang der einzelnen Kennzahlen untereinander darstellt (Matrix A, vgl. Kapitel 5.2.3). Im zweiten Schritt wurde eine weitere Korrelationsmatrix erstellt, welche den Zusammenhang zwischen den Kennzahlen und bestimmten Erfolgsfaktoren darstellt (Matrix B, vgl. Kapitel 5.2.4.1). Schließlich wurde der endgültige Zusammenhang von den einzelnen Kennzahlen mit den Unternehmenszielen in einer Darstellung aggregiert (Matrix C, vgl. Abbildung 5.36).

Im Rahmen der **Prüfung der Eignung** des vorliegenden Kennzahlenmodells wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Die beiden Korrelationsmatrizen A und B sowie die Matrix B und die finale Darstellung (Matrix C) stehen in direktem Zusammenhang zueinander. Daher wurde untersucht, wie sich die Ergebnisse verändern, wenn die Variablen, das heißt die Korrelationen zwischen den Kennzahlen sowie die Gewichtung der Ziele, verändert werden. Zu diesem Zweck wurden eine maximal positive und eine maximal negative Korrelation von $+0,9/-0,9$ sowie eine mittlere Korrelation von $+0,5/-0,5$ festgelegt. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass zwei Messgrößen gegebenenfalls gar nicht korrelieren, was mit einer Null angegeben

⁴⁶⁵ Eigene Darstellung

⁴⁶⁶ Vgl. Kausche (Wirtschaftlich-technische Untersuchungen und Kostensenkungspotenziale): 2017, S. 71–78.

⁴⁶⁷ Vgl. Gál (Betriebliche Entscheidungsprobleme, Sensitivitätsanalyse): 1973, S. 6–8.

wird. In Matrix C haben die Ziele eine bestimmte Gewichtung, deren Summe eins ergeben muss. Innerhalb der Ziele haben die verschiedenen Erfolgsfaktoren eine Gewichtung, die ebenfalls in Summe eins ergeben muss. Die Bedeutung einer Kennzahl für ein Ziel ergibt sich aus dem Produkt der Korrelation dieser Kennzahl mit dem jeweiligen Erfolgsfaktor und der Gewichtung dieses Erfolgsfaktors für das Ziel. Die Summe der Bedeutungen der Kennzahlen für die Ziele ergibt die Gesamtbewertung.

Das Modell generiert für jede Kennzahl einen Wert, der die relative Signifikanz der Kennzahl im Hinblick auf die angestrebten Ziele in Bezug auf die Gesamtmenge der Kennzahlen anzeigt. Das Kennzahlenmodell muss dazu befähigt sein, unterschiedliche Gewichtungen der Ziele, der Erfolgsfaktoren sowie unterschiedliche Korrelationen zwischen Kennzahlen und Erfolgsfaktoren zu berücksichtigen. Dabei ist es essenziell, dass die Gewichtungen ausschließlich positiv eingetragen werden können. Der ermittelte Wert der Kennzahl muss sich in einem Wertebereich zwischen 0 und 0,9 bewegen, da dies die Skala vorgibt. Eine erhöhte Gewichtung eines Ziels führt zu einer verstärkten Beeinflussung des Endergebnisses durch die zugehörigen Werte. Dies gilt ebenso für die Gewichtung eines Erfolgsfaktors. Zudem sollte eine starke Korrelation zwischen Erfolgsfaktor und Kennzahl die Relevanz der Kennzahl positiv beeinflussen.

In einem ersten Schritt wurde eine Untersuchung mit **konstanter Gewichtung** durchgeführt, wobei die maximale Korrelation auf 0,9 gesetzt wurde. Ziel war es zu prüfen, ob die Summe aus den Bedeutungen der Kennzahlen für die Ziele den maximalen Wert von 0,9 nicht übersteigt. Zu diesem Zweck wurde jede Korrelation zwischen Kennzahl und Erfolgsfaktor auf das Maximum gesetzt. Die Analyse ergab, dass die Summe wie erwartet 0,5 ergibt, wenn alle Werte auf 0,5 gesetzt werden. In der Folge wurde eine Mischung aus den beiden Werten verwendet, womit sich ein Ergebnis im erwarteten Wertebereich zwischen 0,5 und 0,9 ergab.

Da jedoch nicht nur positive, sondern auch negative Werte eingetragen werden können, muss auch geprüft werden, wie das Modell in diesem Fall reagiert. Da es jedoch erst einmal darum geht, den absoluten Einfluss von Kennzahlen auf die Ziele herauszufinden und nicht, ob sie sich positiv oder negativ auswirken, müssten alle negativ eingetragenen Werte also auch positiv ausgewertet werden, sodass am Ende nur eine positive Summe entstehen kann. In der Folge wurden die zuvor beschriebenen Schritte wiederholt, wobei ausschließlich negative Werte eingetragen wurden. Die Auswertung ergab, dass die ausgegebene Zahl bei nur negativen Einträgen von 0,9 eine positive 0,9 und bei nur negativen Einträgen von 0,5 eine positive 0,5 ist. Auch bei einer Mischung der beiden Werte wurde ein positiver Wert zwischen 0,9 und 0,5 ermittelt. Falls die Beträge dieser Werte gleich sind, wie es bei den zuvor getesteten positiven Werten der Fall ist, ergibt sich als Summe exakt dieselbe Zahl.

Des Weiteren wurde der Eintrag Null geprüft. Wenn sämtliche Korrelationen auf den Wert Null gesetzt werden, ergibt sich eine Summe aus den Bedeutungen der Kennzahlen für die Ziele, die ebenfalls Null beträgt. Dies ist das niedrigste mögliche Ergebnis und entspricht somit den gestellten Anforderungen. Wird nur ein Teil der Werte auf den Wert Null gesetzt, so ist die Summe erwartungsgemäß etwas geringer als zuvor. Bei einer Mischung aus positiven und

negativen Werten sowie der Null ergibt sich ein Ergebnis, das wie erwartet zwischen Null und 0,9 liegt.

Im zweiten Schritt wurde evaluiert, ob der Einfluss einer **variablen Gewichtung** den Anforderungen entspricht. Zu diesem Zweck wurden zunächst ausschließlich die Zielgewichtungen modifiziert. Dabei kann jede positive Zahl als Gewichtung verwendet werden, da die Gewichtungen der jeweiligen Ziele ins Verhältnis gesetzt und mit normierten Werten weitergerechnet wird.

Zunächst wurde die Veränderung der Relevanz der Kennzahlen für die jeweiligen Ziele bei gleichen Korrelationen zwischen Kennzahl und Erfolgsfaktor (alle 0,9) analysiert. Es wurde eine hohe Gewichtung von 100.000 für Ziel 1 eingesetzt und für die anderen Ziele eine niedrige Gewichtung von 10. Der Wert, der anzeigt, wie wichtig die Kennzahl im Zusammenhang mit den Zielen ist, ist bei Ziel 1 deutlich höher als bei den anderen Zielen. Da die Korrelationen jedoch konstant bleiben, bleibt auch der Wert, der die Gesamtsignifikanz der Kennzahl angibt, unverändert. Die nachfolgende Analyse untersucht die Veränderung der Korrelationen, wobei die Erfolgsfaktoren, die für Ziel 1 von Relevanz sind, eine hohe Korrelation (0,9) mit der Kennzahl aufweisen, während die anderen Erfolgsfaktoren, die im Zusammenhang mit den anderen Zielen stehen, keine Korrelation mit der Kennzahl aufweisen. Die Relevanz der Kennzahl für das gesamte System bleibt mit einem Wert von 0,9 nahezu unverändert. Eine signifikante Reduktion dieses Werts kann durch die Erhöhung der Gewichtungen der anderen Ziele (auf 100.000) erreicht werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die Gewichtungen der Erfolgsfaktoren innerhalb des Ziels zu modifizieren. Unter der Annahme, dass Ziel 1 deutlich wichtiger ist als alle anderen Ziele und Erfolgsfaktor 1 für dieses Ziel auf 97 % und die anderen drei Erfolgsfaktoren auf 1 % gesetzt werden und die Korrelationen zwischen den Erfolgsfaktoren und der Kennzahl gleich sind (0,9), ist der Wert, der angibt, wie wichtig die Kennzahl im Zusammenhang mit Erfolgsfaktor 1 und Ziel 1 ist, sehr hoch (fast bei 0,9) und die Werte für Ziel 1 sind sehr niedrig. Die Werte für die anderen Ziele sind dabei noch deutlich niedriger. Da die Zielgewichtung für diese Ziele sehr niedrig ist, spielt die Gewichtung der Erfolgsfaktoren innerhalb dieser Ziele eine untergeordnete Rolle. Erhöht man nun die anderen Zielgewichtungen, sinkt der Wert, der angibt, wie wichtig die Kennzahl im Zusammenhang mit Erfolgsfaktor 1 und Ziel 1 ist, und alle anderen Werte in dieser Spalte steigen an. Bei der Wiederholung dieses Vorgangs mit anderen Werten werden konsistente Ergebnisse erzielt (vgl. Abbildung 5.38).

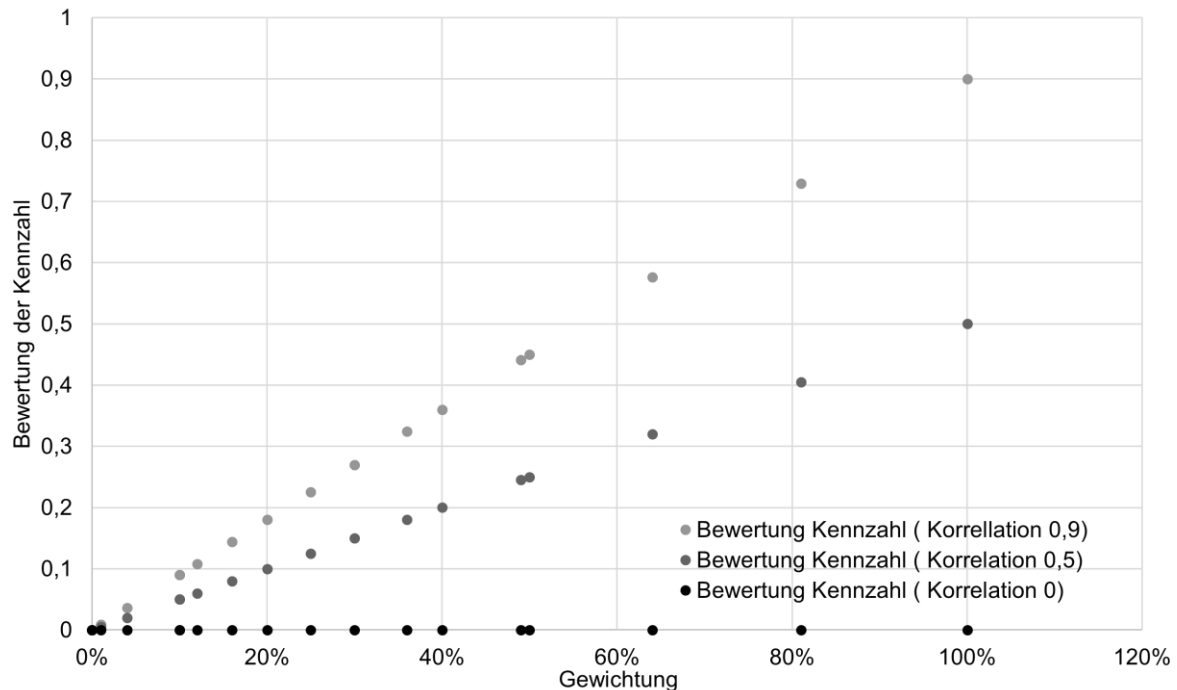


Abbildung 5.38: Diagramm der Sensitivitätsanalyse⁴⁶⁸

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das Kennzahlensystem trotz seiner Komplexität, die durch eine Vielzahl variabler Größen bedingt ist, eine zufriedenstellende Funktionalität aufweist und seinen Anforderungen gerecht wird. Die Auswertung der Kennzahlen lässt eine klare Zuweisung der als relevant und weniger relevant eingestuften Werte zu. Die Werte des Modells sind stets sinnvoll und ermöglichen eine Sortierung und Priorisierung der Kennzahlen nach Relevanz.

In diesem Kapitel wurde das entwickelte Kennzahlensystem vorgestellt, die Abhängigkeit der Kennzahlen zueinander erklärt und die Struktur für die Berechnung der Bewertung der einzelnen Kennzahl für die Zielerreichung dargelegt. Die Beschreibung der Kennzahlen, deren Struktur und Position relativ zum Kennzahlensystem sind, bestimmt. Nun ist es von großer Bedeutung, die formelmäßige Berechnung und die dazu vorausgesetzten Basisdaten mit den an sie gestellten Anforderungen zu definieren. Die Erläuterung dieser Aspekte erfolgt im nachfolgenden Kapitel.

5.3 Detaillierung der Anforderungen an die Datenerfassung

„Nicht alles, was gezählt werden kann, zählt, und nicht alles, was zählt, kann gezählt werden.“⁴⁶⁹

WILLIAM BRUCE CAMERON, Sociologist

⁴⁶⁸ Eigene Darstellung

⁴⁶⁹ Übers. d. Verf. Vgl. Cameron (Informal Sociology): 1963, S. 13.

Nachdem im vorausgegangenen Kapitel die Kennzahlen des Kennzahlensystem identifiziert und strukturiert wurden. Schließt sich diese Kapitel direkt an die Beschreibung der Kennzahlen durch die Kennzahlensteckbriefe an. Dabei soll das Kennzahlensystem auf der nächsten Detaillierungsebene beschrieben werden. Dazu werden dem bereits beschriebenen Kennzahlensteckbrief die Berechnungsformel und die sich daraus ergebenden Eingangsgrößen hinzugefügt. Über die Berechnungsformel und die benötigten Basisdaten werden die mathematischen Beziehungen der Kennzahlen sichtbar. Der erste Abschnitt des Kapitels ist daher der **Identifikation und Beschreibung des notwendigen Daten- und Informationsbedarfs** gewidmet. Sind die Formel zur Berechnung und die dazu benötigten Basisdaten beschrieben, werden die identifizierten Eingangsgrößen anhand von **formalen Kriterien zu Datengruppen kategorisiert**. Hier sind die Kriterien auf deren Grundlage die Kategorisierung erfolgt beschrieben und die Zuordnung der Eingangsgrößen zu gebildeten Gruppen. Die **Definition der Anforderungen an die unterschiedlichen Datengruppen** beinhaltet die Aufstellung der an die zuvor beschriebenen Datengruppen, sodass nicht nur deutlich wird welche Daten die Basis für das vorgestellte Kennzahlensystem benötigt werden, sondern auch die Anforderungen an die Qualität dieser Eingangsgrößen. Abschließend erfolgt ein kurzer Exkurs zur Datenerfassung. In Abbildung 5.20 sind die drei Gestaltungsaspekte sowie der Ordnungsrahmen dargestellt.

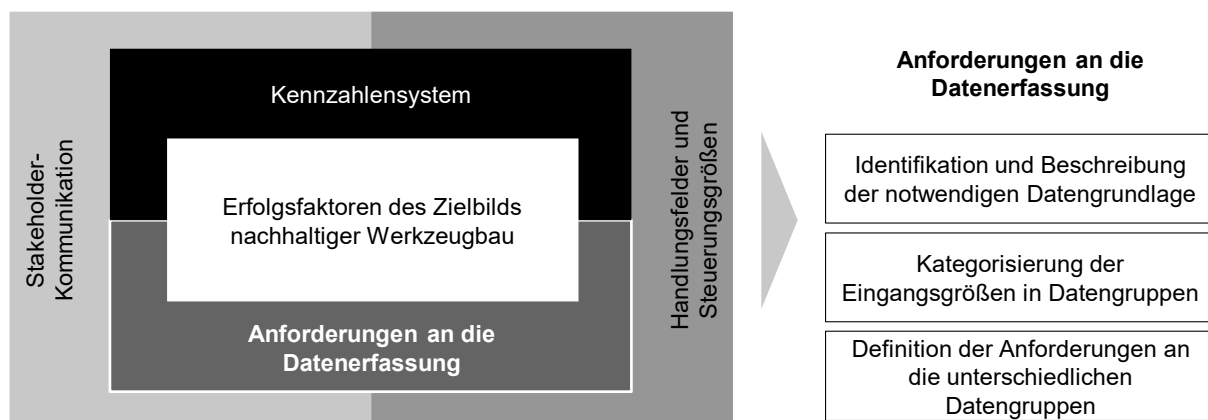


Abbildung 5.39: Gestaltungaspekte des Gestaltungselement Anforderungen an die Datenerfassung⁴⁷⁰

Nachfolgend werden die relevanten Grundlagen zur Detaillierung des Kennzahlensystems vorgestellt. Anschließend wird auf die einzelnen Gestaltungaspekte eingegangen.

5.3.1 Grundlagen

Die zunehmende Digitalisierung und die steigende Komplexität datengetriebener Systeme konfrontieren insbesondere Unternehmen im Werkzeugbau mit der Herausforderung, große Datenmengen effizient zu organisieren und für verschiedene Zwecke nutzbar zu machen. Mit der Einführung gesetzlicher Vorgaben, wie beispielsweise der Berichterstattung der Nachhaltigkeitsleistung, entstehen zunehmend strukturierte Daten, die gezielt genutzt werden können,

⁴⁷⁰ Eigene Darstellung

um Transparenz und Effizienz entlang der Wertschöpfungskette zu steigern. Für den Werkzeugbau eröffnen sich dadurch neue Möglichkeiten, da diese Daten als Grundlage für datengetriebene Systeme wie Kennzahlensysteme dienen. Solche Systeme ermöglichen nicht nur die Einhaltung regulatorischer Anforderungen, sondern auch die Ableitung strategischer und operativer Optimierungsmaßnahmen. Ein bewährtes Konzept zur Bewältigung dieser Datenkomplexität ist der **digitale Schatten**. Laut GRABERG ermöglicht der digitale Schatten ein adäquates Abbild der Prozesse in den Bereichen Produktion, Entwicklung und angrenzenden Unternehmensbereichen, auf das nahezu in Echtzeit zugegriffen werden kann. Für den Werkzeugbau bedeutet dies, dass sowohl gesetzlich vorgegebene als auch betriebsinterne Daten präzise erfasst und entlang der gesamten Wertschöpfungskette abgebildet werden können. Dies erleichtert nicht nur die Einhaltung regulatorischer Vorgaben, sondern trägt auch zu einer zeitgerechten Entscheidungsfindung und einer verbesserten Prozesssteuerung bei. Des Weiteren betont GRABERG, dass der digitale Schatten einen erheblichen Mehrwert schafft, da er eine geringe Belastung der Kommunikationsnetzwerke der Werkzeugbaubetriebe aufweist und somit die maschinennahe und zentrale Verwertung der Daten ermöglicht. Im Werkzeugbau werden diese Vorteile insbesondere bei der Integration von Daten aus externen Quellen, wie dem Nachhaltigkeitspass, und deren weiterer Nutzung deutlich.⁴⁷¹

Ein weiterer zentraler Aspekt der **Datenkategorisierung im Werkzeugbau** ist die klare Einteilung der Daten in Datengruppen, die für Kennzahlensysteme von besonderer Relevanz sind. Gemäß KELZENBERG erfolgt die Klassifizierung der Datenelemente basierend auf den Prozesselementen und Tätigkeiten in Stammdaten und Bewegungsdaten. Diese Unterscheidung ermöglicht eine gezielte Anpassung der Datenverarbeitung an die Anforderungen von Produktions- und Entwicklungsprozessen. Stammdaten, wie beispielsweise Material- oder Produktdaten, bilden eine stabile Basis, während Bewegungsdaten dynamische Veränderungen, wie Produktionsvolumen oder Ressourcennutzung, abbilden. Darüber hinaus zeigt KELZENBERG, dass die Orientierung an Auftragsabwicklungsprozessen zu einer Aufteilung in Sub-Datenstrukturen führt, die für den Anwendenden im Werkzeugbau ein leicht zugängliches Verständnis ermöglicht. Diese Struktur ermöglicht die Integration von Daten aus diversen Quellen und die Nutzbarmachung für datengetriebene Systeme, wie beispielsweise Kennzahlensysteme im Bereich Nachhaltigkeit. Die systematische Kategorisierung der Eingangsgrößen bildet folglich die Grundlage für die weitere Datenverarbeitung und die Entwicklung datengetriebener Systeme, wie etwa Kennzahlensysteme. Letztere eröffnen insbesondere im Werkzeugbau substanzielle Optimierungspotenziale.⁴⁷²

Der **morphologische Kasten** stellt eine Methode zur systematischen Analyse und Strukturierung komplexer Problemstellungen dar, die von ZWICKY entwickelt wurde. Ziel dieser Methode ist die Zerlegung eines Problems in zentrale Parameter, sogenannte Kategorien, sowie die Definition möglicher Ausprägungen für jede Kategorie. Die Kombinationen werden in einer mehrdimensionalen Matrix, dem morphologischen Kasten, organisiert. ZWICKY beschreibt

⁴⁷¹ Vgl. Graberg (Digitaler Schatten im Werkzeugbau): 2022, S. 40.

⁴⁷² Vgl. Kelzenberg (Datenstrukturmodell von Werkzeugbaubetrieben): 2019, S. 156.

diese Methode als einen Ansatz, um die Gesamtheit der Beziehungen, die in mehrdimensionalen, meist nicht quantifizierbaren Problemkomplexen zu untersuchen und zu strukturieren⁴⁷³. Im Kontext der Datenorganisation bietet der morphologische Kasten eine Möglichkeit, große Datenmengen zu vereinfachen, indem ähnliche Datenpunkte anhand ihrer gemeinsamen Eigenschaften in Gruppen zusammengefasst werden. Für den Werkzeugbau, beispielsweise bei der Entwicklung von Kennzahlensystemen, können Eingangsgrößen durch die Definition von Kategorien wie zeitliche Dynamik, Aktualisierungsmodus oder Sicherheitsanforderungen strukturiert werden. So könnten in der Kategorie „zeitliche Dynamik“ die Ausprägungen „selten“, „häufig“ oder „hoch dynamisch“ verwendet werden, um eine klare Klassifikation zu erreichen. Anstatt einer individuellen Betrachtung jedes Datenpunkts ermöglicht diese Strukturierung eine systematische und effiziente Analyse von Datengruppen. ZWICKY betont die Stärke des Ansatzes auch weniger offensichtliche oder übersehene Konfigurationen zu identifizieren. So kann die Methode dazu beitragen, neue Beziehungen oder Konfigurationen zu entdecken, die mit anderen, weniger strukturierten Methoden möglicherweise übersehen worden wären⁴⁷⁴. Der morphologische Kasten erweist sich somit als eine wertvolle Grundlage, um Datenstrukturen zu vereinfachen und auf die wesentlichen Merkmale zu reduzieren, die für strategische und operative Anwendungen von Relevanz sind. Dies erleichtert die Organisation datenintensiver Prozesse.⁴⁷⁵

Die Definition der Ausprägungen innerhalb der Kategorien des morphologischen Kastens stellt einen zentralen Aspekt dar, um die Struktur zielgerichtet und anwendungsorientiert zu gestalten. Die präzise und **systematische Herleitung der Ausprägungen des morphologischen Kastens** gewährleistet, dass die Daten den Anforderungen der jeweiligen Anwendungsbereiche entsprechen. Gemäß WANG UND STRONG müssen qualitativ hochwertige Daten „klar repräsentiert, kontextuell angemessen und zugänglich“ sein, um ihre Aufgaben optimal zu erfüllen⁴⁷⁶. Um solche Anforderungen zu erfüllen, werden verschiedene analytische Methoden eingesetzt, darunter Binning, Clusteranalyse und hierarchische Klassifikation. Diese ermöglichen eine datenbasierte und konsistente Festlegung der Ausprägungen.

Eine dieser Methoden ist das **Binning**, bei dem kontinuierliche Daten in feste Intervalle unterteilt werden, um eine präzisere Analyse und Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Diese Methode findet insbesondere bei Kategorien wie „zeitliche Dynamik“ Anwendung, wo Intervalle wie „Täglich“, „Wöchentlich“ und „Monatlich“ zu definieren sind. ANDERSON ET AL. zeigen, dass dynamisches adaptives Binning „die optimale Bin-Konfiguration bestimmt und die Datenstruktur flexibel anpasst“⁴⁷⁷. Gleichzeitig ermöglicht diese Methode eine Reduktion der Datenkomplexität, ohne die Integrität der ursprünglichen Datenstruktur zu beeinträchtigen. Durch diese Flexibilität wird sichergestellt, dass sowohl die Aussagekraft der Daten erhalten bleibt als auch sinnvolle Intervalle geschaffen werden können. Diese Eigenschaften machen Binning zu einer

⁴⁷³ Vgl. Ritchey (Morphologie and policy analysis): 1998, S. 1.

⁴⁷⁴ Vgl. Ritchey (Morphologie and policy analysis): 1998, S. 5.

⁴⁷⁵ Vgl. Zwicky (Morphologische Forschung): 1989, S. 13–19.

⁴⁷⁶ Vgl. Richard Y. Wang et al. (Beyond accuracy): 1996, S. 6.

⁴⁷⁷ Vgl. Anderson et al. (Dynamic adaptive binning): 2011, S. 182.

wichtigen Methode, um die Daten im morphologischen Kasten zu strukturieren und robuste Ausprägungen für Kategorien wie Änderungsfrequenz oder Datenvolumen abzuleiten.

Neben Binning, das kontinuierliche Daten in feste Intervalle unterteilt, spielt die **hierarchische Klassifikation** eine zentrale Rolle bei der Ableitung von Ausprägungen im morphologischen Kasten. Diese Methode ermöglicht es, Daten in aufeinander aufbauende Ebenen zu strukturieren, was besonders für Kategorien wie „Verwendungsbereich“ relevant ist. So können Ausprägungen wie „lokal“, „bereichsübergreifend“ und „unternehmensweit“ definiert werden. Die hierarchische Klassifikation erstellt Baumstrukturen, die die Beziehungen zwischen den Datenebenen abbilden. REPISKÁ beschreibt, wie diese Technik eingesetzt werden kann, um Nachhaltigkeitsmetriken auf unterschiedlichen Ebenen zu strukturieren. Dabei wird aufgezeigt, dass hierarchische Klassifikationen sowohl für aggregierte als auch für spezifische Datenebenen geeignet sind, wodurch eine präzise Differenzierung und Analyse ermöglicht wird. Diese Eigenschaften machen die Methode besonders wertvoll, um mehrstufige Strukturen im morphologischen Kasten systematisch abzubilden.⁴⁷⁸

Die **Clusteranalyse** stellt eine zentrale Methode zur Ableitung von Ausprägungen im morphologischen Kasten dar. Sie gruppiert ähnliche Datenpunkte basierend auf Mustern und erweist sich als besonders nützlich für Kategorien wie „Qualitätsanforderung“ oder „Datenvolumen“. STAHL UND SALLIS beschreiben, wie K-Means-Algorithmen Datenpunkte innerhalb von Clustern mit minimaler Abweichung zusammenfassen⁴⁷⁹. Modellbasierte Ansätze, wie sie von HAMMOUDA erläutert werden, sind besonders effektiv, um latente Strukturen in den Daten zu identifizieren⁴⁸⁰. Diese Techniken ermöglichen die Definition präziser Ausprägungen wie „gering“, „mittel“ und „hoch“, die an die Anforderungen der jeweiligen Kategorie angepasst sind.

Die **regelbasierte Klassifikation** stellt eine weitere zentrale Methode dar, um Ausprägungen im morphologischen Kasten abzuleiten. Diese Methode basiert auf vordefinierten Regeln, die eine eindeutige Zuordnung von Daten zu Kategorien gewährleisten. Insbesondere für klare und unveränderliche Kriterien, wie sie in der Kategorie „Datenquelle“ vorliegen, erweist sich diese Methode als geeignet. Dort können Ausprägungen wie „intern“ und „extern“ durch feste Regeln definiert werden. Gemäß LAWRENCE UND WRIGHT gewährleisten derartige Systeme konsistente und transparente Datenklassifikation, indem sie auf logischen Bedingungen basieren⁴⁸¹. Die Methode ermöglicht klare und einheitliche Zuordnungen, was eine hohe Anwendungsrelevanz für den morphologischen Kasten darstellt.

5.3.2 Identifikation und Beschreibung der notwendigen Datengrundlage

In dem vorangegangenen Kapitel wurde das Kennzahlensystem anhand seiner Ziele, Erfolgsfaktoren (vgl. Kapitel 5.1) und Kennzahlen (vgl. Kapitel 5.2) beschrieben. In dem vorliegenden Kapitel wird nun die für die Erstellung der Kennzahlen benötigte Datengrundlage erörtert. Die

⁴⁷⁸ Vgl. Repiská et al. (Hierarchical clustering): 2022, S. 151–154.

⁴⁷⁹ Vgl. Stahl et al. (Model-based cluster analysis): 2012, S. 355.

⁴⁸⁰ Vgl. Hammouda et al. (Data clustering techniques): 2000, S. 1–2.

⁴⁸¹ Vgl. Lawrence, Rick L and Wright, Andrea (Rule-based classification systems): 2001, S. 1137–1138.

Abbildung 5.40 veranschaulicht das gesamte Kennzahlensystem in einer schematischen Darstellung. Die für die Kennzahl „F.n.1.n“ benötigte Datengrundlage ist exemplarisch dargestellt. Diese Datengrundlage kann sich wiederum aus verschiedenen Eingangsgrößen zusammensetzen. Die Position der Datengrundlage beziehungsweise dieses Kapitels in Bezug auf die Struktur des gesamten Kennzahlensystems ist somit bestimmt.

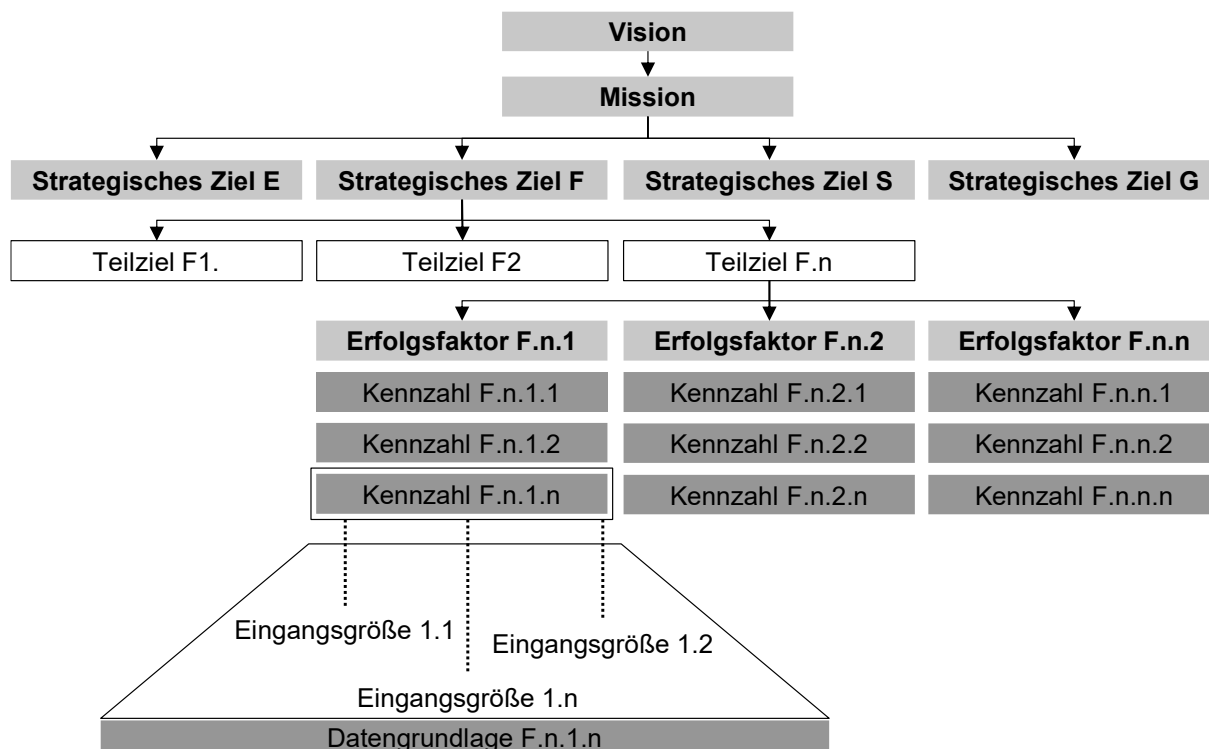


Abbildung 5.40: Schematische Darstellung des Kennzahlensystems inklusive der Datengrundlage⁴⁸²

Die für das vorliegende Kennzahlensystem entwickelten Kennzahlen werden durch ihre jeweilige Berechnungsformel mathematisch beschrieben, welche die Beziehung der Kennzahl zu ihrer Datengrundlage definiert. Damit sind die benötigten Eingangsgrößen für die Berechnung der Kennzahl festgelegt. Diese Eingangsgrößen stellen im Rahmen dieser Arbeit die letzte Detaillierungsebene des Kennzahlensystems dar. Die Struktur der Datengrundlage der einzelnen Kennzahl ist schematisch in Abbildung 5.41 dargestellt, sodass jeder entwickelten Kennzahl eine Berechnungsformel zugeordnet ist. Aus dieser ergeben sich die Eingangsgrößen, welche im Werkzeugbau aus verschiedenen Datenquellen bezogen werden. Datenquellen stellen dabei verschiedene Datenbanken dar, welche ihre Datenbankeinträge wiederum aus Prozessen über manuelle Eingabe, Sensoren oder ähnlichem erhalten.

⁴⁸² Eigene Darstellung

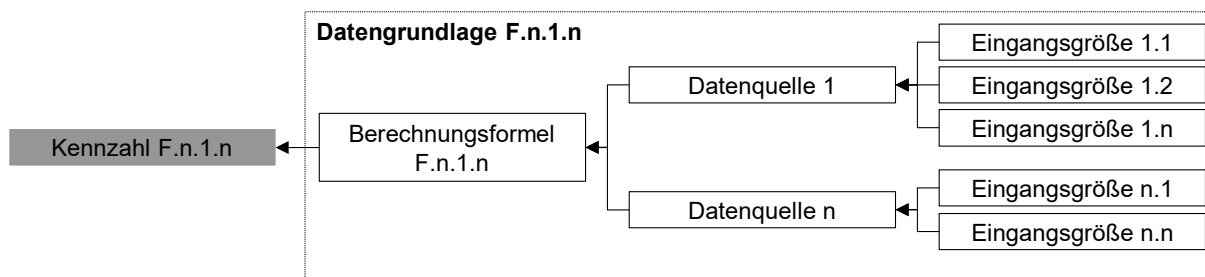


Abbildung 5.41: Die Datengrundlage für die Berechnung einer Kennzahl⁴⁸³

In der vorliegenden Arbeit wird die mathematisch hergeleitete Struktur der Kennzahl durch die Erweiterung des in Kapitel 5.2.2 eingeführten Kennzahlensteckbriefs (vgl. Abbildung 5.31) abgebildet. Die Aufgabe des zuvor erstellten Kennzahlensteckbriefs besteht in der eindeutigen Bestimmung der einzelnen Kennzahl des Kennzahlensystems. Die Erweiterung der Datengrundlage hat die Aufgabe, die zuvor in diesem Kapitel erläuterten Inhalte zur mathematischen Beziehung der Kennzahl zu ihren Eingangsgrößen abzubilden. Dies erfolgt durch die Ergänzung der **Formel**, die zur Berechnung der Kennzahl genutzt wird. Die **Einheit** repräsentiert die Maßeinheit der berechneten Kennzahl, wobei, sofern verfügbar, naturwissenschaftliche Werte in einer SI-Einheit oder wirtschaftliche Werte in der primären Währung des betreffenden Werkzeugbaus angegeben werden. Da sich diese Arbeit auf den deutschsprachigen Werkzeugbau fokussiert, wird an dieser Stelle die Währung Euro (€) genutzt, um ein einheitliches und in sich konsistentes Kennzahlensystem sicherzustellen. Die **Eingangsgrößen** stellen die sich aus der Berechnungsformel ergebenden Werte dar, die für die Berechnung benötigt werden. Die Qualität dieser Eingangsgrößen ist fundamental für die Aussagekraft des entwickelten Kennzahlensystems, da alle folgenden Ebenen des Systems auf dieser untersten Detaillierungsebene aufbauen. Um die Qualität der Eingangsgrößen sicherzustellen, werden in dieser Arbeit Anforderungen an diese Eingangsgrößen definiert. Hierzu werden die **Datengruppen** zugeordnet, wobei der Eintrag der Datengruppe somit den letzten Bestandteil der Erweiterung des Kennzahlensteckbriefs darstellt. Die relevanten Datengruppen werden im folgenden Kapitel beschrieben, die dazugehörigen Anforderungen in Kapitel 5.3.4. Die vollständige Darstellung

⁴⁸³ Eigene Darstellung

der um die Datengrundlage erweiterten Kennzahlensteckbriefe des Kennzahlensystems befindet sich im Anhang (vgl. Tabelle 7.3).

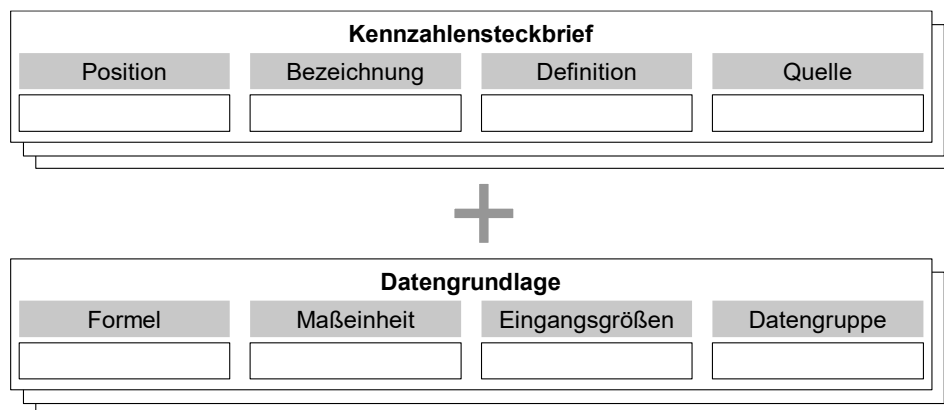


Abbildung 5.42: Erweiterung des Kennzahlensteckbriefs um den Daten- und Informationsbedarf⁴⁸⁴

In Abbildung 5.43 ist ein exemplarischer Auszug aus der Tabelle des Anhangs dargestellt in dem die Kennzahl „Schusszahl-Massenverhältnis“ sowie deren Datengrundlage dargestellt ist. Die Informationen der Datengrundlage sind unter dem ersten Aufzählungspunkt mit folgendem Aufbau zu finden: „Eingangsgrößen | Datengruppen“ die Formel ist der Definition der Kennzahl zu entnehmen. Die Einheit befindet sich gleich nach der Bezeichnung der Kennzahl („[Einheit]“).

(E2.2.2.Spritzguss) Schusszahl-Materialverhältnis [1/kg] =	
Schusszahl / Summe (Masse jedes Teils [kg] inkl. Ersatzteile) [GRI]	
▪ Schusszahl; Masse jedes Teils [kg] inkl. Ersatzteile Bewegungsdaten; Bewegungsdaten	

Abbildung 5.43: Auszug aus der der Tabelle mit der exemplarischen Definition und Datengrundlage der Kennzahl „Schusszahl-Materialverhältnis“⁴⁸⁵

5.3.2.1 Exkurs: Datenbedarf am Beispiel der Emissionsberechnung im Werkzeugbau

Grundsätzlich müssen Daten für alle vom untersuchten System erfassten Einheitsprozesse erhoben werden, sowohl in quantitativer als auch in qualitativer Hinsicht. In diesem Rahmen wird bei der Emissionsberechnung zwischen drei Arten von Dateninput unterschieden: Primärdaten, Sekundärdaten und Proxydaten. Da verschiedene Emissionskategorien die Erhebung

⁴⁸⁴ Eigene Darstellung

⁴⁸⁵ Eigene Darstellung

spezifischer Datentypen erfordern, um die Qualitätsanforderungen zu erfüllen, sind ihre Merkmale zu spezifizieren und anwendungsbezogene Anforderungen festzulegen.⁴⁸⁶

Primärdaten, auch als standort- oder prozessspezifische Daten bezeichnet, umfassen in erster Linie gesammelte Informationen aus Prozessen, die sich im Besitz oder unter der Kontrolle des untersuchten Werkzeugbaus befinden und dessen tatsächliche Emissionen repräsentieren. Es existieren drei Arten von Primärdaten: Direkte Emissionsdaten sind dabei die Quantifizierung der emittierten THG, die durch Messung oder stöchiometrische Berechnung erfolgt. Aktivitätsdaten basieren auf gemessenen, berechneten oder modellierten Input- und Output-Beziehungen, die häufig für Energie- und Materialverbrauch oder Abfälle verwendet werden. Emissionsfaktoren dienen der Umrechnung von Aktivitätsdaten in THG-Emissionen. Die genauesten verfügbaren Primärdaten sind zu bevorzugen, sodass sich eine Hierarchie von genauen maschinenspezifischen über prozessspezifischen zu standortspezifischen Daten ergibt. Allerdings ist eine hochgranulare direkte Emissionsdatenmessung oft wirtschaftlich nicht realisierbar, sodass Werkzeugbaubetriebe häufig auf standortspezifische Daten zurückgreifen müssen, die dann auf die Produktebene umgelegt werden. Eine weitere Option stellen PCFs dar, die von Lieferanten bereitgestellt werden.

Sofern die Primärdatenerhebung als nicht praktikabel erachtet wird oder Ergebnisse minderer Qualität liefert, erfolgt die Verwendung von **Sekundärdaten**, die nicht direkt auf spezifischen Produktionsprozessen der beteiligten Organisationen beruhen. Die Informationsbeschaffung kann dabei aus verschiedenen Quellen erfolgen, darunter unabhängig geprüfte Marktberichte, Patente, Literaturstudien, Verbände, veröffentlichte Produktionsinformationen, staatliche Statistiken, technische Studien oder Finanzberichte. Häufig werden die Informationen auch in aggregierter Form verwendet. Die Daten werden dabei häufig aus allgemein verfügbaren Datenbanken Dritter bezogen, wobei auch hier die vorgeschriebenen Datenqualitätsmerkmale, einschließlich Genauigkeit und Vollständigkeit, erfüllt werden müssen. Die Datenzusammenstellung kann jedoch sehr ressourcenintensiv sein, da es häufig erforderlich ist, umfangreiche Unterlagen zu überprüfen, um sicherzustellen, dass die Qualitätsanforderungen erfüllt werden. Als weitere Quelle für Sekundärdaten (in der Regel auf nationaler Ebene) können sogenannte EEIO-Tabellen (engl. Environmentally Extended Input/Output) herangezogen werden, die makroökonomische Handelsdaten widerspiegeln. Dies ermöglicht auf der Grundlage einer Kombination von Tätigkeitsdaten und Preisen die Ableitung von Kennzahlen für die Kohlenstoffbilanzierung. Da diese finanziellen Aktivitätsdaten jedoch niemals den Anforderungen an Primärdaten genügen, müssen EEIO-basierte Analysen immer als sekundär betrachtet werden. Dennoch können sekundäre Daten je nach den Anstrengungen, die bei der Gewinnung von Erkenntnissen und der Sicherstellung einer sinnvollen Anpassung unternommen werden, das gleiche oder sogar ein höheres Qualitätsniveau als Primärdaten aufweisen.

⁴⁸⁶ See for this section Vgl. EPD International (EPD International 2022): 2022, pp. 15-16; Hottenroth et al. (Carbon Footprints für Produkte): 2014, pp. 39-41; VDMA (VDMA 2022): 2022, pp. 14-17; Bhatia et al. (Product Life Cycle Accounting): 2011, pp. 47-53.

Sofern Primär- und Sekundärdaten nicht zur Verfügung stehen, besteht die Möglichkeit, auf **Proxydaten** zurückzugreifen, um Datenlücken zu schließen. Dies schließt auch Schätzungen mit ein, da die Quantifizierung von Emissionen durch Schätzungen eine bessere Option darstellt als das gänzliche Fehlen von Daten. Die Verwendung von Daten aus ähnlichen Prozessen als Ersatzdaten, auch in angepasster, skaliert oder extrapoliert Form, kann dabei helfen, den Zielprozess besser widerzuspiegeln. Voraussetzung für eine erfolgreiche Anpassung ist, dass die verfügbaren Informationen und das Wissen über die kritischen Metriken wie Inputs und Outputs dies zulassen. Die Anpassung sollte darauf abzielen, die Repräsentativität der technologischen, geografischen, zeitlichen oder anderen Metriken zu verbessern. Sofern stellvertretende Rückschlüsse nicht möglich sind, kann eine Schätzung auf der Grundlage historischer Daten oder der Erfahrung von Experten geeignet sein oder zumindest die Signifikanz bestimmen, um eine Entscheidung über den Ausschluss der Prozesse unter Berücksichtigung der Abschneidekriterien zu ermöglichen. Schätzungen erhöhen jedoch die Unsicherheit der Bewertung erheblich.

5.3.3 Kategorisierung der Eingangsgrößen in Datengruppen

In diesem Kapitel erfolgt die Beschreibung der Datengruppen, denen die Eingangsgrößen zugeordnet sind. Damit wird der Eintrag „Datengruppe“ in der Erweiterung des Kennzahlensteckbriefs erklärt und die Eingangsgrößen werden strukturiert. Auf Basis dieser Struktur werden im nächsten Kapitel die Anforderungen an die Eingangsgrößen definiert. Die relevanten Datengruppen der Eingangsgrößen des Kennzahlensystems für den nachhaltigen Werkzeugbau sind in Abbildung 5.44 dargestellt, wobei jede Eingangsgröße des vorliegenden Kennzahlensystems einer der fünf Datengruppen zugeordnet. Die Datengruppen dieser Arbeit basieren auf der Struktur der Datenklassen zur Darstellung eines logischen Datenmodells in der Programmierung von GANSOR⁴⁸⁷ und werden durch Erweiterungen auf den Anwendungsfall des Kennzahlensystems für den Werkzeugbau angepasst.

Die Datengruppe der **Stammdaten** konstituiert die Grundlage der betrieblichen Datenverarbeitung⁴⁸⁸ und fungiert als Eingangsgrößen, welche die grundlegenden Informationen zu den relevanten Geschäftsobjekten eines Unternehmens abbilden. Sie unterliegen in der Regel nur selten Veränderungen durch periodische Aktualisierungen und können somit als permanent betrachtet werden. Ihre Verwendung erfolgt in verschiedenen Bereichen des Werkzeugbaus, wo sie den Rahmen für die entsprechenden Geschäftsprozesse bilden. Auf diesen Daten basieren die Bewegungs- und Bestandsdaten. Sie stellen somit eine wesentliche Grundlage für Auswertungen dar, wie sie mit dem vorliegenden Kennzahlensystem für den Werkzeugbau beabsichtigt wird. Stammdaten sind beispielsweise Standort, Kunden oder Produktdaten.

⁴⁸⁷ Vgl. Gansor et al. (Master Data Management): 2012, S. 33.

⁴⁸⁸ Vgl. Lackes et al. (Stammdaten): 2018, S. 1.

Die Datengruppe der **Bewegungsdaten** beschreibt die Eingangsgrößen, welche Veränderungen von Zuständen der Stammdaten darstellen⁴⁸⁹. Sie bilden die Prozesse und Transaktionen im Werkzeugbau ab und sind daher ausgesprochen dynamisch, was eine kurzfristige Relevanz der Daten bedingt. In der Regel enthalten sie nur in Kombination mit einer Zeitangabe, beispielsweise dem Datum einer Transaktion, einen Wert. Da sie kontinuierlich alle Aktivitäten und Abläufe im Betrieb abbilden, sind sie bedeutend für die Analyse der betrieblichen Abläufe und können zur Steuerung und Optimierung operativer Abläufe eingesetzt werden. Zu den Bewegungsdaten zählen beispielsweise Produktionsdaten, Lagerbestandsänderungen oder Bestellungen.

Die **Bestandsdaten** einer Volkswirtschaft werden zu einem bestimmten Zeitpunkt gemessen⁴⁹⁰ und in der vorliegenden Arbeit in ähnlicher Weise auf den Werkzeugbau übertragen, um den Bestand zu einem bestimmten Zeitpunkt zu beschreiben. Sie sind zustandsorientiert, unterliegen systematischen Änderungen entsprechend dem Betriebsgeschehen und werden aufgrund von Bewegungsdaten verändert. Bestandsdaten weisen demnach eine längere Relevanz als Bewegungsdaten auf und sind weniger statisch als Stammdaten. Sie sind Bestandteil von Bilanzen und Statusberichten und umfassen beispielsweise den Lagerbestand zu einem bestimmten Zeitpunkt sowie offene Forderungen und Verbindlichkeiten. Stammdaten stellen somit den grundlegenden Rahmen dar, auf dem sowohl Bewegungs- als auch Bestandsdaten aufbauen. Bewegungsdaten aktualisieren und verändern Bestandsdaten. Bestandsdaten stellen demnach den resultierenden Zustand nach der Verarbeitung von Bewegungsdaten dar. Für ein umfassendes betriebliches Informationssystem sind alle drei Datengruppen essenziell.

In der Kostenrechnung umfasst die Datengruppe der **Bezugsgrößen** eine quantitativ, räumlich und/oder zeitlich abgegrenzte Größe, die einer anderen Mengengröße gegenübergestellt wird. Die Bezugsgrößen finden Verwendung als Basis von Kenn- oder Beziehungszahlen, beispielsweise als Deckungsbeitrag oder als Maßgröße der Kostenverursachung einer Kostenstelle.⁴⁹¹ Die Bildung eines Kontexts für einen absoluten Wert ermöglicht die Steigerung der Vergleichbarkeit von Perioden oder Abteilungen. Die folgenden Arten von Kontexten können dabei unterschieden werden:

- Zeitliche Bezugsgrößen (wie Vorjahr, Vormonat)
- Mengenmäßige Bezugsgrößen (wie pro Stück, pro Mitarbeitenden)
- Wertmäßige Bezugsgrößen (wie pro Euro Umsatz)
- Kapazitätsbezogene Größen (wie pro Maschinenstunde)

Die Steigerung der Aussagekraft der Kennzahl durch die Bezugsgröße wird durch die Relevanz der gewählten Bezugsgröße für die Kennzahl sowie ihre Messbarkeit und Stabilität determiniert. Die Messbarkeit und Stabilität der Bezugsgröße sind dabei so zu gestalten, dass

⁴⁸⁹ Vgl. Lackes (Bewegungsdaten): 2018, S. 1.

⁴⁹⁰ Vgl. Wohltmann (Bestandsgrößen): 2018, S. 1.

⁴⁹¹ Vgl. Weber, Prof. Dr. Dr. h.c. Jürgen (Bezugsgröße): 2023, S. 1.

eine sinnvolle Vergleichbarkeit auch bei sich ändernden Rahmenbedingungen der Kennzahl gewährleistet ist. In der ökonomischen Dimension sind dies beispielsweise die Umsatzrendite, welche den Gewinn in Bezug auf den Umsatz darstellt, oder in der Produktion die Ausschussquote, welche Ausschuss in Bezug auf die Gesamtproduktion abbildet.

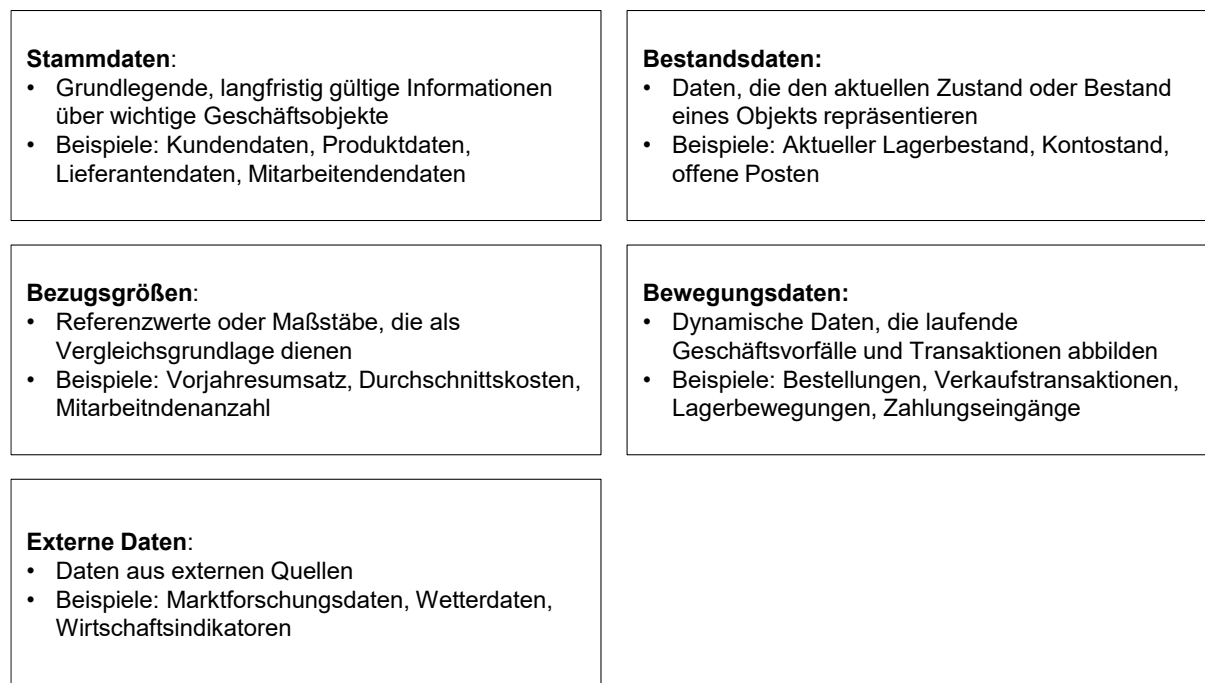


Abbildung 5.44: Die identifizierten und für den Werkzeugbau relevanten Datengruppen des Kennzahlensystems⁴⁹²

Die Datengruppe der **externen Daten** beschreibt Eingangsgrößen, die aus Quellen außerhalb des Werkzeugbaubetriebs stammen und eine externe Perspektive auf die internen Daten erlauben. Zu diesen externen Daten zählen unternehmensunabhängige Daten, wie der Branchen Benchmark, oder externe unternehmensspezifische Daten, wie der PCF des Lieferanten. Die Analyse der externen Daten ermöglicht eine umfassende Betrachtung. Im Kontext der Nachhaltigkeit ist der Werkzeugbau auf externe Datenbanken angewiesen (vgl. Kapitel 5.3.2.1), wobei die Quelle solcher Daten bezahlte oder öffentliche Datenbanken sowie der Austausch entlang der Wertschöpfungskette sein können. Jede Eingangsgröße des entwickelten Kennzahlensystems ist einer dieser Datengruppen zugeordnet, welche Teil der Erweiterung des Kennzahlensteckbriefs ist. Die Zuordnung kann dem Anhang entnommen werden (vgl. Tabelle 7.3).

5.3.4 Definition der Anforderungen an die identifizierten Datengruppen

Im vorliegenden Kapitel werden die Anforderungen an die zuvor mathematisch hergeleiteten Eingangsgrößen des Kennzahlensystems beschrieben. Die Anforderungen werden anhand

⁴⁹² Eigene Darstellung

der im vorangegangenen Kapitel definierten Datengruppen dargestellt, denen sämtliche Eingangsgrößen zugeordnet sind. Es sei darauf hingewiesen, dass die aktuelle technische Umsetzbarkeit der Anforderungen an die identifizierten Eingangsgrößen ausgeblendet wird, da der Anspruch besteht, ein möglichst zeitloses Konzept für ein Kennzahlensystem darzustellen. Die Anforderungen werden formuliert und in einem morphologischen Kasten strukturiert.

5.3.4.1 Aufbau des morphologischen Kastens

Zur Veranschaulichung der Anforderungen und späteren Abbildung der verschiedenen Ausprägungen der einzelnen Datengruppen bietet sich die Form des morphologischen Kastens an, der vom Astrophysiker ZWICKY entwickelt wurde. Es handelt sich um eine zweidimensionale Entscheidungsmatrix, die dazu dient, komplexe Problemstellungen systematisch zu analysieren. Dies geschieht, indem das Problem in seine Hauptmerkmale oder Parameter zerlegt und in die erste Spalte der Matrix eingetragen wird. Die nachfolgenden Spalten werden mit den verschiedenen potenziellen Ausprägungen der Parameter gefüllt.⁴⁹³ Die Anwendung in dieser Arbeit zur Beschreibung der Anforderungen an Datengruppen erfolgt angelehnt an die Charakterisierung von Data-Science-Projekten anhand von einem morphologischen Kasten durch THEUERKAUF⁴⁹⁴ und GRABERG⁴⁹⁵ bei der Operationalisierung des digitalen Schattens im Werkzeugbau.

Die Anforderungen an die Datengruppen werden in einzelne Parameter respektive unterschiedliche Anforderungen untergliedert, wobei die verschiedenen Ausprägungen einen unterschiedlichen Grad der Anforderungen darstellen. Der in Abbildung 5.45 dargestellte Aufbau des hier verwendeten morphologischen Kastens veranschaulicht die Struktur. Die Anforderungen an die Datengruppen sind in sieben Eigenschaften unterteilt. Die Ausprägungen der Kategorien im morphologischen Kasten bilden die Grundlage, um Daten klar zu strukturieren und für verschiedene Anwendungszwecke nutzbar zu machen. Jede Eigenschaft enthält spezifische Ausprägungen, die deren Eigenschaften präzise beschreiben und eine klare Differenzierung ermöglichen. Die systematische Herleitung dieser Ausprägungen ist entscheidend, um sicherzustellen, dass sie den Anforderungen der jeweiligen Anwendungsbereiche gerecht werden. Zur Ableitung der Ausprägungen werden verschiedene analytische Ansätze eingesetzt: Binning, Clusteranalyse, hierarchische Klassifikation und regelbasierte Klassifikation (vgl. Kapitel 5.3.1). Diese Methoden erlauben eine differenzierte Analyse der Kategorien und die präzise Definition von Ausprägungen, die sowohl theoretisch begründet als auch praxisorientiert sind.

⁴⁹³ Vgl. Zwicky (Morphologische Forschung): 1989, S. 49–53.

⁴⁹⁴ Vgl. Theuerkauf et al. (Vorschlag eines morphologischen Kastens): 2022, S. 395–401.

⁴⁹⁵ Vgl. Graberg (Digitaler Schatten im Werkzeugbau): 2022, S. 131.

Zeitliche Dynamik	selten	gelegentlich	häufig	hoch dynamisch
Aktualisierungsmodus	zeitunabhängig	periodisch	ereignisbezogen	ad-hoc
Datenpflege	manuelle Pflege	standardisierter Prozess	automatische Pflege	
Analyseanforderungsgrad	gering	mittel	hoch	
Datenvolumen	klein	mittel	hoch	
Datenaufbereitungsgrad	minimal	mittel	hoch	
Sicherheitsanforderung	vertraulich	intern	öffentlich	

Abbildung 5.45: Aufbau des morphologischen Kastens zur Darstellung der Anforderungen an die Datengruppen⁴⁹⁶

Die **zeitliche Dynamik** beschreibt die Frequenz, mit der Daten geändert oder aktualisiert werden. Sie erstreckt sich von Daten, die über längere Zeiträume konstant bleiben, wie grundlegende Stammdaten eines Produkts, bis hin zu Daten, die regelmäßig oder kontinuierlich aktualisiert werden, wie Produktionszahlen oder Sensordaten. Beispielsweise bleiben Grunddaten oft unverändert, während Berichte oder operative Kennzahlen in regelmäßigen Intervallen aktualisiert werden können. Hoch dynamische Daten, wie etwa Sensordaten, erfordern hingegen eine nahezu kontinuierliche Aktualisierung, um aktuelle Zustände oder Prozesse adäquat abzubilden. Mittels der Binning-Methode werden die vier Ausprägungen „selten“, „gelegentlich“, „häufig“ und „hoch dynamisch“ definiert. Die Ausprägung „selten“ beschreibt Daten, die über lange Zeiträume konstant bleiben, wie etwa Stammdaten, die nur bei grundlegenden Änderungen variieren. Daten, die in größeren Zeitabständen Änderungen unterliegen, werden als „gelegentlich“ klassifiziert, beispielsweise saisonale Berichte. Daten, die regelmäßigen Veränderungen unterliegen, wie Produktionszahlen, die täglich variieren, werden als „häufig“ bezeichnet. Die Ausprägung „hoch dynamisch“ bezieht sich auf Daten, die sich nahezu kontinuierlich ändern, wie etwa Sensordaten in Echtzeit. Diese Struktur deckt ein breites Spektrum an Anforderungen an die Änderungsfrequenz von Daten ab und ermöglicht eine gezielte Einordnung.

Der **Aktualisierungsmodus** beschreibt, wie die Eingangsgrößen in Bezug auf die Zeit betrachtet werden und unter welchen Bedingungen eine Anpassung erfolgen muss. Zeitunabhängige Daten weisen über längere Zeiträume eine hohe Stabilität auf und erfordern keine regelmäßige Anpassung. Eine Aktualisierung erfolgt lediglich bei grundlegenden Änderungen, wie einer Revision oder einem Update, beispielsweise bei Stammdaten. Periodische Daten werden in festen Intervallen, beispielsweise monatlich oder jährlich, aktualisiert, wie es bei Finanzdaten oder regelmäßigen Berichten üblich ist. Ereignisbezogene Aktualisierungen erfolgen nur, wenn ein spezifisches Ereignis eintritt, wie bei Produktionsänderungen oder der

⁴⁹⁶ Eigene Darstellung

Einführung eines neuen Produkts. Ad-hoc-Daten werden flexibel und nach Bedarf aktualisiert, beispielsweise bei spontanen Anforderungen oder während einer Besprechung. Der Aktualisierungsmodus definiert somit, wie und wann Daten im jeweiligen Nutzungskontext auf dem aktuellen Stand gehalten werden. Die regelbasierte Klassifikation hat die vier Ausprägungen „zeitunabhängig“, „periodisch“, „ereignisbezogen“ und „ad-hoc“ hervorgebracht. Die Ausprägung „zeitunabhängig“ umfasst Daten, die über längere Zeiträume stabil bleiben und nur bei grundlegenden Änderungen, wie einem Update, angepasst werden wie Stammdaten. Die Daten, die in festen Intervallen aktualisiert werden, werden als „periodisch“ bezeichnet. Ein Beispiel hierfür sind Finanzberichte, die monatlich oder jährlich publiziert werden. Daten, die durch spezifische Ereignisse angepasst werden, werden als „ereignisbezogen“ klassifiziert, wie Produktionsänderungen oder die Einführung neuer Produkte. Daten, die flexibel und nach Bedarf aktualisiert werden, werden als „ad-hoc“ bezeichnet, etwa bei spontanen Anforderungen oder Besprechungen. Diese Klassifizierung erlaubt eine eindeutige Zuweisung der Aktualisierungszeitpunkte in Abhängigkeit des spezifischen Nutzungskontexts.

Die **Datenpflege** beschreibt den Prozess der Verwaltung und Aktualisierung von Eingangsgrößen, mit dem Ziel, deren Genauigkeit, Konsistenz und Relevanz sicherzustellen. Dies umfasst alle erforderlichen Maßnahmen, um die Daten über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg korrekt und aktuell zu halten. Die Intensität und Methode der Datenpflege können dabei je nach Anforderung variieren. In einigen Fällen erfolgt die Pflege manuell, wobei Daten durch eine Person regelmäßig geprüft und aktualisiert werden. Alternativ können standardisierte Prozesse zum Einsatz kommen, bei denen vordefinierte Workflows die regelmäßige und systematische Aktualisierung der Eingangsgrößen sicherstellen. Eine automatisierte Datenpflege ermöglicht die Aktualisierung der Eingangsgrößen ohne manuellen Aufwand, indem Systeme integriert werden, die neue Daten automatisch erfassen und verarbeiten. Die Datenpflege spielt eine zentrale Rolle, um die Zuverlässigkeit und Eignung der Eingangsgrößen für den jeweiligen Anwendungszweck sicherzustellen. Mittels der Clusteranalyse werden drei Ausprägungen definiert: „manuelle Pflege“, „standardisierter Prozess“ und „automatische Pflege“. Die Ausprägung „manuelle Pflege“ umfasst Daten, die individuell geprüft und angepasst werden müssen, beispielsweise durch regelmäßige Kontrolle durch eine Person. Der „standardisierte Prozess“ beschreibt Daten, die durch vorab definierte Workflows regelmäßig und systematisch aktualisiert werden, wie beispielsweise Verkaufszahlen. „Automatische Pflege“ umfasst Daten, die kontinuierlich ohne manuellen Eingriff aktualisiert werden, etwa durch integrierte Systeme wie Sensordaten. Diese Einteilung hilft, die unterschiedlichen Anforderungen an die Datenpflege gezielt abzubilden.

Die **Analyseanforderungen** umfassen die Anforderungen hinsichtlich der Qualität, Konsistenz und der mit der Nutzung einhergehenden Risiken der Eingangsgrößen. Das Ziel besteht darin, die Präzision, Zuverlässigkeit und Eignung der Daten für den vorgesehenen Zweck zu gewährleisten. Es sei jedoch angemerkt, dass die Anforderungen in Abhängigkeit des Kontexts variieren können. Daten, die mit geringen Anforderungen konfrontiert sind, weisen eine grundlegende Qualität auf, wobei kleinere Fehler oder Ungenauigkeiten toleriert werden können. Solche Daten erfordern keine strikte Konsistenz und können geringfügige Abweichungen zwischen verschiedenen Quellen oder Zeitpunkten tolerieren, beispielsweise bei allgemeinen

Markttrends. Höhere Anforderungen setzen eine moderat bis hohe Datenqualität voraus, bei der Daten größtenteils konsistent und zuverlässig sein sollten, ohne dass geringfügige Abweichungen das Gesamtergebnis beeinträchtigen. Solche Anforderungen können für operative Daten wie Verkaufszahlen gelten. In besonders sensiblen Anwendungsbereichen, wie beispielsweise bei Produktionskennzahlen oder Finanzdaten, können sehr hohe Anforderungen bestehen. In solchen Fällen wird eine fehlerfreie und widerspruchsfreie Datenbasis vorausgesetzt, da Fehler gravierende Auswirkungen auf Entscheidungen oder Prozesse haben könnten. Die Analyseanforderungen dienen somit der Bestimmung des erforderlichen Aufwands für die Qualitätssicherung, um die Verlässlichkeit und Präzision der Analysen sicherzustellen. Mithilfe der hierarchischen Klassifikation wurden drei Ausprägungen abgeleitet: „gering“, „mittel“ und „hoch“. Die Ausprägung „gering“ beschreibt Daten, die eine grundlegende Qualität aufweisen und kleinere Fehler tolerieren, wie allgemeine Markttrends. Die Kategorie „mittel“ umfasst Daten, die eine moderate Konsistenz erfordern und nur geringfügige Abweichungen zwischen Quellen tolerieren, wie operative Verkaufszahlen. Die Kategorie „hoch“ beschreibt Daten, die eine vollständige Konsistenz und Fehlerfreiheit aufweisen müssen, wie Produktionskennzahlen oder Finanzdaten, die direkte Auswirkungen auf Entscheidungen haben. Diese Einteilung ermöglicht eine klare Differenzierung der Qualitätsanforderungen für Daten.

Das **Datenvolumen** bezeichnet die Menge an Daten, die bei der Verarbeitung und Speicherung anfällt und sich je nach Art der Eingangsgrößen und ihrer Anwendung stark unterscheiden kann. Eingangsgrößen mit einem geringen Datenvolumen umfassen eine überschaubare Menge an Informationen, die einfach zu handhaben sind und nur wenig Speicherplatz benötigen. Beispiele hierfür sind Einzelwertdaten, wie der Preis eines Produkts, der selten verändert wird. Das mittlere Datenvolumen entsteht, wenn Daten regelmäßig gesammelt und verarbeitet werden, jedoch keine großen Mengen umfassen, wie etwa Verkaufszahlen, die über einen bestimmten Zeitraum hinweg erfasst und aktualisiert werden. Das Vorhandensein des hohen Datenvolumens ist demgegenüber durch die kontinuierliche Generierung und Speicherung großer Datenmengen in Echtzeit charakterisiert, wie es beispielsweise bei der Erfassung von Sensordaten der Fall ist. Diese sensiblen Daten generieren kontinuierlich neue Werte und erfordern umfangreiche Datenbanken zur Speicherung und Analyse. Die vorliegende Untersuchung hat die Ausprägungen „klein“, „mittel“ und „hoch“ anhand der Clusteranalyse definiert. Die Kategorie „klein“ umfasst Daten mit geringer Menge, die sich einfach handhaben lassen. Die Ausprägung „mittel“ beschreibt Datenmengen, die regelmäßig gesammelt und verarbeitet werden, wie wöchentliche Verkaufszahlen. Die Kategorie „hoch“ umfasst große Mengen kontinuierlich erfasster Daten, wie Sensordaten, die eine umfangreiche Speicherung und Analyse erfordern. Diese Struktur ermöglicht eine gezielte Einordnung der Datenmengen basierend auf ihren spezifischen Anforderungen.

Der **Datenaufbereitungsgrad** beschreibt das Ausmaß der erforderlichen Strukturierung, Aggregation und Transformation der Eingangsgrößen, um diese für die geplante Nutzung vorzubereiten. Er gibt Aufschluss über den erforderlichen Aufwand, um Rohdaten in eine Form zu überführen, die eine effiziente Analyse und Verarbeitung ermöglicht. Bei einem geringen Aufbereitungsgrad sind die Daten bereits in einer gut strukturierten und nutzbaren Form vorhan-

den, wie etwa standardisierte Preisdaten, die ohne weitere Anpassung direkt verwendet werden können. Ein mittlerer Aufbereitungsgrad erfordert eine gewisse Standardisierung oder Aggregation der Daten, wie beispielsweise Verkaufszahlen, die regelmäßig gesammelt und aufbereitet werden müssen, um für Analysen nutzbar zu sein. Ein hoher Aufbereitungsgrad ist erforderlich, wenn die Rohdaten umfangreiche Bearbeitungen und Transformationen erfordern, wie es bei Sensordaten der Fall ist, die zunächst bereinigt, aggregiert und in eine einheitliche Struktur überführt werden müssen. Der Datenaufbereitungsgrad gibt somit eine Orientierung über den notwendigen Vorbereitungsaufwand und hilft bei der Planung der erforderlichen Prozesse, Ressourcen und Werkzeuge. Die hierarchische Klassifikation hat die Ausprägungen „minimal“, „mittel“ und „hoch“ hervorgebracht. Die Kategorie „minimal“ umfasst Daten, die bereits gut strukturiert vorliegen und ohne weitere Bearbeitung genutzt werden können, wie standardisierte Preisdaten. Die Ausprägung „mittel“ beschreibt Daten, die eine gewisse Standardisierung oder Aggregation erfordern, wie monatliche Verkaufszahlen. Die Kategorie „hoch“ umfasst Daten, die umfangreiche Bearbeitungen und Transformationen benötigen. Diese Differenzierung spiegelt den Aufwand wider, der für die Datenaufbereitung notwendig ist.

Die **Sicherheitsanforderung** zielt darauf ab, die Vertraulichkeit und den Schutz von Eingangsgrößen zu gewährleisten, insbesondere im Umgang mit sensiblen oder personenbezogenen Daten. Sie betrifft den Umgang mit Informationen, die ausschließlich bestimmten autorisierten Personen zugänglich sein dürfen. Die Sicherheitsanforderungen für Eingangsgrößen können sich je nach Verwendungszweck und Sensibilität unterscheiden. Als besonders sicherheitsrelevant werden vertrauliche Daten eingestuft, die interne oder geschützte Informationen enthalten und vor unbefugtem Zugriff geschützt werden müssen. Interne Daten sind auf den Gebrauch innerhalb des Unternehmens beschränkt und dürfen nur von berechtigten Mitarbeitenden eingesehen werden. Öffentliche Daten hingegen enthalten keine sensiblen Informationen und können frei zugänglich gemacht werden, beispielsweise für Veröffentlichungen oder externe Analysen. Die Sicherheitsanforderung gewährleistet, dass die Daten gemäß ihrer Sensibilität angemessen geschützt werden. Die regelbasierte Klassifikation wurde genutzt, um die Ausprägungen „vertraulich“, „intern“ und „öffentlich“ zu definieren. Die Ausprägung „vertraulich“ umfasst sensible Daten, wie personenbezogene Informationen, die streng geschützt werden müssen. Die Kategorie „intern“ beschreibt Daten, die innerhalb eines Unternehmens verwendet werden dürfen, jedoch nur autorisierten Mitarbeitenden zugänglich sind. Die Ausprägung „öffentlich“ umfasst Daten, die keine sensiblen Informationen enthalten und daher frei zugänglich gemacht werden können, wie Daten für Publikationen. Die vorliegende Klassifizierung ermöglicht eine klare Zuordnung der Daten basierend auf ihrem Schutzbedarf.

Die Eingangsgrößen müssen die nachfolgend dargelegten Anforderungen der jeweiligen Datengruppe erfüllen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass durch die Zuordnung aller Eingangsgrößen auf die definierten fünf Datengruppen eine Vereinfachung erfolgt. Nichtsdestotrotz sollen die Anforderungen an die Datengruppe die Eigenschaften aller zugeordneter Eingangsgrößen widerspiegeln.

5.3.4.2 Stammdaten

Die Anforderungen an die Datengruppe „**Stammdaten**“ sind dahingehend definiert, dass eine geringe Änderungsfrequenz gewährleistet ist, da eine über einen längeren Zeitraum konstante Stabilität der Datengruppe vorausgesetzt wird. Die Aktualisierung erfolgt zeitunabhängig, da Stammdaten nur bei grundlegenden Anpassungen, wie etwa einer strukturellen Änderung oder einem Produktupdate, geändert werden. Die Datenpflege erfolgt manuell, um die hohe Qualität der Stammdaten sicherzustellen, da sie eine zentrale Rolle für das Kennzahlensystem spielen. Der Analyseanforderungsgrad ist hoch, da diese Daten konsistent und fehlerfrei vorliegen müssen, um als Grundlage für weitere Analysen und Berechnungen zu dienen. Das Datenvolumen ist gering, da Stammdaten nur eine begrenzte Anzahl an stabilen Eingangsgrößen umfassen. Der Datenaufbereitungsgrad ist minimal, da Stammdaten bereits gut strukturiert vorliegen und keine weiteren umfangreichen Transformationen erfordern. In Bezug auf die Sicherheitsanforderungen ist festzuhalten, dass Stammdaten als vertraulich einzustufen sind, da sie sensible Informationen bezüglich Geschäftsprozessen, Produkten oder Mitarbeitenden enthalten. Die Anforderungen an die Datengruppe der Stammdaten sind in Abbildung 5.46 dargestellt.

Zeitliche Dynamik	selten	gelegentlich	häufig	hoch dynamisch
Aktualisierungsmodus	zeitunabhängig	periodisch	ereignisbezogen	ad-hoc
Datenpflege	manuelle Pflege	standardisierter Prozess	automatische Pflege	
Analyseanforderungsgrad	gering	mittel	hoch	
Datenvolumen	klein	mittel	hoch	
Datenaufbereitungsgrad	minimal	mittel	hoch	
Sicherheitsanforderung	vertraulich	intern	öffentlich	

Abbildung 5.46: Anforderungen an die Datengruppe „Stammdaten“, dargestellt im entwickelten morphologischen Kasten⁴⁹⁷

5.3.4.3 Bewegungsdaten

Die Anforderungen an die Datengruppe „**Bewegungsdaten**“ sind durch ihre dynamische Natur gekennzeichnet, da sie Geschäftsprozesse abbilden und Änderungen in Echtzeit widerspiegeln müssen. Der Aktualisierungsmodus ist ereignisbezogen, das heißt, die Bewegungsdaten werden immer dann aktualisiert, wenn ein relevantes Ereignis im Geschäftsprozess stattfindet, wie beispielsweise der Start eines Bearbeitungsvorgangs in der Produktion. Aufgrund der hohen Anzahl an Daten ist eine manuelle Datenpflege nicht realisierbar, sodass eine

⁴⁹⁷ Eigene Darstellung

automatisierte Datenpflege erforderlich ist. Das Datenvolumen ist als hoch zu bewerten, da Bewegungsdaten eine Vielzahl von prozessbezogenen Informationen in Echtzeit umfassen. Der Datenaufbereitungsgrad ist ebenfalls als hoch zu bewerten, da die Daten in einer strukturierten Form vorliegen müssen, um unmittelbar in Analysen oder zur Prozesssteuerung genutzt werden zu können. Bezüglich der Sicherheitsanforderungen ist festzuhalten, dass Bewegungsdaten als intern einzustufen sind, da sie sensible Informationen zu internen Prozessen enthalten, die innerhalb des Unternehmens geschützt werden müssen. Die Anforderungen an die Datengruppe der Bewegungsdaten sind in Abbildung 5.47 dargestellt.

Zeitliche Dynamik	selten	gelegentlich	häufig	hoch dynamisch
Aktualisierungsmodus	zeitunabhängig	periodisch	ereignisbezogen	ad-hoc
Datenpflege	manuelle Pflege	standardisierter Prozess	automatische Pflege	
Analyseanforderungsgrad	gering	mittel		hoch
Datenvolumen	klein	mittel		hoch
Datenaufbereitungsgrad	minimal	mittel		hoch
Sicherheitsanforderung	vertraulich	intern		öffentlich

Abbildung 5.47: Anforderungen an die Datengruppe „Bewegungsdaten“, dargestellt im entwickelten morphologischen Kasten⁴⁹⁸

5.3.4.4 Bestandsdaten

Die Anforderungen an die Datengruppe „**Bestandsdaten**“ sind zwischen den statischen Stammdaten und den dynamischen Bewegungsdaten positioniert. Die zeitliche Dynamik der Bestandsdaten zeigt sich in gelegentlichen Änderungen, die in systematischen und weniger häufigen Intervallen auftreten. Der Aktualisierungsmodus ist periodisch, da die Aktualisierung in regelmäßigen, zu definierten Zeitpunkten erfolgt, wie etwa bei monatlichen Bestandsaufnahmen oder Inventuren. Die Datenpflege erfolgt über standardisierte Prozesse, um eine gleichbleibende Qualität bei der Aktualisierung bereits bestehender Eingangsgrößen zu gewährleisten. Das Datenvolumen ist moderat, da Bestandsdaten zwar nicht so umfangreich wie Bewegungsdaten sind, aber dennoch regelmäßig aufgezeichnet werden, um historische Analysen zu ermöglichen. Der Datenaufbereitungsgrad ist minimal, da die Bestandsdaten bereits strukturiert vorliegen und keine umfangreiche Transformation benötigen. Hinsichtlich der Sicherheitsanforderungen ist festzuhalten, dass Bestandsdaten als vertraulich einzustufen sind, da sie sensible Informationen wie Lagerbestände, offene Forderungen oder Verbindlichkeiten enthalten können, die vor unbefugtem Zugriff geschützt werden müssen. In Abbildung 5.48 sind die Anforderungen an die Datengruppe der Bestandsdaten dargestellt.

⁴⁹⁸ Eigene Darstellung

Zeitliche Dynamik	selten	gelegentlich	häufig	hoch dynamisch
Aktualisierungsmodus	zeitunabhängig	periodisch	ereignisbezogen	ad-hoc
Datenpflege	manuelle Pflege	standardisierter Prozess	automatische Pflege	
Analyseanforderungsgrad	gering	mittel	hoch	
Datenvolumen	klein	mittel	hoch	
Datenaufbereitungsgrad	minimal	mittel	hoch	
Sicherheitsanforderung	vertraulich	intern	öffentlich	

Abbildung 5.48: Anforderungen an die Datengruppe „Bestandsdaten“, dargestellt im entwickelten morphologischen Kasten⁴⁹⁹

5.3.4.5 Bezugsgrößen

Die Anforderungen an die Datengruppe „**Bezugsgrößen**“ lassen sich durch ihre Funktion als Referenzgrößen im Kennzahlensystem definieren. Der Aktualisierungsmodus ist periodisch, da die Bezugsgrößen in regelmäßigen Zeitintervallen, wie monatlich oder jährlich, aktualisiert werden, um eine konsistente Vergleichsbasis zu gewährleisten. Die Datenpflege erfolgt durch standardisierte Prozesse, da die Bezugsgrößen klar definiert und aggregiert sind und mit festen Workflows aktualisiert werden können. Der Analyseanforderungsgrad ist hoch, da die Bezugsgrößen eine wesentliche Grundlage für die Aussagekraft der Kennzahlen bilden und daher fehlerfrei und konsistent vorliegen müssen. Das Datenvolumen ist gering, da Bezugsgrößen häufig aggregierte und komprimierte Werte darstellen, die lediglich als Referenz für Berechnungen und Vergleiche genutzt werden. Der Datenaufbereitungsgrad ist minimal, da Bezugsgrößen bereits in einer strukturierten und nutzungsfertigen Form vorliegen und keine weiteren Transformationen erfordern. Bezugsgrößen sind hinsichtlich der Sicherheitsanforderungen, als intern einzustufen, da sie weniger sensibel als Rohdaten sind, jedoch weiterhin innerhalb des Unternehmens vor unbefugtem Zugriff geschützt werden müssen. In Abbildung 5.49 sind die Anforderungen an die Datengruppe der Bezugsgrößen dargestellt.

⁴⁹⁹ Eigene Darstellung

Zeitliche Dynamik	selten	gelegentlich	häufig	hoch dynamisch
Aktualisierungsmodus	zeitunabhängig	periodisch	ereignisbezogen	ad-hoc
Datenpflege	manuelle Pflege	standardisierter Prozess	automatische Pflege	
Analyseanforderungsgrad	gering	mittel	hoch	
Datenvolumen	klein	mittel	hoch	
Datenaufbereitungsgrad	minimal	mittel	hoch	
Sicherheitsanforderung	vertraulich	intern	öffentlich	

Abbildung 5.49: Anforderungen an die Datengruppe „Bezugsgrößen“, dargestellt im entwickelten morphologischen Kasten⁵⁰⁰

5.3.4.6 Externe Daten

Die Anforderungen an die Datengruppe „**externe Daten**“ reflektieren deren spezifischen Einsatz zur Ergänzung interner Informationen, insbesondere bei der Berechnung von Nachhaltigkeitskennzahlen. Die zeitliche Dynamik ist in der Regel gering, da externe Daten über längere Zeiträume unverändert bleiben und nur gelegentlich angepasst werden. Der Aktualisierungsmodus ist ad-hoc, da externe Daten bei spezifischem Bedarf abgerufen und aktualisiert werden, beispielsweise zur Erstellung eines Berichts oder zur Beantwortung einer spezifischen Fragestellung. Die Datenpflege erfolgt über standardisierte Prozesse, um eine konsistente und fehlerfreie Verarbeitung zu gewährleisten. Das Datenvolumen ist mittel, da externe Daten meist spezifische und aggregierte Informationen enthalten, die nicht in sehr großen Mengen vorliegen. Der Datenaufbereitungsgrad ist hoch, da externe Daten gut strukturiert vorliegen müssen, um Missverständnisse oder Fehler bei der Integration in interne Systeme zu vermeiden. Hinsichtlich der Sicherheitsanforderungen sind externe Daten als öffentlich einzustufen, da sie häufig aus allgemein zugänglichen Quellen wie Datenbanken oder Benchmarking-Berichten stammen. In Abbildung 5.50 sind die Anforderungen an die Datengruppe der externen Daten dargestellt.

⁵⁰⁰ Eigene Darstellung

Zeitliche Dynamik	selten	gelegentlich	häufig	hoch dynamisch
Aktualisierungsmodus	zeitunabhängig	periodisch	ereignisbezogen	ad-hoc
Datenpflege	manuelle Pflege	standardisierter Prozess	automatische Pflege	
Analyseanforderungsgrad	gering	mittel	hoch	
Datenvolumen	klein	mittel	hoch	
Datenaufbereitungsgrad	minimal	mittel	hoch	
Sicherheitsanforderung	vertraulich	intern	öffentlich	

Abbildung 5.50: Anforderungen an die Datengruppe „externe Daten“, dargestellt im entwickelten morphologischen Kasten⁵⁰¹

Im Kontext der Nachhaltigkeitsmessung stellt die **Auswahl von Datenbanken für die Emissionsberechnung** einen zentralen Baustein und zugleich ein prominentes Beispiel für den Bedarf an externen Daten dar. Die Auswahl wird durch die vielfältigen Interdependenzen erschwert, die selbst in einfachen Fällen nicht immer kontrolliert werden können. An dieser Stelle soll ein Überblick über die relevanten Datenbanken gegeben werden sowie eine Auswahl für den deutschsprachigen Werkzeugbau getroffen werden. Die Schlussfolgerungen von Studien, die den Einfluss von Datenbanken auf die Nachhaltigkeitsmessung, untersuchen sind in bestimmten Aspekten inkonsistent. So stellen Autoren wie PAUER ET AL. bei der Verwendung unterschiedlicher Datenbanken vergleichbare Ergebnisse für den Klimawandel fest, wobei einige andere Wirkungskategorien signifikant abweichen. TAKANO ET AL. identifizieren in Bezug auf die THG-Werten zumindest übereinstimmende Trends, wobei die numerischen Unterschiede recht groß sind. Die Autoren EMAMI ET AL. sowie KALVERKAMP et al. stellen selbst für den Klimawandel signifikante Abweichungen aufgrund der gewählten Datenbank fest. Die Ursachen werden hauptsächlich auf abweichende Charakterisierungsfaktoren aufgrund unterschiedlicher zugrunde liegender Systemgrenzen, Cut-Offs oder Zuordnungen zurückgeführt, die die Kompatibilität bei der Verwendung mehrerer Datenbanken erschweren können. Somit weisen die Studien darauf hin, dass ein konsistenter Bewertungsansatz zur Abschwächung der Datenbankauswahl von Bedeutung ist. Zudem wird der Klimawandel derzeit als die einzige verhältnismäßig robuste Auswirkungskategorie identifiziert.⁵⁰²

Somit kann die Auswahl der Emissionsdatenbank einen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse der Emissionsberechnung als Teil des Kennzahlensystems der vorliegenden Arbeit ausüben. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden kommerzielle Datenbanken von

⁵⁰¹ Eigene Darstellung

⁵⁰² Vgl. Pauer et al. (The influence of database): 2020, 1-3, 12; Emami et al. (A Life Cycle Assessment): 2019, 1-2, 9, 17; Kalverkamp et al. (Impacts of life cycle): 2020, 2, 11; Sanjuan-Delmás et al. (Environmental assessment of copper): 2022, 255, 265; Takano et al. (Comparison of life cycle): 2014, 15, 29.

Dritten, sowie frei verfügbare Alternativen analysiert. Zu den am weitesten verbreiteten Datenbanken zählen Ecoinvent und die ganzheitliche Bilanzierung (GaBi) von SPHERA. Allerdings hat sich in der Vergangenheit das Aufspüren und Bewerten von freien Lösungen als nicht trivial erwiesen und unter Umständen sogar den Erfolg mancher Projekte gefährdet⁵⁰³. Um ein solches Szenario zu verhindern und eine fundierte Entscheidung über die Wahl der Datenbank als Grundlage der Berechnungen der Emissionen des Werkzeugbaus zu ermöglichen, wurde eine umfassende Analyse der verfügbaren Datenquellen unterschiedlicher Herkunft durchgeführt. Die kommerzielle Lizenzierung einer der beiden umfangreichsten und populärsten Datenbanken (Ecoinvent und GaBi) erweist sich für die meisten Werkzeugbaubetriebe als finanziell nicht realisierbar, weshalb kostenlose Alternativen näher untersucht wurden. Eine vollständige Liste der untersuchten kommerziellen Optionen (vgl. Tabelle 7.4) und kostenfreien Optionen (vgl.

⁵⁰³ Vgl. Reschke (Schlussbericht Carbon Footprinting): 2019, 9, 26, 34.

Tabelle 7.5) ist im Anhang dargestellt. In der vorliegenden Arbeit werden zwei Datenbanken als geeignet angesehen: Die offiziellen staatlichen THG-Umrechnungsfaktoren des britischen Ministeriums für Umwelt, Ernährung und ländliche Angelegenheiten (engl. DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, FOOD AND RURAL AFFAIRS, DEFRA), folgend die DEFRA-Datenbank⁵⁰⁴ und die IDEMAT-Datenbank (engl. Industrial Design and Engineering Materials)⁵⁰⁵ werden für die vorliegende Arbeit als geeignet erachtet. Die IDEMAT-Datenbank wird von der SUSTAINABLE IMPACT METRIC FOUNDATION (SIMF) bereitgestellt, einer gemeinnützigen Ausgründung der Technischen Universität Delft (TU-Delft) bereitgestellt. Beide Datenbanken zeichnen sich durch einen angemessenen Umfang, eine gute Datenverfügbarkeit und die entscheidende Erlaubnis zur kommerziellen Nutzung aus, die durch die Creative Commons (CC) CC BY 4.0-Lizenz gewährt wird, solange die entsprechenden Hinweise gegeben werden.

Obwohl eine Qualitätskontrolle der Datenbanken als notwendig erachtet wird, liegt die Verantwortung für die Daten selbst beim ursprünglichen Datenlieferanten. Die DEFRA-Datenbank basiert auf dem GHG-Protokoll, wird jedoch auch als relevant und konform mit den ISO-konformen Ansätzen angesehen. Die Datenbank wird jährlich aktualisiert und stellt die offizielle Regierungsquelle dar, welche die umfassendsten, konsistentesten und zeitlich repräsentativsten Kyoto- und Doha-Treibhausgasfaktoren aus allen untersuchten freien Quellen enthält. Zudem ist sie mit einer umfassenden Dokumentation der Methodik ausgestattet, die ihre Genauigkeit verdeutlicht und somit die Anforderungen an die Transparenz erfüllt⁵⁰⁶. Hinsichtlich der geographischen Repräsentativität reflektiert die Datenbank die Verhältnisse in Deutschland nicht ideal wider, jedoch sind die Ähnlichkeiten in Bezug auf Bevölkerung, Demographie, Wirtschaft, Branchen, Klima und geographische Lage⁵⁰⁷ ausreichend gegeben, sodass sie gegenwärtig als die genaueste Annäherung zu bewerten ist. Infolgedessen ist sie für den deutschsprachigen Werkzeugbau als gut geeignet einzustufen. Ergänzend dazu steht die IDEMAT-Datenbank zur Verfügung, die sich durch eine solide Etablierung auszeichnet und teilweise auf Ecoinvent-Daten basiert⁵⁰⁸. Allerdings erhebt sie den Anspruch, in Bezug auf Technik und Produktdesign eine höhere Qualität aufzuweisen als Ecoinvent und auch die Stromdaten zu verbessern. Gemäß den Vorgaben der ISO 14040/14044 wird ein einheitlicher Prozessansatz verfolgt, während die Offenlegung von Hintergrund und Berechnungsregeln die Transparenz erhöht⁵⁰⁹. Aufgrund der persönlichen Expertise des Erstellers JOOST VOGTLÄNDER im Bereich der Nachhaltigkeitsquantifizierung und der TU-Delft als eine der führenden Universitäten Europas können die bereitgestellten Informationen als vertrauenswürdig, vollständig und konsistent eingestuft werden. Vergleichende Untersuchungen haben bestätigt, dass die Verwendung der IDEMAT-Datenbank die Genauigkeit nicht beeinträchtigt. Dennoch können trotz vergleich-

⁵⁰⁴ Vgl. UK Government (Government conversion factors): 2024.

⁵⁰⁵ Vgl. Sustainability Impact Metrics (SIMF) (Idemat): 2024.

⁵⁰⁶ Vgl. Department for Business, Energy & Industrial Strategy (BEIS) (2022 Government Greenhouse Gas): 2022.

⁵⁰⁷ Vgl. Index Mundi (United Kingdom vs. Germany): 2024, S. 1.

⁵⁰⁸ Vgl. Mio et al. (Multiscale modelling techniques): 2022, S. 691.

⁵⁰⁹ Vgl. Sustainability Impact Metrics (SIMF) (IDEMAT Calculation Rules):

barer Faktoren im Allgemeinen immer noch erhebliche Abweichungen von circa 30 % zwischen den Datenbanken auftreten⁵¹⁰. Aus diesem Grund wurde eine kontrastierende Analyse der DEFRA- und der IDEMAT-Datenbank durchgeführt. Zwar wurden die Diskrepanzen durch diese Analyse bestätigt, jedoch wurde auch die Kongruenz der beiden Datenbanken durch ihre komplementäre Nutzung in unterschiedlichen Schwerpunkten aufgezeigt. Die Kombination der beiden Datenbanken vergrößert den Datenpool der verfügbaren Faktoren. Es ist jedoch zu beachten, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur die von DEFRA oder IDEMAT tatsächlich erfassten Prozesse dargestellt werden können. Andernfalls ist eine Erweiterung der Datenbank erforderlich.

Damit sind die für das in der vorliegenden Arbeit beschriebene Kennzahlensystem des nachhaltigen Werkzeugbaus identifizierten Datengruppen beschrieben und die Anforderungen je Datengruppe definiert. Jede Eingangsgröße, die zur Berechnung der Kennzahlen benötigt wird, ist einer der Datengruppen zugeordnet. Die vollständige Zuordnung ist dem Anhang zu entnehmen (vgl. Tabelle 7.3).

5.3.5 Exkurs: Ansatz zur Erhebung der Eingangsgrößen

Ogleich die Ausführung der Datenerfassung nicht Ziel dieser Arbeit ist, soll an dieser Stelle ein kurzer Ausblick gegeben werden, was bei der Umsetzung der Datenerfassung der Eingangsgrößen des Kennzahlensystems zu beachten ist. Für die erfolgreiche Umsetzung des Kennzahlensystems ist ein gutes Aufwand-Nutzen-Verhältnis bei der Datenerfassung entscheidend. GOTTMANN bezeichnet dies als Wirtschaftlichkeit, definiert als der Quotient aus dem Ertrag, der durch die Ermittlung einer Kennzahl entsteht, und dem dazugehörigen Aufwand, um diese zu ermitteln⁵¹¹. Eine hohe Wirtschaftlichkeit resultiert demnach aus einem hohen Ertrag im Verhältnis zum Aufwand. Da der Nutzen dieser Ermittlung in der Regel konstant bleibt, ist es von essenzieller Bedeutung, ein Verfahren zur Kennzahlenermittlung festzulegen, welches möglichst wenig Aufwand erfordert. Um einen Grundstein für die weitere Analyse zu legen, listet BROWN zunächst die Kennzahlen auf, für die Eingangsgrößen bereits vorliegen (vgl. Tabelle 5.3). Liegen keine vor, wird festgelegt, ob diese Kennzahl durch interne Mitarbeitende oder externe Dienstleister zu ermitteln ist. In diesem Rahmen wird ebenfalls eine verantwortliche Projektleitung bestimmt.

Tabelle 5.3: Beispiel der Initialisierung einer Datenerfassung nach BROWN⁵¹²

Kennzahl	Daten vorhanden?	Daten übernehmen	Extern/Intern?	Projektleiter
Umsatz	Ja	Ja	---	---
Durchlaufzeit	Nein	---	Intern	Projektleitender A

⁵¹⁰ Vgl. Friedericy et al. (Reducing the Environmental Impact): 2022, 5, 11.

⁵¹¹ Vgl. Gottmann (Produktionscontrolling): 2019, S. 11.

⁵¹² Vgl. Brown (Kennzahlen): 1997, S. 168.

Mitarbeitendenzufriedenheit	Nein	---	Extern	Projektleitender B

Die Projektleitung hat die Aufgabe, einen Zeitplan zu erstellen, in dem die verwendete Methode und eine geeignete Form der Evaluierung abgebildet sind. Laut BROWN bieten sich zur Datenermittlung folgenden Methoden an: Umfragen, Checklisten, Inspektionen, Analyse, externe Quellen, Beobachtung, Fokusgruppen, Labortests und Zählungen⁵¹³. Die Evaluierung findet in regelmäßigen Abstimmungen statt. Darüber hinaus sind technische Lösungen und Softwaresysteme vonnöten, da nur so die Speicherung, Verarbeitung und anschließende Ermittlung einer Kennzahl aus großen Datenmengen gewährleistet werden kann. Eine umfassende Automatisierung kann insbesondere durch den Einsatz adäquater technologischer Lösungen auf sämtlichen Ebenen der technischen Datenverarbeitung erreicht werden. Für diese Datenverarbeitung lassen sich drei Schritte definieren: 1. Datensammlung, 2. Datenlagerung und -transfer sowie 3. Wissensgewinnung⁵¹⁴. Im Werkzeugbau wird deutlich, dass die Organisationsform, die Prozesse und schließlich die Ressourcen für die Gewinnung der Eingangsgrößen zur Kennzahlenberechnung von entscheidender Bedeutung sind. Am Beispiel der Planung und Steuerung im Werkzeugbau, wie sie in Abbildung 5.51 dargestellt ist, wird der Einfluss des Segmentierungskonzepts in der mechanischen Fertigung auf die Planungsebenen und Prozesse sowie für die Struktur der zur Datengewinnung eingesetzten Ressourcen deutlich. Diese Ressourcen erstrecken sich von Hardware, wie Sensoren, die Rohdaten messen, bis hin zu verschiedenen Softwaresystemen zur Verarbeitung und Analyse.

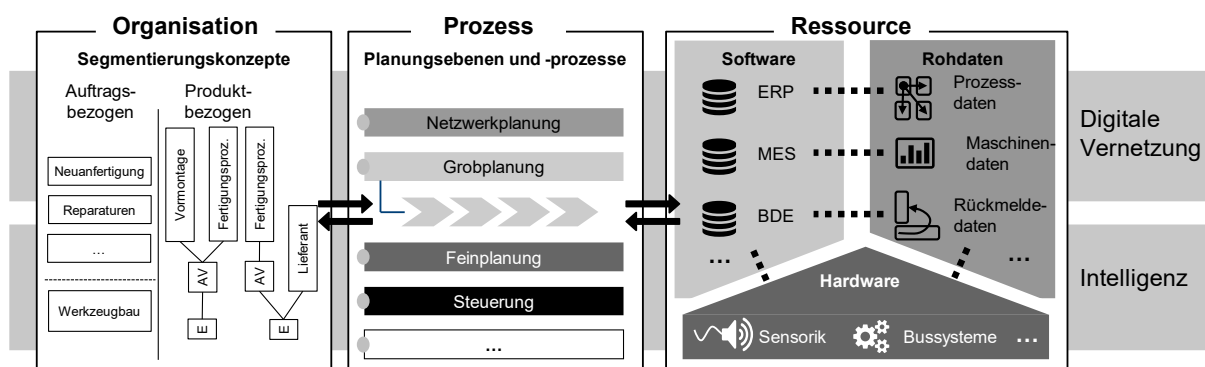


Abbildung 5.51: Die Verbindungen von Organisation, Prozessen und Ressourcen zur Datengewinnung im Werkzeugbau i. A. a. WBA⁵¹⁵

Für die erfolgreiche und aufwandsarme Kennzahlengenerierung im Werkzeugbau ist demnach eine enge Verschränkung der Organisation, Prozesse und Ressourcen in Form mehrerer Ebenen an technischen Befähigern von entscheidender Bedeutung. Diese können im Ordnungsrahmen des digital vernetzten Werkzeugbaus der WBA wiedergefunden werden. Der Ordnungsrahmen stellt den Auftragsabwicklungsprozess des Werkzeugbaus und darüber vertikal aufsteigend die Ebenen der technologischen Befähiger dar, ausgehend von der Ebene der

⁵¹³ Vgl. Brown (Kennzahlen): 1997, S. 165.

⁵¹⁴ Vgl. Besson et al. (Towards the fully automated monitoring): 2022, S. 2755.

⁵¹⁵ Vgl. WBA (Intensivkurs Planung und Steuerung): 2023.

5.4 Detaillierung der Kommunikation an interne Anspruchsgruppen

In diesem Kapitel wird die Frage erörtert, auf welche Art und Weise das entwickelte Kennzahlensystem für den ganzheitlich nachhaltigen Werkzeugbau den relevanten internen Anspruchsgruppen in einer anspruchsgerechten Form kommuniziert werden kann, um seine maximale Wirkung zu entfalten. Zu diesem Zweck werden zunächst die **identifizierten relevanten internen Anspruchsgruppen des Werkzeugbaus** beschrieben. Im Anschluss erfolgt die Definition der **Informationsbedarfe der einzelnen Anspruchsgruppen**, um die anforderungsgerechte Kommunikation zu gewährleisten. Auf Grundlage der beschriebenen Anspruchsgruppen und deren Informationsbedarfe folgt die **Gestaltung einer anforderungsgerechten Kommunikation für alle relevanten Anspruchsgruppen**. In Abbildung 5.53 sind die drei Gestaltungsaspekte sowie der Ordnungsrahmen dargestellt.

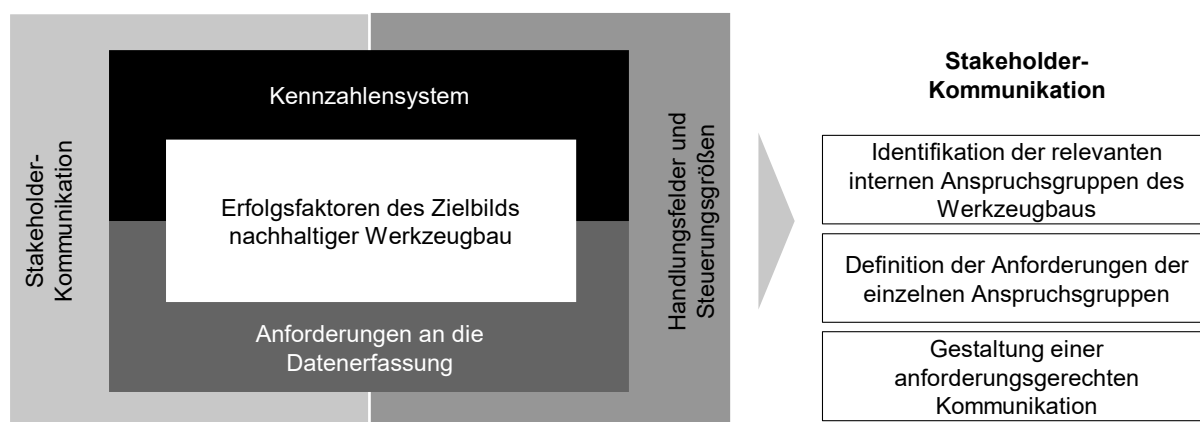


Abbildung 5.53: Gestaltungaspekte des Gestaltungselement Stakeholder-Kommunikation⁵¹⁹

Im weiteren Verlauf werden die maßgeblichen Grundlagen zur detaillierten Ausgestaltung der Stakeholder-Kommunikation dargelegt. Im Anschluss erfolgt die Erläuterung der einzelnen Gestaltungaspekte.

5.4.1 Grundlagen

Der Begriff „**Unternehmenskommunikation**“ grenzt sich von der persönlichen Kommunikation von Managern oder in Teams ab, in dem hierbei das Unternehmen als Akteur auftritt. Dies bezieht sich auf die Interaktion mit Stakeholdern jeglicher Form, wie Mitarbeitende, Kunden, Gläubiger und in der gesellschaftlichen und politischen Umgebung. Die vorliegende Arbeit folgt der Definition, nach der Unternehmenskommunikation alle von einer betrieblichen Organisation oder in ihrem Auftrag vorgenommenen Aktivitäten der Kommunikation beschreibt. Hierzu

⁵¹⁹ Eigene Darstellung

zählen symbolische Interaktionen, die dem Zweck der Generierung von Verständnis und Einflussnahme, der internen und externen Koordination der Handlungen sowie der Erklärung der Interessen zwischen den Anspruchsgruppen und dem Unternehmen dienen.

Für den Wettbewerbserfolg eines Unternehmens ist die Konkretisierung der Gestaltung der eigenen Kommunikationsmaßnahmen und das Management der Kommunikation von entscheidender Bedeutung. Unter Management der Kommunikation ist in diesem Kontext die Planung und Steuerung der Kommunikationsabläufe zu verstehen, wobei die erforderlichen Aktivitäten von Organisation, Personal und Management zu berücksichtigen sind. Ebenso wichtig ist das Kommunikationscontrolling, mit dem Transparenz in den Bereichen Strategie, Prozess, Ergebnis und Finanzen hergestellt wird und Kennzahlen zur Verfügung gestellt werden.⁵²⁰

Die Kommunikation der Entscheidungen des Managements an die relevanten Zielgruppen innerhalb des Unternehmens stellt einen wesentlichen Aspekt dar, um die soziale Nachhaltigkeit zu steigern. Die soziale Nachhaltigkeit eines Unternehmens betrifft sämtliche Anspruchsgruppen auf operativer sowie auf strategischer Ebene. Die Übertragung von Informationen wirkt sich positiv auf die Kennzahlen Fluktuationsrate und Mitarbeitendenentwicklung aus, welche wiederum einen Einfluss auf die Mitarbeitendenzufriedenheit haben. Insbesondere bei Änderungsvorhaben bilden qualitative und quantitative Kennzahlen die Grundlage für strategische Entscheidungen. Das Management erhält durch die Kennzahlen zum einen eine Richtungsvorgabe bei Entscheidungen und zum anderen können die Kennzahlen als Frühwarnsystem fungieren.⁵²¹

Das Ziel besteht folglich darin, eine **anspruchsgerechte Kommunikationsform** für die Kennzahlen zu bestimmen, die es den Nutzergruppen ermöglicht, relevante Daten präzise und schnell zu verstehen. Dazu ist es ratsam, eine Visualisierung der Daten vorzunehmen, wobei der Fokus jedoch nicht auf der Visualisierung an sich, sondern auf der unkomplizierten Vermittlung der Kennzahlen entsprechend den jeweiligen Anspruchsgruppen liegt. Der Einsatz neuer Spezialeffekte erweist sich in diesem Zusammenhang als kontraproduktiv, vielmehr empfiehlt sich die Verwendung klarer, prägnanter und bekannter Darstellungsformen. Die Verwendung relativer Kennzahlen ist in der Regel ausdrucksstärker als die von absoluten Kennzahlen. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass die betroffenen Benutzergruppen maßgeblich den angestrebten Informationsgehalt beeinflussen, da je nach Zielgruppe unterschiedliche Informationen für den entsprechenden Tätigkeitsbereich verlangt werden. Es ist entscheidend, zu differenzieren, welche Informationen die Benutzergruppen tatsächlich benötigen und eine geeignete Darstellungsform zu wählen. Mögliche Formen der Visualisierung umfassen Balken-, Kreis- und Säulendiagramme für kategorisierte Werte, Histogramme für Verteilungen oder Liniendiagramme für zeitliche Reihen. Zudem kann es sinnvoll sein, zusätzliche Text- oder Zahlenelemente zu integrieren.⁵²²

⁵²⁰ Vgl. (Handbuch Unternehmenskommunikation): 2022, S. 4–5.

⁵²¹ Vgl. (Finance-Perspektiven im Wandel): 2024, S. 99–100.

⁵²² Vgl. Barton (Geschäftsprozesse): 2017, S. 85–86.

Die für die jeweilige Anspruchsgruppe relevanten Informationen ergeben sich aus den **Aufgaben und Zielen der Anspruchsgruppe im Werkzeugbau** beziehungsweise entlang der Prozesskette. Die Studie der WBA zur Performancemessung im Werkzeugbau⁵²³ hat durch die Beschreibung der Ziele und Darstellungsformen entlang der Prozesskette eine Grundlage für die weitere Ausarbeitung im Rahmen des vorliegenden Kapitels gelegt. Zudem hat sich KELZENBERG mit den relevanten Haupttätigkeiten entlang der Prozesskette im Werkzeugbau befasst⁵²⁴, welche eine weitere Grundlage für die Ausarbeitung der Anforderungen der Anspruchsgruppen bildet. Diese Haupttätigkeiten sind in Abbildung 5.54 zusammengefasst.

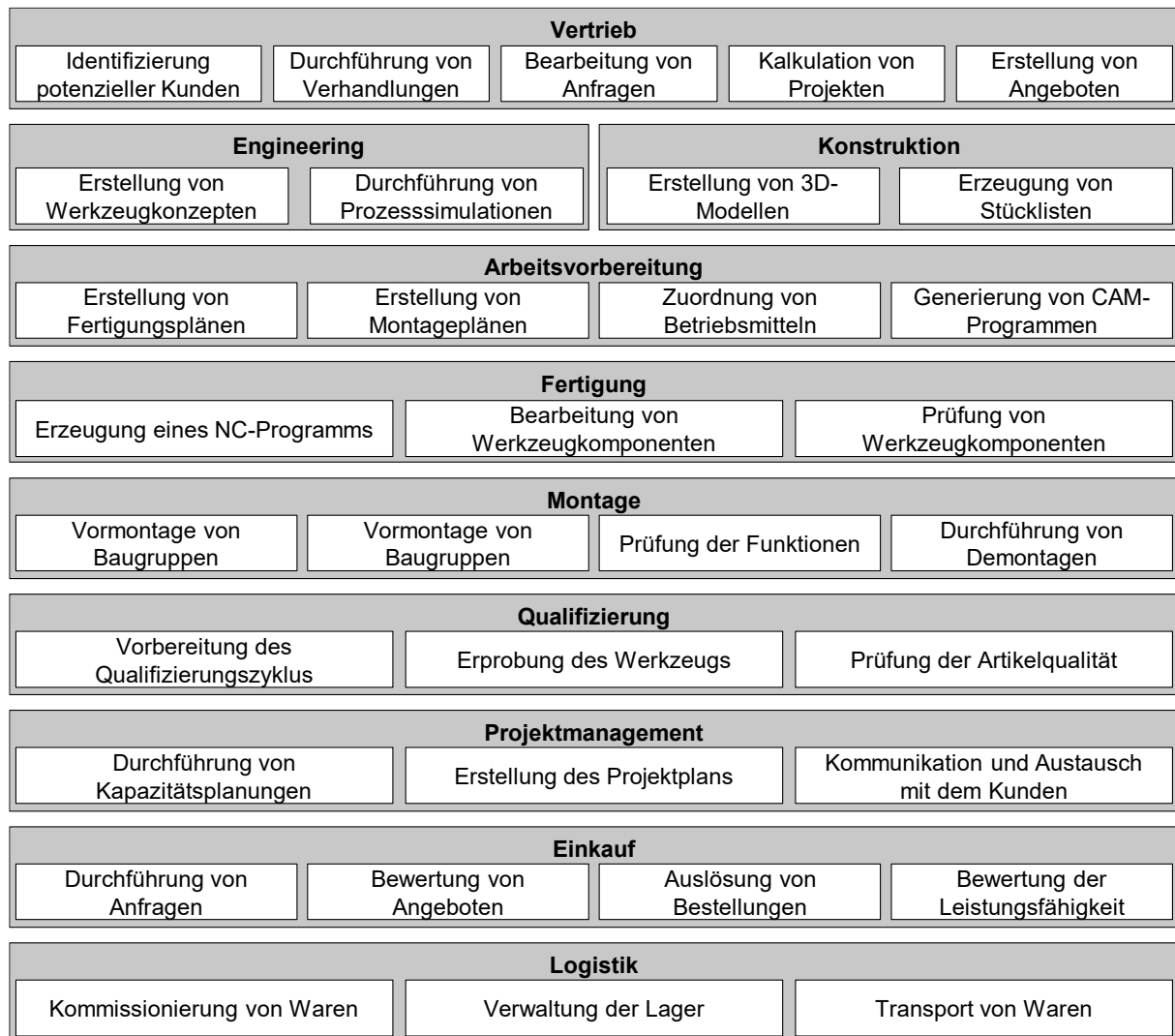


Abbildung 5.54: Relevante Hauptaktivitäten der Anspruchsgruppen des Werkzeugbaus entlang der Prozesskette nach KELZENBERG⁵²⁵ i. A. a. GRABERG⁵²⁶

⁵²³ Vgl. Boos et al. (Erfolgreich Performance Messen): 2017.

⁵²⁴ Vgl. Kelzenberg (Nachhaltigkeit im Werkzeugbau): 2021, S. 135–138.

⁵²⁵ Vgl. Kelzenberg (Nachhaltigkeit im Werkzeugbau): 2021, S. 135–138.

⁵²⁶ Vgl. Graberg (Digitaler Schatten im Werkzeugbau): 2022, S. 127.

5.4.2 Identifikation der relevanten internen Anspruchsgruppen

Im vorliegenden Kapitel werden die verschiedenen Anspruchsgruppen eines Werkzeugbaubetriebs ermittelt. Die Anspruchsgruppen umfassen sämtliche Personen, Gruppen oder Organisationen, die berechnete Ansprüche an ein Unternehmen oder dessen Projekte stellen und diese durch ihr Handeln oder ihre Interessen direkt oder indirekt beeinflussen können. Die Einteilung der Anspruchsgruppen ermöglicht eine systematische Analyse und Strukturierung der direkten und indirekten Einflüsse auf ein Unternehmen, basierend auf der Stakeholder-Theorie von FREEMAN.⁵²⁷ Gemäß dieser Theorie trägt ein Unternehmen nicht nur Verantwortung gegenüber seinen Aktionären, sondern gegenüber allen Anspruchsgruppen, mit dem Ziel, langfristigen Erfolg durch ethisches und nachhaltiges Wirtschaften zu gewährleisten.

Gemäß FREEMAN wird zwischen primären und sekundären Stakeholdern differenziert, wobei sich diese beiden Gruppen durch ihren Einfluss auf das Unternehmen unterscheiden. Primäre Stakeholder umfassen Personen oder Gruppen, die das Unternehmen unmittelbar oder in erheblichem Maße beeinflussen. Dazu zählen Investoren, Mitarbeitende, Kunden, Lieferanten sowie lokale Gemeinschaften wie Kommunen. Sekundäre Stakeholder stehen in einer indirekten Beziehung zum Unternehmen und dessen Aktivitäten. Obwohl sie keinen unmittelbaren Einfluss ausüben, können sie das Unternehmen durch externe Faktoren beeinflussen. Zu dieser Gruppe gehören Medien, NGOs, Regierungsbehörden, Wettbewerber und die allgemeine Öffentlichkeit. Weiter wird zwischen internen und externen Stakeholdern differenziert. Interne Stakeholder sind innerhalb des Unternehmens tätig und unmittelbar in dessen Strukturen, Entscheidungsprozesse und operative Abläufe eingebunden. Zu ihnen zählen Mitarbeitende, Management, Führungskräfte sowie Eigentümer und Aktionäre. Externe Stakeholder befinden sich außerhalb des Unternehmens und haben keinen direkten Zugang zu internen Informationen oder Entscheidungsprozessen. Nichtsdestotrotz können sie durch ihre Handlungen oder Interessen signifikanten Einfluss auf das Unternehmen ausüben. Zu dieser Gruppe gehören Kunden, Lieferanten, lokale Gemeinschaften, Regierungsbehörden, Gesetzgeber, Medien, NGOs sowie Wettbewerber.⁵²⁸

Die in der vorliegenden Arbeit entwickelte Darstellungsform verfolgt das Ziel, die interne Steuerung der Nachhaltigkeit von Werkzeugbaubetrieben zu unterstützen. Aus diesem Grund werden ausschließlich die internen Anspruchsgruppen betrachtet, da nur sie direkten Einfluss auf die Steuerungsprozesse des Unternehmens ausüben können. Im weiteren Verlauf wird eine detaillierte Analyse der internen Anspruchsgruppen erforderlich, um deren spezifische Rollen und Verantwortlichkeiten im Kontext des Werkzeugbaus zu verstehen. Zu diesem Zweck wird die Organisationsstruktur des Werkzeugbaubetriebs detailliert analysiert, wobei ein Organigramm als Grundlage zur Visualisierung der internen Anspruchsgruppen und ihrer funktionalen Beziehungen dient. Die Grundlage dazu bilden die Prozesskette des Werkzeugbaus aus Kapitel 2.1.4 und die Analyse der Anspruchsgruppen des Werkzeugbaus in Kapitel 5.1.2.1.

⁵²⁷ Vgl. Freeman et al. (Selected Works on Stakeholder Theory and Business Ethics): 2023, S. 3–4.

⁵²⁸ Vgl. Freeman et al. (Selected Works on Stakeholder Theory and Business Ethics): 2023, S. 20–25.

Die Hierarchieebenen nach FORSTNER UND DÜMLER⁵²⁹ können im Werkzeugbau zu den in Abbildung 5.55 dargestellten drei Ebenen vereinfacht werden. Die **Werkzeugbauleitung** beziehungsweise das Management ist dabei auf der obersten Ebene positioniert. Die mittlere Ebene umfasst die jeweiligen **Abteilungs- oder Bereichsleiter** der einzelnen Abteilungen entlang der Prozesskette des Werkzeugbaus und verdeutlicht den Lebenszyklus von der Planung bis hin zur Betreuung des Serienbetriebs der Werkzeuge. Die Ebene der **Facharbeiten-**den bildet die Basis des Organigramms.

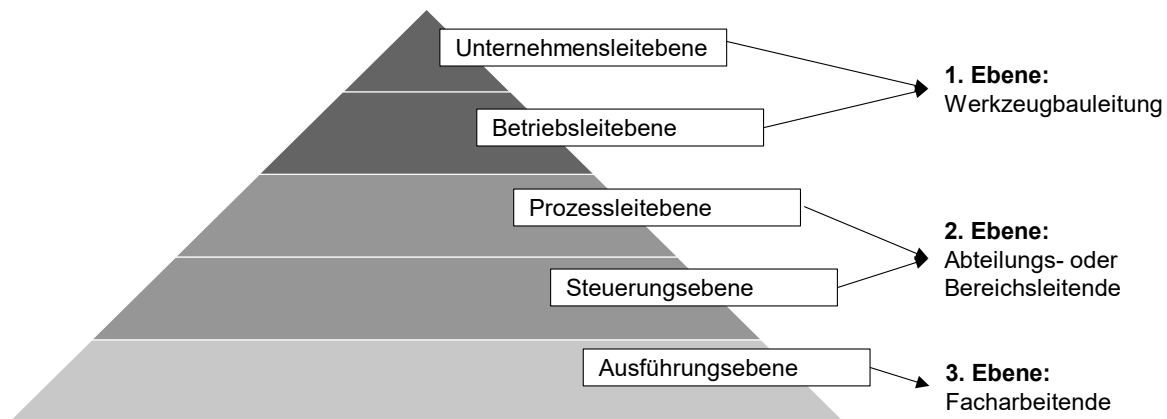


Abbildung 5.55: Hierarchieebenen i. A. a. FORSTNER UND DÜMLER⁵³⁰ erweitert um die drei Ebenen des Werkzeugbaus

Die identifizierten drei Hierarchieebenen werden in einem Organigramm mit der Prozesskette des Werkzeugbaus (vgl. Kapitel 2.1.4) zu einer funktionsorientierten Unternehmensstruktur verknüpft, welche in Abbildung 5.56 dargestellt ist. Die mittlere Ebene ist in den Haupt- und Nebebereich gegliedert. Der Hauptbereich umfasst die verschiedenen Prozessstufen und entsprechenden Abteilungen, während der Nebebereich die übergreifenden Funktionen, das Projektmanagement und das Nachhaltigkeitsmanagement, beinhaltet. Der Bereich **Auftragsakquise** unterteilt sich in die Abteilungen Vertrieb und Kalkulation. Der Vertrieb ist für den direkten Kundenkontakt verantwortlich. Zu seinen Kernaufgaben gehören die Akquise neuer Projekte, die Erstellung von Angeboten auf Basis spezifischer Kundenanforderungen sowie die Pflege langfristiger Kundenbeziehungen. Die Kalkulation übernimmt die Berechnung der Projektkosten und die Bewertung der Rentabilität, um wirtschaftlich fundierte Angebote zu erstellen. Die **Werkzeugentwicklung** unterteilt sich in die Methodenplanung und die Konstruktion. Die Hauptaufgabe besteht in der Entwicklung innovativer Werkzeuge. Dies umfasst die Erstellung von CAD-Modellen, die Durchführung von Simulationen und die Festlegung der benötigten Ressourcen. Im Zuge dessen werden nachhaltige und innovative Konstruktionsansätze aktiv berücksichtigt und in die Entwicklungsprozesse integriert.

Die **Arbeitsplanung** ist in zwei Schritte unterteilt: die Arbeitsvorbereitung und die NC-Programmierung. Sie verantwortet die Planung und Koordination aller Produktionsschritte, beginnend bei der mechanischen Fertigung bis hin zur Montage. Dies beinhaltet die Festlegung

⁵²⁹ Vgl. Forstner et al. (Integrierte Wertschöpfungsnetzwerke): 2014, S. 200.

⁵³⁰ Vgl. Forstner et al. (Integrierte Wertschöpfungsnetzwerke): 2014, S. 200.

zeitlicher Vorgaben, die Auswahl geeigneter Maschinen sowie die Verarbeitung der CAD-Daten in der NC-Programmierung für den Einsatz auf den Maschinen. Die **mechanische Fertigung** umfasst die präzise Bearbeitung von Werkzeugkomponenten mithilfe von Fräs-, Dreh- und anderen Maschinen. In der Montage erfolgt der Zusammenbau der Komponenten zu einem vollständigen Werkzeugsystem, das auch externe Bauteile enthalten kann. Im Try-out werden die fertiggestellten Werkzeuge unter realistischen Produktionsbedingungen getestet, geprüft und optimiert, bevor sie an den Kunden übergeben werden.⁵³¹ Die **Serienbetreuung** umfasst die Unterstützung der Kunden während der Nutzung der Werkzeuge, wozu die Installation, Wartung und Reparatur sowie die kontinuierliche Optimierung der Werkzeuge zählen, um deren Funktionalität und Lebensdauer zu gewährleisten. Das **Projektmanagement** ist für die Planung, Steuerung und Überwachung aller Projekte verantwortlich, mit dem Ziel, die Einhaltung von Qualität, Kosten und Terminen sicherzustellen. Dabei koordiniert das Projektmanagement die Zusammenarbeit zwischen den Abteilungen und externen Partnern.⁵³² Das **Nachhaltigkeitsmanagement** entwickelt und setzt Maßnahmen zur Förderung der ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Nachhaltigkeit um. Es trägt dafür Sorge, dass Nachhaltigkeitsziele über die gesamte Prozesskette hinweg integriert werden, und überprüft regelmäßig die Fortschritte und deren Wirkung auf das Unternehmen.⁵³³

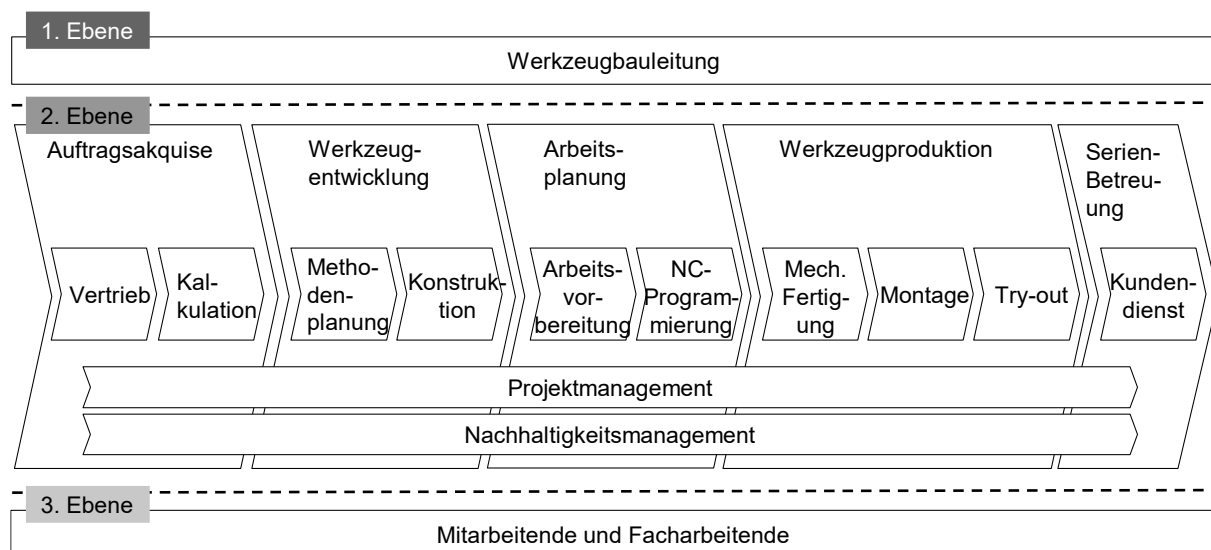


Abbildung 5.56: Die relevanten internen Anspruchsgruppen des Werkzeugbaus als funktionsorientierten Unternehmensstruktur i. A. a. HENSEN⁵³⁴

Die identifizierten relevanten internen Anspruchsgruppen des Werkzeugbaus bilden die Grundlage für die anschließende Analyse des Informationsbedarfs und der Kommunikationsanforderungen. Die spezifischen Anforderungen an die Kommunikation werden dabei anhand der Aufgabenfelder der jeweiligen Anspruchsgruppe definiert.

⁵³¹ Vgl. Boos et al. (Erfolgreich Performance Messen): 2022, S. 12–39.

⁵³² Vgl. Meyer et al. (Projektmanagement): 2020, S. 3–5.

⁵³³ Vgl. ifaa (Nachhaltigkeitsmanagement): 2021, S. 15–16.

⁵³⁴ Vgl. Hensen (Industrielle Werkzeugbaubetriebe): 2017, S. 48.

5.4.3 Definition der Anforderungen der einzelnen Anspruchsgruppen

In diesem Kapitel erfolgt die Analyse der Anforderungen der internen Anspruchsgruppen an die Kennzahlen. Für jede relevante Anspruchsgruppe aus Kapitel 5.4.2 werden Fokusbereiche herausgearbeitet und die damit verbundenen Kenngrößen ermittelt. Die Anforderungen basieren auf der Praxiserfahrung aus Industrieprojekten und dem Austausch mit der deutschsprachigen Branche Werkzeugbau im Rahmen von Konsortialprojekten⁵³⁵ sowie aus der wissenschaftlichen Literatur. Im Anschluss erfolgte eine Validierung der Anforderungen mit drei Werkzeugbaubetrieben im Rahmen des Forschungsprojekts „SUSKEY“⁵³⁶. Zusätzlich zu dem Fokusbereich sollen jeder Abteilung auf der Prozessebene noch jeweilige soziale und finanzielle Kennzahlen, welche die Abteilung betreffen, bereitgestellt werden. Da diese allerdings für jede Abteilung gleich sind, werden diese nicht in dem Fokusbereich mit aufgeführt und in Kapitel 5.4.4 genau beschrieben.

Auf der Ebene der **Werkzeugbauleitung** besteht das übergeordnete Ziel in der Sicherstellung der finanziellen Stabilität des Unternehmens. Ein umfassendes Nachhaltigkeitsmanagement ist für eine nachhaltige, langfristige Geschäftsentwicklung erforderlich, wobei alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit zu berücksichtigen sind. Kennzahlen fungieren in diesem Kontext als Instrument zur fundierten Unterstützung strategischer Entscheidungen. Ein zentraler Aspekt ist die Erfassung der Ressourceneffizienz auf Unternehmensebene. Die Kennzahlen müssen die Nutzung von Materialien, Energie und Personalressourcen sowie Optimierungspotenziale aufzeigen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Überwachung der Wirtschaftlichkeit und der langfristigen Wettbewerbsfähigkeit. Die Kennzahlen sollten die Profitabilität nachhaltiger Projekte und die Rentabilität der eingesetzten Ressourcen messbar machen sowie den Erfolg von Nachhaltigkeitsinitiativen, wie der Einführung umweltfreundlicher Technologien, und deren wirtschaftlichen Nutzen verdeutlichen. Die Werkzeugbauleitung definiert die strategische Ausrichtung bezüglich der Nachhaltigkeitsziele, während die Kennzahlen die Fortschritte bei der Umsetzung dieser Ziele dokumentieren. Die relevanten Kennzahlen umfassen die Reduktion von CO₂e-Emissionen, die Steigerung der Energieeffizienz sowie den Anteil nachhaltiger Materialien. Darüber hinaus sind soziale Kennzahlen erforderlich, um die Zufriedenheit der Mitarbeitenden und das Engagement in Nachhaltigkeitsfragen zu bewerten. Die Werkzeugbauleitung benötigt Indikatoren, die aufzeigen, inwiefern die Belegschaft in nachhaltige Prozesse eingebunden ist und wie effektiv Weiterbildungsprogramme umgesetzt werden. Die drei wichtigsten Anforderungen der Werkzeugbauleitung an die Kennzahlen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Profitabilität nachhaltiger Projekte

⁵³⁵ Konsortialprojekt der WBA „Messbarmachung der Nachhaltigkeit – Kennzahlensystem für den nachhaltigen Werkzeugbau“, 2023; Konsortialprojekt der WBA „Nachhaltigkeitscontrolling – Entwicklung eines Nachhaltigkeitsberichts für den Werkzeugbau entsprechend der europäischen Berichtspflicht (CSRD)“, 2024

⁵³⁶ SUSKEY – Sustainability KPIs zur Messung und Steuerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau, Forschungsprojekt gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU): 2024-2025; Validierungen mit den Firmen: Fritz Stepper GmbH & Co. KG, Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH und ENGL Werkzeugbau GmbH

- Ressourceneffizienz auf Unternehmensebene
- Erfolg von Nachhaltigkeitsinitiativen

Die Anspruchsgruppe „**Auftragsakquise**“ umfasst die Bereiche Vertrieb und Kalkulation, wobei aufgrund der Überschneidung der Anforderungen an die Kennzahlen die Betrachtung als Einheit erfolgt. Ein zentraler Aspekt stellt die Kundenkommunikation dar, für die Kennzahlen erforderlich sind, die die Nachhaltigkeit der Entwicklung und Produktion widerspiegeln. Es lässt sich zudem ein gesteigertes Interesse der Kunden an nachhaltigen Produkten feststellen. Die Kennzahlen können ebenfalls für den Wettbewerbsvergleich herangezogen werden. Ein weiteres bedeutendes Ziel besteht in der langfristigen Kundenbindung, wobei Kennzahlen den Anteil der Kunden erfassen sollten, die aufgrund der Nachhaltigkeitsstrategie des Unternehmens zu wiederkehrenden Geschäftspartnern werden. Zudem kann die Kundenzufriedenheit hinsichtlich nachhaltiger Angebote einen entscheidenden Indikator darstellen. Ein zentraler Aspekt ist die Erfassung der Lebenszykluskosten eines Werkzeugs, einschließlich Herstellung, Energieverbrauch, Wartung und Wiederverwertung. Die Kennzahlen zeigen, wie diese Kosten in die Preisgestaltung einfließen und ermöglichen so die Erarbeitung langfristiger, wirtschaftlicher sowie nachhaltiger Lösungen. Die Kennzahlen können dokumentieren, inwiefern spezifische Kundenanforderungen – wie die Verwendung nachhaltiger Materialien oder die Reduktion von Umweltkosten – in der Preisgestaltung berücksichtigt werden. Darüber hinaus können sie den Anteil der Angebote messen, der aufgrund der Nachhaltigkeitsvorteile erfolgreich ist. Die drei wichtigsten Anforderungen der Auftragsakquise an die Kennzahlen sind:

- Langfristige Kundenzufriedenheit
- Nachhaltigkeit der Produkte im Wettbewerbsvergleich
- Gesamte Lebenszykluskosten eines Werkzeuges

Die **Werkzeugentwicklung** ist in die Abteilungen Methodenplanung und Konstruktion unterteilt, wobei sich die Anforderungen an die Kennzahlen der beiden Abteilungen überschneiden. Aus diesem Grund werden Methodenplanung und Konstruktion in der vorliegenden Arbeit gemeinsam betrachtet. Die Aufgabe der Werkzeugentwicklung besteht darin, die Funktionalität und Wirtschaftlichkeit der entwickelten Werkzeuge sicherzustellen und gleichzeitig eine minimale Umweltbelastung zu verursachen. Ein zentraler Bereich ist die Materialauswahl. Der Fokus liegt dabei auf der Verwendung von möglichst nachhaltigen Materialien, wobei erneuerbare Ressourcen bevorzugt und der Einsatz nicht erneuerbarer Ressourcen vermieden werden soll. Eine Anforderung an die Kennzahlen ist es, den Grad der Ressourcenschonung und die Nachhaltigkeit der verwendeten Materialien zu messen, wobei auch die Wiederverwendbarkeit und Recyclbarkeit von Materialien berücksichtigt werden müssen. Ein weiterer Aspekt ist die Effizienz des Materialeinsatzes, wobei die Anforderungen an die Kennzahlen eine genaue Erfassung des Materialverbrauchs beinhalten, um diesen zu optimieren und den Ausschuss in der Entwicklung zu minimieren. Dabei müssen Kennzahlen auch den Fortschritt in der Reduzierung von Materialverschwendung messen und aufzeigen, wie effizient die Materialien während des gesamten Produktionsprozesses genutzt werden.

Darüber hinaus ist die Integration einer LCA in den Entwicklungsprozess von großer Bedeutung. Die Analyse hat den Anspruch, den gesamten Lebenszyklus eines Werkzeugs abzubilden, von der Herstellung über die Nutzung bis hin zur Entsorgung oder Wiederverwertung. In

diesem Kontext stellt die Standardisierung einen entscheidenden Faktor dar, da sie die Wiederverwendbarkeit der Werkzeuge erleichtert. Darüber hinaus ist die Berücksichtigung nachhaltiger Produktionsprozesse in der Konstruktionsphase und deren kontinuierliche Optimierung erforderlich. Die Kennzahlen sollten den Energieaufwand und die Ressourceneffizienz der geplanten Fertigungsprozesse widerspiegeln, um eine möglichst ressourcenschonende und energieeffiziente Produktion zu gewährleisten. Die drei wichtigsten Anforderungen der Werkzeugentwicklung an die Kennzahlen sind:

- Energieaufwand der geplanten Fertigungsprozesse
- Effiziente Nutzung von Ressourcen
- Wiederverwendbarkeit und Recyclbarkeit der Produkte

Die **Arbeitsplanung** hat die Aufgabe, die Ressourcennutzung zu optimieren und die Prozesse so zu gestalten, dass Umweltauswirkungen minimiert und gleichzeitig die Produktivität maximiert wird. Sie unterteilt sich in die Bereiche Arbeitsvorbereitung und NC-Programmierung, wobei auch hier die Unterschiede in den Anforderungen an die Kennzahlen vernachlässigbar sind. Aus diesem Grund wird im Folgenden lediglich die Arbeitsplanung als Einheit betrachtet. Ein wichtiger Punkt ist die Energieeffizienz der geplanten Produktionsprozesse. Die Arbeitsplanung hat die Aufgabe, die effiziente Nutzung von Maschinen und Arbeitsstationen sicherzustellen, um den Energieverbrauch zu minimieren. In diesem Kontext sind Kennzahlen erforderlich, die den Energieverbrauch pro produzierten Teil oder pro Produktionseinheit messen. Ebenso ist die Planung der Maschinenlaufzeiten und deren optimale Auslastung von Relevanz. Dazu können Kennzahlen den Anteil der Maschinenkapazität, der genutzt wird, oder die Effizienz der Maschinenauslastung darstellen. Darüber hinaus sollte die Arbeitsplanung den Fokus auf die Reduktion von Stillstandszeiten und Produktionsverzögerungen legen, da diese sowohl Zeit als auch Ressourcen verschwenden. Ein weiterer wichtiger Aspekt der nachhaltigen Arbeitsplanung ist die Optimierung der Logistik und der Materialflüsse. In diesem Zusammenhang müssen Kennzahlen verwendet werden, die den Transportaufwand und den CO₂e-Ausstoß durch Material- und Werkzeugbewegungen dokumentieren, um unnötige Transporte und Materialbewegungen zu vermeiden und somit die Umweltauswirkungen zu reduzieren. Die drei wichtigsten Anforderungen der Arbeitsplanung an die Kennzahlen sind:

- Energieeffizienz der geplanten Produktionsprozesse
- Emissionen von Logistik und Materialfluss
- Auslastung der Maschinen

Die **mechanische Fertigung** ist in der Regel mit einem hohen Energie- und Ressourcenverbrauch verbunden, sodass die Optimierung des Energie- und Materialeinsatzes sowie die Verlängerung der Lebensdauer der eingesetzten Werkzeuge essenzielle Ziele darstellen. Die Erfassung der Standzeiten der eingesetzten Werkzeuge ermöglicht eine rechtzeitige Reparatur, wodurch ungeplante Ausfälle oder Neuanschaffungen reduziert werden können. Ein wesentlicher Aspekt ist die Energieeffizienz, denn in der mechanischen Fertigung werden energieintensive Maschinen und Anlagen eingesetzt. Relevante Kennzahlen sind in diesem Kontext der Energieverbrauch pro Fertigungseinheit, die Effizienz der Maschinen sowie der Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch. Die so erfassten Kennzahlen können wiederum in den Bereichen Werkzeugentwicklung und Arbeitsplanung genutzt werden. Das Ziel besteht darin,

die energieintensivsten Prozesse zu identifizieren und durch Optimierungsmaßnahmen den Energiebedarf zu senken. Einen weiteren bedeutenden Bereich stellt die Nutzung von Betriebsmitteln, wie Schmier- und Kühlmitteln, dar. Hier müssen Kennzahlen den Verbrauch dieser Mittel und deren Umweltbelastung messen, um den Einsatz zu reduzieren und umweltfreundlichere Alternativen zu fördern. Darüber hinaus ist die Integration der Entsorgung und Wiederaufbereitung dieser Mittel in die Nachhaltigkeitsstrategie von Bedeutung. Ein weiterer relevanter Bereich ist die Minimierung von Emissionen, die durch die mechanische Bearbeitung entstehen können, wie Lärm und Luftverunreinigung. Kennzahlen sollten hier den Grad der Emissionsreduzierung messen und aufzeigen, inwieweit gesetzliche Grenzwerte und interne Nachhaltigkeitsziele eingehalten werden. Die drei wichtigsten Anforderungen der mechanischen Fertigung an die Kennzahlen sind:

- Effizienz der Maschinen und Anlagen
- Messung der Umweltbelastung und Emissionen, die durch die mechanische Bearbeitung entstehen
- Messung der Werkzeugstandzeiten

Die **Montage** ist die Instanz, die Sorge trägt, dass Komponenten aus der mechanischen Fertigung und Zukaufteile zu einem funktionsfähigen Werkzeug zusammengeführt werden. Die Anforderungen an Kennzahlen in der Montage zielen demnach darauf ab, ressourcenschonende Arbeitsweisen zu fördern und den ökologischen Fußabdruck der Montageprozesse zu reduzieren. Dies umfasst die Erfassung des Materialverbrauchs sowie die Minimierung von Montageabfällen, womit sowohl der Verbrauch von Primärmaterialien als auch von Hilfsstoffen wie Schrauben, Dichtungen oder Klebmitteln adressiert wird. Die Kennzahlen sollten die Menge an Ausschuss und Abfall, die in der Montage entsteht, sowie die Recyclingquote dokumentieren. Ebenfalls kann das Verhältnis von Zukaufteilen zur Eigenproduktion gemessen werden. Für eine nachhaltige Montage ist die einfache Montier- und Demontierbarkeit von Werkzeugen wichtig, was bereits in der Konstruktion berücksichtigt werden sollte. Die Kennzahlen sollten den Zeit- und Arbeitsaufwand für die Montage, Reparaturen und das Recycling von Komponenten dokumentieren. Ein bedeutender Aspekt in diesem Zusammenhang ist das Re-Assembly. Gemäß den Grundsätzen der Kreislaufwirtschaft werden Werkzeuge und Werkzeugmaschinen entweder einer Aufwertung unterzogen oder hinsichtlich ihrer Funktionalität erweitert. Der Anteil des Re-Assembly an der Montage kann mittels einer Quote gemessen werden. Die drei wichtigsten Anforderungen der Montage an die Kennzahlen sind:

- Anteil Zukaufteile zu Eigenproduktion
- Aufwand für Reparaturen oder Recycling von Komponenten
- Erfassung einer Re-Assembly Quote

Das **Try-out** stellt die Erprobung und Feinabstimmung von Werkzeugen vor deren endgültiger Übergabe an den Kunden dar. Ziel dieser Abteilung ist die Prüfung der Werkzeuge unter realen Bedingungen, die Durchführung notwendiger Anpassungen sowie die Optimierung der Funktionsfähigkeit. Ein zentraler Aspekt im Try-out ist die Optimierung des Materialeinsatzes. In dieser Phase durchläuft das Werkzeug mehrere Iterationen, um die gewünschte Werkzeugfunktionalität sicherzustellen. In diesem Kontext sind insbesondere die Anzahl der Iterations Schleifen und der dabei eingesetzten Materialien von Relevanz, da das Ziel darin besteht, den Materialverbrauch durch präzisere Vorabplanung und Simulationen zu reduzieren. Darüber

hinaus sollte auch die Menge an Ausschuss, die während des Try-outs entsteht, dokumentiert und minimiert werden. Die Optimierung im Try-out kann die Hub- oder Schusszahl erhöhen, was wiederum die Produktivität beim Kunden steigern oder die Standzeiten der Werkzeuge erhöhen kann. Dies hat einen positiven Einfluss auf die Nachhaltigkeit. Als relevante Kennzahlen in diesem Zusammenhang könnten sich die Erhöhung der Maschinentaktung durch das Try-out oder die Erhöhung der Standzeit der Werkzeuge erweisen. Die drei wichtigsten Anforderungen des Try-outs an die Kennzahlen sind:

- Anzahl der notwendigen Iterationen
- Minimierung der Menge des Ausschusses
- Erhöhung der Produktivität durch Optimierung der Maschinentaktung

Die **Serienbetreuung** nimmt eine entscheidende Rolle für die langfristige Funktionalität und Wartung der Werkzeuge ein, wobei der Fokus auf Nachhaltigkeit im Kundendienst liegt. Dies bedeutet, dass nicht nur der reibungslose Betrieb der Werkzeuge sichergestellt werden soll, sondern auch durch ressourcenschonende und effiziente Maßnahmen zur Verlängerung der Lebensdauer und somit zur Reduzierung der Umweltbelastung beigetragen werden soll. Ein wichtiger Fokus liegt auf der Langlebigkeit der Werkzeuge. Die Anforderungen an die Kennzahlen umfassen die Erfassung der durchschnittlichen Lebensdauer der Werkzeuge sowie die Häufigkeit und den Umfang notwendiger Wartungs- oder Reparaturarbeiten. Das Ziel besteht darin, durch präventive Maßnahmen die Lebensdauer der Werkzeuge zu verlängern und ungeplante Ausfallzeiten zu minimieren. Hierbei können Kennzahlen aus dem Betrieb beim Kunden in Betracht gezogen werden, anhand derer nutzungsspezifische Wartungen vorgenommen werden können. Des Weiteren sind die Wiederverwendbarkeit und das Recycling von ausgetauschten Teilen von signifikanter Bedeutung. Eine Kennzahl könnte den Anteil der recycelten oder wiederverwendbaren Materialien im Verhältnis zum Gesamteinsatz dokumentieren. Die drei wichtigsten Anforderungen der Serienbetreuung an die Kennzahlen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Verlängerung der Lebensdauer der Werkzeuge und Umfang notwendiger Wartungs- und Reparaturarbeiten
- Wiederverwendbarkeit und Recycling von ausgetauschten Teilen
- Erhebung von Werkzeugkennzahlen aus dem Kundenbetrieb zur individuellen Anpassung der Wartung

Im Werkzeugbau obliegt dem **Projektmanagement** die Koordination der verschiedenen Phasen eines Projekts, von der Planung über die Fertigung bis hin zur Auslieferung des Werkzeugs. Als zentrale Schnittstelle nimmt das Projektmanagement einen erheblichen Einfluss auf den effizienten Einsatz und das Zusammenspiel der Ressourcen. Die Anforderungen an Kennzahlen im Projektmanagement zielen demnach darauf ab, die Nachhaltigkeit in den Projektverlauf zu integrieren, wobei ein wesentlicher Fokus auf der Ressourceneffizienz des Projekts liegt. Dies umfasst die Erfassung der genutzten Materialien, Energie und Betriebsmittel über die gesamte Projektdauer. Potenzielle Kennzahlen könnten den Anteil wiederverwendbarer Materialien oder den Verbrauch an Ressourcen über den gesamten Lebenszyklus dokumentieren. Ein weiterer zentraler Aspekt ist die Einhaltung von Zeit- und Budgetvorgaben unter Berücksichtigung nachhaltiger Praktiken. Kennzahlen sollten die Abweichung von geplanten Zeitrahmen und Budgets erfassen und zeigen, ob Nachhaltigkeitsmaßnahmen wie der

Einsatz umweltfreundlicher Materialien oder energiesparender Technologien Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit des Projekts haben. Kennzahlen könnten den Beitrag des Projekts zu den übergeordneten Nachhaltigkeitszielen des Unternehmens messen. Die drei wichtigsten Anforderungen des Projektmanagements an die Kennzahlen sind:

- Werkzeugbezogene Kennzahlen über den Projektverlauf
- Wirkung von Nachhaltigkeitsmaßnahmen im Projektverlauf
- Erfassung von Zeit und Kosten über die Projektdauer hinweg

Im Werkzeugbau übernimmt das **Nachhaltigkeitsmanagement** die Entwicklung, Umsetzung und Überwachung von Nachhaltigkeitszielen und -maßnahmen im Unternehmen, mit dem Ziel, ökologische, soziale und wirtschaftliche Aspekte in die Unternehmensstrategie zu integrieren und nachhaltige Praktiken im gesamten Werkzeugbau zu fördern. Ein Fokus liegt dabei auf der Messung der ökologischen Auswirkungen des Unternehmens. Die Anforderungen an die Kennzahlen umfassen die systematische Erfassung des Energieverbrauchs, der CO₂e-Emissionen, des Materialeinsatzes und des Abfallaufkommens. Die gewonnenen Daten dienen der Identifikation von Einsparpotenzialen, der effizienten Nutzung von Ressourcen und der kontinuierlichen Verringerung des ökologischen Fußabdrucks des Unternehmens. Das Monitoring der sozialen Dimension der Nachhaltigkeit ist ebenfalls von großer Bedeutung. In diesem Zusammenhang sind Kennzahlen zur Erfassung von Maßnahmen zur Steigerung der Mitarbeitendenzufriedenheit, zur Förderung von Diversität, Arbeitssicherheit und Schulung in nachhaltigen Praktiken erforderlich. Die so ermittelten Kennzahlen dienen dazu, die soziale Gerechtigkeit zu fördern und die Arbeitsbedingungen kontinuierlich zu verbessern. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Berichterstattung. Das Nachhaltigkeitsmanagement hat die Aufgabe, in aussagekräftigen und transparenten Berichten über die Fortschritte und Herausforderungen zu informieren. Dies kann durch die regelmäßige Erstellung von Nachhaltigkeitsberichten nach anerkannten Standards wie GRI oder DNK gewährleistet werden, wobei die relevanten Kennzahlen zur Anwendung kommen. Das Risikomanagement und die Krisenprävention sind ebenfalls zentrale Aufgaben des Nachhaltigkeitsmanagements. Hierzu zählt die Identifikation und Minderung ökologischer und sozialer Risiken, wie Ressourcenknappheit, Umweltkatastrophen oder potenzieller Reputationsschäden durch Verstöße gegen Arbeitsrechte, insbesondere entlang der Lieferkette. Die Anforderungen an die Kennzahlen umfassen in diesem Kontext die Bewertung der Resilienz des Unternehmens gegenüber solchen Risiken und die Effektivität präventiver Maßnahmen. Die drei wichtigsten Anforderungen des Nachhaltigkeitsmanagements an die Kennzahlen lauten wie folgt:

- Systematische Erfassung von Energieverbrauch, CO₂e-Emissionen, Materialeinsatz und Abfallaufkommen
- Messung der Mitarbeitendenzufriedenheit
- Effektivität präventiver Maßnahmen gegenüber ökologischen und sozialen Risiken

Im Werkzeugbau sind die **Mitarbeitenden und Facharbeitenden** unmittelbar an der operativen Umsetzung der Produktionsprozesse beteiligt und haben durch ihre tägliche Arbeit einen direkten Einfluss auf die Ressourcennutzung, die Prozessqualität und die Einhaltung nachhaltiger Prinzipien. Aufgrund der im Werkzeugbau üblichen Fertigung von kleinen Stückzahlen kommt den qualifizierten Mitarbeitenden eine größere Bedeutung zu als in anderen produzie-

renden Branchen. Kennzahlen sollten den Energieverbrauch der von Facharbeitenden genutzten Maschinen und Werkzeuge dokumentieren. Das Ziel besteht darin, die Facharbeitenden für das Thema zu sensibilisieren, energieeffiziente Arbeitsweisen anzuwenden und unnötigen Energieverbrauch sowie Ressourcenverschwendung zu vermeiden. Dies kann beispielsweise durch rechtzeitiges Abschalten von Maschinen und durch die optimale Nutzung von Produktionszeiten und Materialien geschehen. Ein weiteres wesentliches Kriterium stellt die Qualität der Arbeit dar, die sich anhand der Fehlerhäufigkeit und der Nacharbeitsquote erfassen lässt. Diese Werte sind nicht nur Indikatoren für die Prozessqualität, sondern auch für die Ressourcenschonung, da weniger Korrekturen einen geringeren Material- und Energieverbrauch bedeuten. Gleichzeitig können solche Kennzahlen eine Kultur der kontinuierlichen Verbesserung fördern sowie für präzises Arbeiten sensibilisieren. Kennzahlen der sozialen Dimension, wie etwa angebotene und durchgeführte Gesundheits- und Fortbildungsprogramme, können als Kennzahlen dokumentiert und den Mitarbeitenden bereitgestellt werden. Diese Kennzahlen können in diesem Kontext zwei Funktionen übernehmen: Einerseits dienen sie der reinen Information, die auf die Programme aufmerksam macht und zur Teilnahme anregen. Andererseits können sie durch ein umfangreiches Angebot zur Steigerung der Mitarbeitendenzufriedenheit beitragen. Die drei wichtigsten Anforderungen der Mitarbeitenden und Facharbeitenden an die Kennzahlen sind:

- Energieverbrauch der von Facharbeitenden genutzten Maschinen und Werkzeuge
- Angebotene und durchgeführte Gesundheits- und Fortbildungsprogramme
- Effizienz am Arbeitsplatz

Eine tabellarische Übersicht der jeweiligen Anforderungen, die in den vorangegangenen Ausführungen detailliert dargelegt wurden, findet sich in Tabelle 5.4. Die Anforderungen der zuvor identifizierten internen Anspruchsgruppen sind somit definiert. Auf dieser Basis können anspruchsgerechte Darstellungsformen zur Kommunikation der Informationen aus dem entwickelten Kennzahlensystem ausgearbeitet werden.

Tabelle 5.4: Übersicht der internen Anspruchsgruppen des Werkzeugbaus und deren Anforderungen

Anspruchsgruppe	Anforderungen
Werkzeugbauleitung	Aggregierte Kennzahlen aller drei Dimensionen der Nachhaltigkeit auf Unternehmensebene
Auftragsakquise	Kundenrelevante Kennzahlen, die nachhaltige Kundenakquise, den Erfolg nachhaltiger Angebote und die Kundenzufriedenheit messen
Werkzeugentwicklung	Anteil nachhaltiger Materialien, geplante Lebenszyklen und Ressourceneffizienz

Arbeitsplanung	Integration nachhaltiger Produktionsabläufe, Optimierung von Rüstzeiten und Minimierung von Leerlaufzeiten
Mechanische Fertigung	Messung des Energieverbrauchs, der Emissionen, des Abfalls und des Produktionsausschusses zur Steigerung der Ressourceneffizienz
Montage	Anteil des Re-Assembly und dessen Beitrag zur Ressourcenschonung
Try-out	Anzahl der Iterationen und Zeit bis zur Marktreife, ergänzt durch die Messung von Effizienzsteigerungen der Werkzeuge.
Serienbetreuung	Messung der Lebensdauerverlängerung durch Wartung, Reparatur und Serviceeffizienz
Projektmanagement	Aggregierte projektbezogene Kennzahlen zur Einhaltung von Zeit-, Kosten- und Nachhaltigkeitszielen
Nachhaltigkeitsmanagement	Kennzahlen zur Überwachung und Einhaltung von Nachhaltigkeitsstandards sowie zur Bewertung von Einsparungen bei Ressourcen und Emissionen, sowie zur Erstellung von Nachhaltigkeitsberichten
Mitarbeitende und Facharbeitende	Messung der Material- und Energieeffizienz bei der operativen Tätigkeit am Arbeitsplatz, sowie die Beteiligung an Fortbildungen

5.4.4 Gestaltung einer anforderungsgerechten Kommunikation

In diesem Kapitel wird eine Darstellungsform zur Kommunikation des in Kapitel 5.2 entwickelten Kennzahlensystems beschrieben. Zuvor wurden die Anforderungen der Anspruchsgruppen an die Kennzahlen in Kapitel 5.4.3 identifiziert. Aufbauend auf diesen Anforderungen werden im Folgenden der Anspruch an die Darstellung beschrieben, der Aufbau des Visualisierungskonzepts erklärt und eine geeignete Darstellungsform vorgestellt. Das Ziel besteht darin, eine verständliche, übersichtliche und praxisgerechte Visualisierung zu schaffen, die es den Anwendenden ermöglicht, die Nachhaltigkeitsleistung des Werkzeugbaus auf einen Blick zu erfassen und gezielte Maßnahmen abzuleiten. In diesem Zusammenhang werden unterschiedliche Darstellungsformate hinsichtlich ihrer Eignung geprüft und eine passende Lösung entwickelt. Darüber hinaus wird erörtert, wie die verschiedenen Nachhaltigkeitsdimensionen – ökologisch, ökonomisch und sozial – in der Visualisierung integriert und gewichtet dargestellt werden können. Die Entwicklung der Darstellungsform bildet somit eine zentrale Grundlage für die praktische Anwendbarkeit des Kennzahlensystems.

5.4.4.1 Anspruch an die Visualisierung der Kennzahlen

Die visuelle Darstellung sollte durch Einfachheit und Klarheit überzeugen, wobei auf überflüssige visuelle Elemente, die von der Kerninformation ablenken, verzichtet werden muss. Grafiken sind so zu gestalten, dass sie intuitiv und leicht verständlich sind. Die gezielte Nutzung von Farben ermöglicht die Hervorhebung von Anomalien und die Betonung wichtiger Informationen. Die Gliederung der Informationen nach ihrem Informationsgehalt ist essenziell. Der Anspruch an die Darstellung hängt von der jeweiligen Rolle der Mitarbeitenden ab, die sich in operative, führende oder strategische Funktionen einteilen lassen. Auf der Prozessebene von Abteilungsleitenden können diese Rollen teilweise ineinander übergehen. Auf Mitarbeitendenbene ist die Rolle hingegen rein operativ, sodass die Visualisierung möglichst einfach, aktuell, übersichtlich und schnell erfassbar zu gestalten ist. Für die Abteilungsleiterebene gelten dieselben Anforderungen, wobei in diesem Kontext zudem die Möglichkeit besteht, aggregierte Kennzahlen einzusetzen, die einen Überblick bieten. Entscheidend ist dabei, dass daraus unmittelbar Handlungsmöglichkeiten abgeleitet werden können. Die Ebene der Werkzeugbauleitung beziehungsweise des Managements ist demgegenüber überwiegend strategisch und führend. In dieser Funktion ist eine möglichst aggregierte Darstellung der Daten erforderlich, um Bereiche, in denen Maßnahmen notwendig sind, schnell identifizieren zu können.⁵³⁷ Für diese Bereiche sollten detaillierte Ansichten zur Verfügung stehen, in denen nicht aggregierte Kennzahlen oder andere spezifische Darstellungen abrufbar sind.

5.4.4.2 Darstellungsformen der Kennzahlen

Die Kennzahlen sollen auf einer Scorecard für jede Anspruchsgruppe individuell an deren Ansprüche angepasst dargestellt werden, wobei die Diagrammtypen entsprechend zu wählen sind. Diese sind jedoch stark von den Kennzahlen abhängig. Die Kennzahlen werden nach Arten unterteilt in: Quote, Anzahl, Verhältnis, Rate, Differenz und Entscheidung nach „Ja“ oder „Nein“. Diese Unterteilung ist jedoch nicht direkt auf die Darstellungsform beziehungsweise auf den Diagrammtyp übertragbar. Darüber hinaus ist bei der Wahl der Diagrammtypen zu berücksichtigen, dass die Daten nach ihrer zeitlichen Relevanz bewertet werden. In einigen Fällen kann es sinnvoll sein, ein Liniendiagramm der aktuellen Kennzahl hinzuzufügen, um eine Anomalie zu erkennen oder einen Trend abzuschätzen. Im Folgenden werden die relevanten Diagrammtypen vorgestellt, welche auf der Scorecard zusammengestellt werden können. Die Diagrammtypen sind in Feldern definierter Größe dargestellt, um eine einheitliche Darstellung auf der Scorecard zu gewährleisten.

Der Aufbau des Kennzahlenfelds „**Liniendiagramm**“ ist in Abbildung 5.57 dargestellt. Im oberen Bereich befindet sich der Name der entsprechenden Kennzahl, der eine prägnante Orientierung ermöglicht, wie im Beispiel „Arbeitsunfälle“. Direkt darunter wird die zentrale Kennzahl in großer Schrift angezeigt. Um auffällige Abweichungen vom Zielwert zu betonen, könnte diese Kennzahl farblich hervorgehoben werden, beispielsweise in Rot für kritische Werte. Das

⁵³⁷ Vgl. Barton (Geschäftsprozesse): 2017, S. 87–90.

unterhalb der Kennzahl dargestellte vereinfachte Liniendiagramm veranschaulicht den zeitlichen Verlauf der Kennzahl, wodurch Trends, saisonale Muster oder ungewöhnliche Schwankungen unmittelbar evident werden. Ergänzend wird unter dem Diagramm die prozentuale Abweichung zum Vormonat dargestellt, um signifikante Veränderungen zu unterstreichen. Die Kombination aus zentraler Kennzahl, Verlaufsdigramm und prozentualer Veränderung ermöglicht es, Schwankungen auf einen Blick zu erkennen und fundierte Entscheidungen oder Maßnahmen abzuleiten.

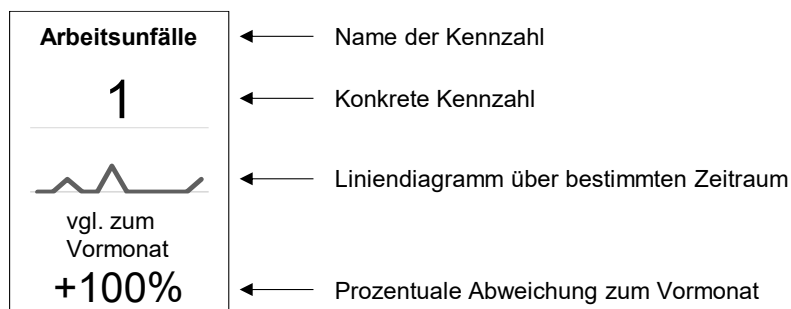


Abbildung 5.57: Aufbau des Kennzahlenfelds „Liniendiagramm“⁵³⁸

Der Aufbau des Kennzahlenfelds „**Kreisdiagramm**“ ist in Abbildung 5.58 dargestellt. Im oberen Teil des Kennzahlenfelds ist der Name der Kennzahl vermerkt. Anstelle der Darstellung der genauen Kennzahl wird ein Kreisdiagramm präsentiert, welches die anteilige Verteilung der Daten hervorhebt. In diesem Fall wird die Diversity-Quote dargestellt, wobei der innere Kreis den Ist-Zustand und der äußere, dünnere Kreis den Soll-Zustand repräsentieren. Das Ziel besteht darin, durch die Visualisierung der Kennzahl eine unmittelbare Handlungsempfehlung zu generieren. Das vorliegende Kennzahlenfeld veranschaulicht, dass in einer Abteilung eine Frauenquote von 50 % angestrebt wird und verdeutlicht durch die Differenz zum Ist-Zustand den erforderlichen Handlungsbedarf. Zur besseren Übersichtlichkeit wurde die Legende innerhalb des Kreises aufgetragen.

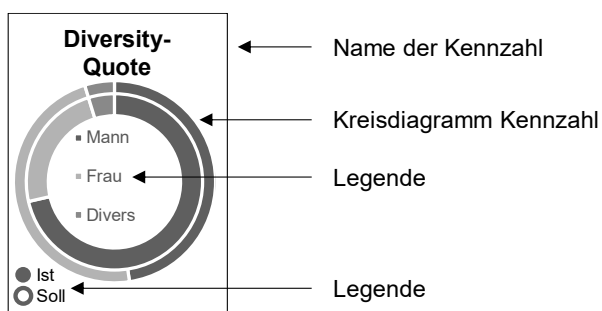


Abbildung 5.58: Aufbau des Kennzahlenfelds „Kreisdiagramm“⁵³⁹

Das Kennzahlenfeld „**Balkendiagramm**“ ist in Abbildung 5.59 dargestellt und folgt den vorausgegangenen Kennzahlenfeldern, indem im oberen Teil der Name der Kennzahl steht. Im Fokus

⁵³⁸ Eigene Darstellung

⁵³⁹ Eigene Darstellung

steht ein Balkendiagramm, welches mit einer Ampelskala hinterlegt ist. Unter dem Balkendiagramm ist die konkrete Kennzahl dargestellt. Es wird zwischen zwei Diagrammtypen unterschieden, die in Abhängigkeit von der Kennzahl gewählt werden. Dies ist dadurch bedingt, dass ein hoher Wert der Kennzahl eine positive Assoziation hervorruft, während ein negativer Wert eine negative Assoziation auslöst. Dieser Umstand ist visuell bedingt: Würde die Kennzahl beispielsweise Gesetzesverstöße in der rechten Darstellungsform aufgetragen, ergäbe sich ein hoher Balken, der auf den ersten Blick eine hohe Anzahl an Verstößen erwecken würde. Dieser Effekt ist zu vermeiden, weshalb jeder Kennzahl entsprechend ihrer Charakteristik im entsprechenden Diagrammtyp zugeordnet werden muss.

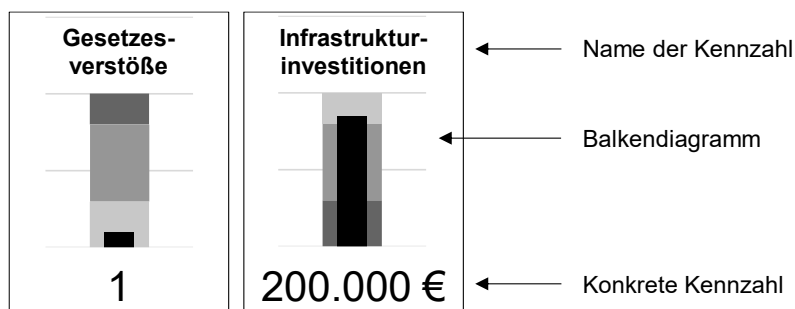


Abbildung 5.59: Aufbau des Kennzahlenfelds „Balkendiagramm“⁵⁴⁰

Das Kennzahlenfeld „**Spinnendiagramm**“ ist in Abbildung 5.60 beispielhaft dargestellt. Im Vergleich zu den kleineren Kennzahlenfeldern ermöglicht dieses Format die simultane Darstellung von bis zu acht Kennzahlen. Im oberen Bereich des Kennzahlenfeldes findet sich die Angabe des übergeordneten Themengebiets der Kennzahlen, in diesem Fall „Ressourcenschonung“. Das zentrale Element bildet ein Spinnendiagramm, in dem jede Achse eine spezifische Kennzahl repräsentiert. Sowohl eine Soll- als auch eine Ist-Kurve sind angegeben, wodurch eine unmittelbare Überprüfung der Zielerreichung möglich ist. Im unteren Bereich des Feldes ergänzt eine tabellarische Übersicht das Diagramm. Die Tabelle enthält die Positionsbezeichnung („E2.2.2“) der im Diagramm dargestellten Kennzahlen sowie deren vollständige Bezeichnung, was eine Interpretation der Daten erleichtert. Das Kennzahlenfeld bietet mehrere Vorteile: Es ermöglicht eine übersichtliche Darstellung mehrerer Kennzahlen in einem einzigen Diagramm und gibt einen schnellen Überblick über den Status der Zielerreichung. Die Gegenüberstellung von Soll- und Ist-Werten ermöglicht die unmittelbare Identifikation von Abweichungen, was eine intuitive Wahrnehmung von Defiziten oder Überschreitungen begünstigt. Dies wiederum fördert eine zeitnahe Ableitung von Handlungsbedarfen und eine priorisierte Herangehensweise bei der Umsetzung von Maßnahmen. Das Spinnendiagramm erlaubt zudem eine ganzheitliche Betrachtung der Kennzahlen, da Wechselwirkungen und Zusammenhänge zwischen den einzelnen Parametern direkt ersichtlich sind. Die grafische Darstellung unterstützt die Kommunikation der Ergebnisse und macht die Inhalte auch für Zielgruppen ohne tiefgehendes Fachwissen leicht verständlich.

⁵⁴⁰ Eigene Darstellung

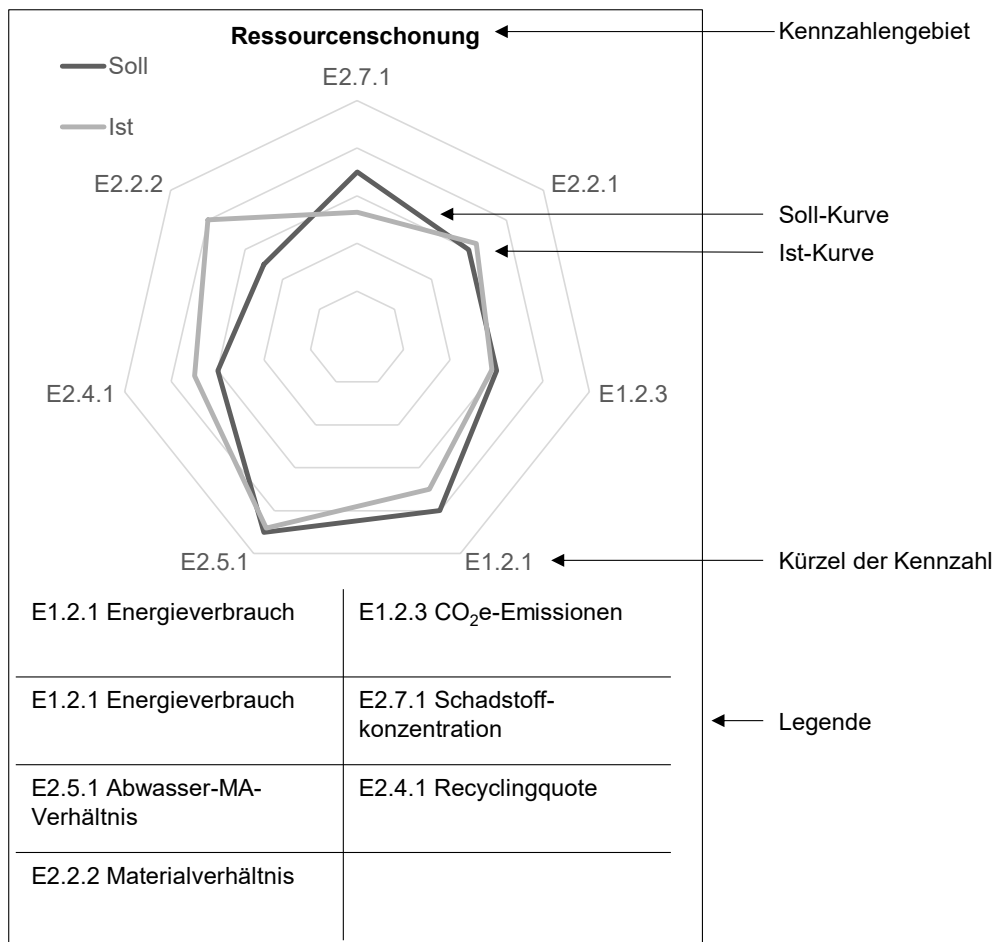


Abbildung 5.60: Aufbau des Kennzahlenfelds „Spinnendiagramm“⁵⁴¹

Das Kennzahlenfeld „**Sankey-Diagramm**“ findet sich in Abbildung 5.61 wieder. Im oberen Teil ist dessen Name vermerkt, wobei der Fokus auf dem Sankey-Diagramm selbst liegt. Dieses stellt dynamische Flüsse in Pfeilen dar, wobei der Input auf der linken Seite und der Output auf der rechten Seite positioniert ist. Die Breite der Pfeile ist dabei proportional zu der entsprechenden Kennzahl, welche am Pfeilende aufgeführt wird. Die exemplarische Darstellung ist einfach gehalten, wobei grundsätzlich auch der Input aus mehreren Strömen zusammengesetzt sein kann. Durch die Visualisierung der Flussmengen können Bereiche mit hohen Verlusten oder Ineffizienzen leicht identifiziert werden, was die Kommunikation zwischen technischen Experten und nicht-technischen Anspruchsgruppen erleichtert. Das Diagramm vereinfacht die Darstellung komplexer Datenströme und macht sie für ein breites Publikum verständlich.

⁵⁴¹ Eigene Darstellung

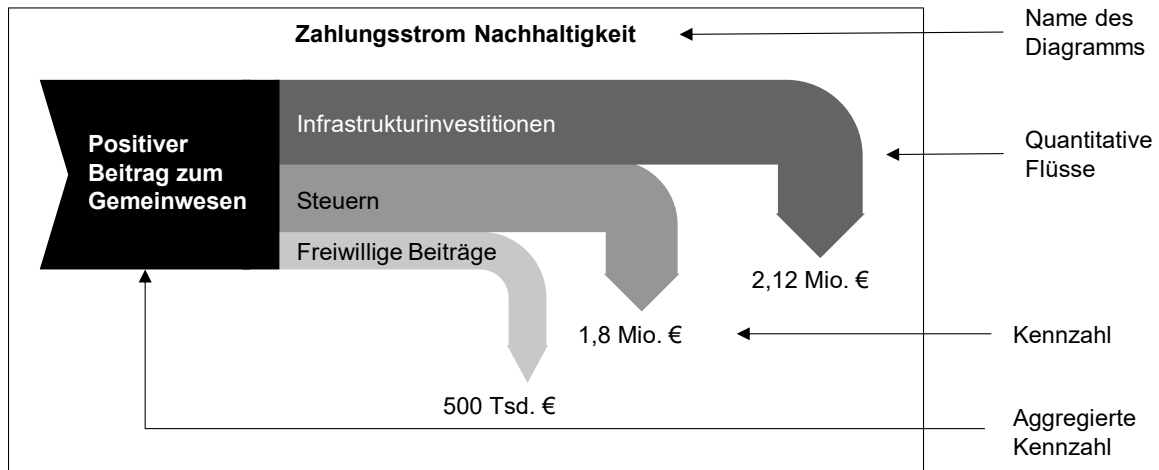


Abbildung 5.61: Aufbau des Kennzahlenfelds „Sankey-Diagramm“⁵⁴²

Das Kennzahlenfeld „Ziel und Erfolgsfaktoren“ ist in Abbildung 5.62 dargestellt. In diesem Feld werden die Ziele und Erfolgsfaktoren aufgeführt, wobei das Ziel im oberen Teil als Überschrift genannt und auf der linken Seite genauer beschrieben wird. In der rechten oberen Ecke befindet sich die Zuordnung des Zieles zu einer der Nachhaltigkeitsdimensionen in Form eines Piktogramms, das entsprechend der Corporate Identity (CI) des jeweiligen Unternehmens für die Dimensionen Ökologie, Ökonomie, Soziales und Governance zu wählen ist. Die Erfolgsfaktoren geben eine Maßnahme oder Bedingung vor, die dazu beiträgt, das Ziel zu erreichen. Die Erfolgsfaktoren, die in dem Feld aufgeführt sind, sollen abhängig vom Zielfortschritt gewählt werden, wobei die Faktoren zur vollständigen Erfüllung des Ziels aufgeführt werden. Unter den Erfolgsfaktoren befindet sich ein Fortschrittsbalken, der den aktuellen Stand anzeigt. Die Beschriftung ist abhängig von dem Stand und gliedert sich in die Kategorien: „noch nicht erreicht“, „auf dem Weg“ und „erreicht“.

⁵⁴² Eigene Darstellung

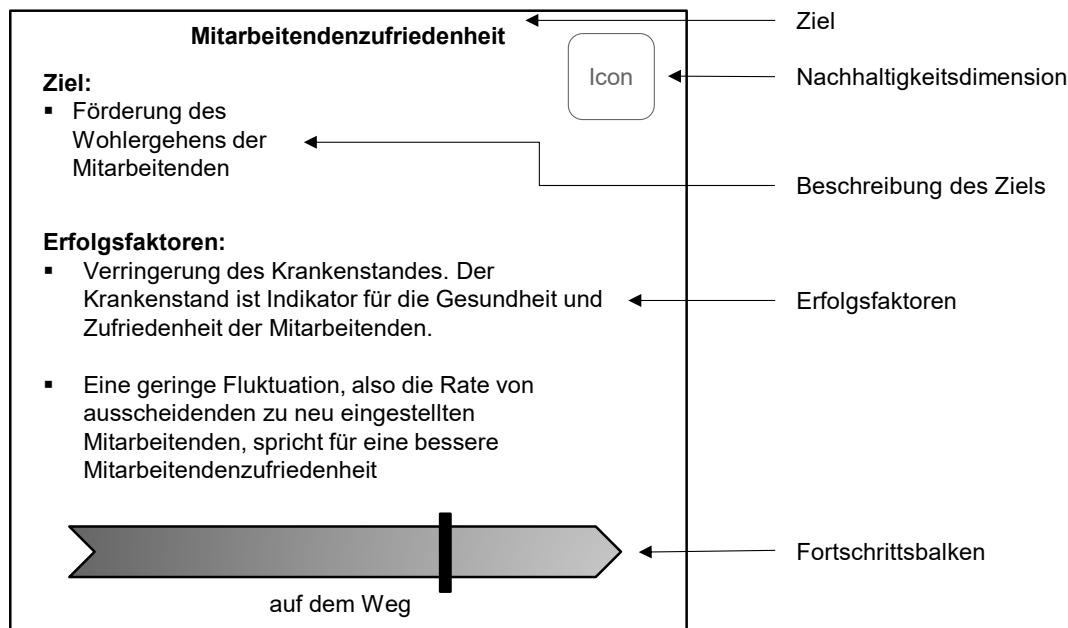


Abbildung 5.62: Aufbau des Kennzahlenfelds „Ziel und Erfolgsfaktoren“⁵⁴³

5.4.4.3 Zuordnung der Kennzahlen und deren Darstellungsform zu den Anspruchsgruppen

In Kapitel 5.2 erfolgt die Zuordnung der relevanten Kennzahlen zu den jeweiligen Anspruchsgruppen sowie zu empfohlenen Darstellungsformen. Dabei ist zu beachten, dass einige Kennzahlen aufgrund ihrer vielfältigen Einsatzmöglichkeiten in unterschiedlichen Kontexten mehreren Darstellungsformen zugeordnet werden können. Die spezifischen Anforderungen an die Darstellung, wie etwa der Aspekt des Zeitbezugs, die Detaillierung oder die Vergleichbarkeit mit anderen Werten, können sich demnach je nach Anspruchsgruppe unterscheiden. Die Zuordnung zu einer bestimmten Darstellungsform stellt somit eine Empfehlung dar, die jedoch flexibel an die spezifischen Bedürfnisse im jeweiligen Unternehmen angepasst werden kann. Eine Zuordnung der Kennzahlen zu spezifischen Bedürfnissen der jeweiligen Anspruchsgruppe erfolgt nicht in jedem Fall. Eine exakte Zuordnung des Spinnendiagramms und Sankey-Diagramms ist nicht möglich, da diese Diagramme die Verwendung mehrerer Kennzahlen als Auswahl oder aggregiert zulassen.

Gemäß den in Kapitel 5.4.3. definierten Anforderungen erfolgt die Zuordnung der Stakeholder unter Berücksichtigung einer gegebenenfalls erforderlichen Mehrfachzuordnung, die bei einer Interaktion verschiedener Anspruchsgruppen mit einer Kennzahl vorstellbar ist. Es sei darauf hingewiesen, dass Kennzahlen sowohl abteilungs- als auch projektbezogen sein können. So kann beispielsweise der Gesamtenergieverbrauch des Werkzeugbaus als Ganzes erfasst und

⁵⁴³ Eigene Darstellung

dargestellt werden, während gleichzeitig auch der Energieverbrauch der mechanischen Fertigung separat betrachtet wird, um spezifische Optimierungspotenziale aufzuzeigen. Die flexible Handhabung der Kennzahlen und Darstellungsformen gewährleistet, dass die Anwendenden die für sie relevanten Informationen in der für sie besten Form erhalten, um fundierte Entscheidungen treffen zu können. Die Zuordnung erfolgt aus Gründen der Übersichtlichkeit in Tabelle 7.3 im Anhang. In Abbildung 5.63 sind exemplarisch die Informationen für die Kommunikation der Kennzahl „Schusszahl-Materialverhältnis“ dargestellt. Diese befinden sich unter dem zweiten Aufzählungspunkt in der folgenden Form: „Anspruchsgruppen | Kennzahlenfeld [Art]“. Somit sind jeder Kennzahl des Kennzahlensystems die Anspruchsgruppen, Kennzahlenfelder und die Art der Kennzahl zugeordnet.

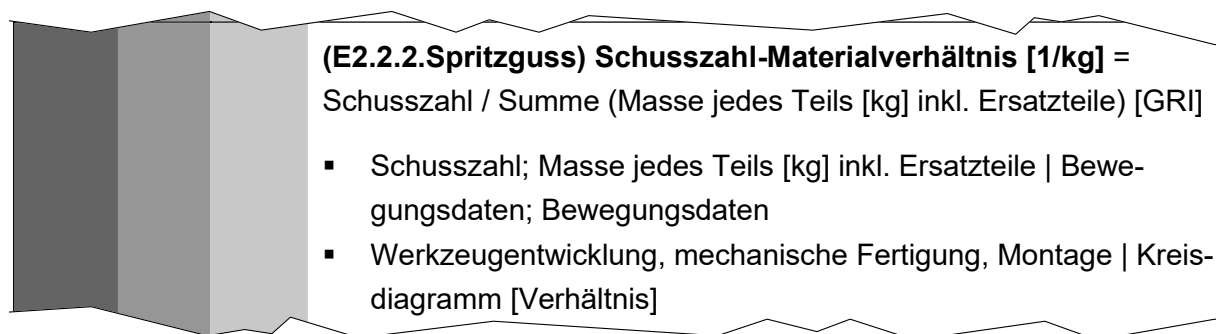


Abbildung 5.63: Auszug aus der der Tabelle mit der exemplarischen Definition, Datengrundlage und Kommunikation der Kennzahl „Schusszahl-Materialverhältnis“⁵⁴⁴

5.4.4.4 Exemplarische Darstellung je Hierarchieebene des Werkzeugbaus

In diesem Abschnitt der Arbeit werden exemplarische Scorecards für die Anspruchsgruppen Werkzeugbauleitung (1. Ebene), mechanische Fertigung und Nachhaltigkeitsmanagement (2. Ebene) sowie die Mitarbeitenden der Mechanischen Fertigung (3. Ebene) vorgestellt. Die Zuordnung erfolgt gemäß Kapitel 5.4.4.3. Die Visualisierung wurde so gestaltet, dass sie möglichst einfach und präzise ist, wobei die Anzahl der Kennzahlen eine bedeutende Rolle spielt. Die Auswahl ist in hohem Maße vom jeweiligen Unternehmen und dessen Fokus abhängig, weshalb an dieser Stelle lediglich eine exemplarische Auswahl getroffen wird, die je nach Anspruch des Anwendenden variiert werden kann.

In Abbildung 5.64 wird eine exemplarische Scorecard für die **Werkzeugbauleitung** beziehungsweise das Management veranschaulicht. Für eine ganzheitliche Betrachtung wurden Kennzahlen aus jeder Dimension ausgewählt, wobei die Darstellung auf Unternehmensebene erfolgt und die Kennzahlen so gewählt wurden, dass Defizite oder Erfolge klar aufzeigt werden. Die Verwendung von Sankey-Diagrammen ermöglicht die anschauliche Darstellung von Fi-

⁵⁴⁴ Eigene Darstellung

finanz- oder Energieströmen, wodurch komplexe Zusammenhänge auf einfache Weise visualisiert werden. In dem vorliegenden Beispiel erfolgt eine detaillierte Aufschlüsselung des Energieverbrauchs in der Werkzeugproduktion, der in einem Werkzeugbaubetrieb typischerweise der Bereich mit dem höchsten Energiebedarf ist. Die Aufschlüsselung des Energieverbrauchs nach erneuerbaren und fossilen Energieträgern ermöglicht die Identifikation gezielter Einspar- und Optimierungspotenziale. Zusätzlich werden in der Scorecard weitere relevante Kennzahlen dargestellt, die sich auf wirtschaftliche, soziale und ökologische Aspekte beziehen. Exemplarisch seien die Innovationsrate, die ReUse- oder Diversity-Quote genannt. Diese Kennzahlen sind darauf ausgelegt, den Status quo in Relation zu definierten Zielwerten (Soll-Werten) zu setzen, wodurch Fortschritte und Handlungsbedarf schnell ersichtlich werden.

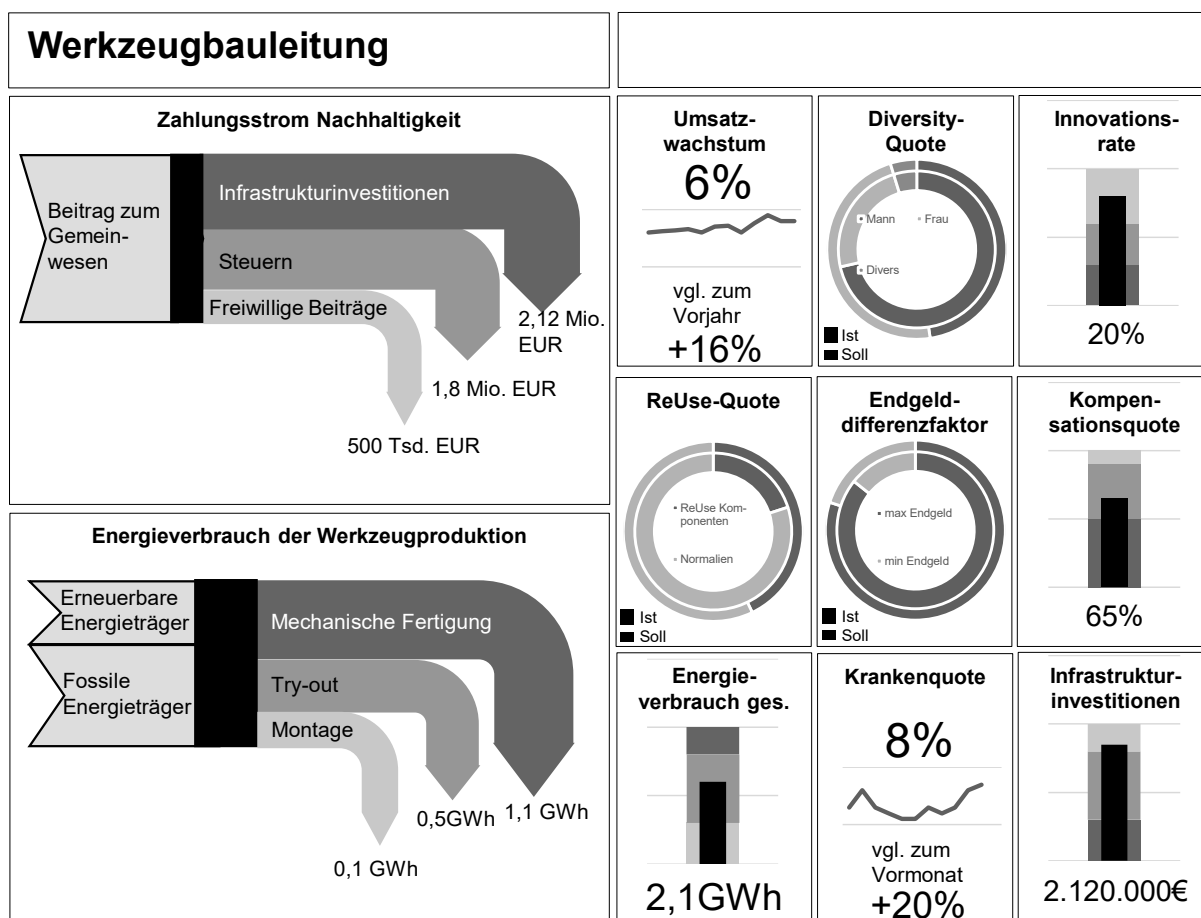


Abbildung 5.64: Scorecard Werkzeugbauleitung (1. Hierarchieebene)⁵⁴⁵

Die in Abbildung 5.65 veranschaulichte Scorecard auf der **Abteilungsebene**, in diesem Fall für die mechanische Fertigung, verdeutlicht, dass die gewählten Kennzahlen in hohem Maße von den spezifischen Unternehmensmerkmalen abhängigen. Der Fokus liegt auf ökologischen Kennzahlen, während zusätzlich soziale Kennzahlen aufgeführt werden, die Rückschlüsse auf die Mitarbeitendenzufriedenheit geben und Defizite aufzeigen. Das Kennzahlenfeld zum Zielbild konzentriert sich auf die Ressourcenschonung, was der Abteilungsleitung die Relevanz

⁵⁴⁵ Eigene Darstellung

des Nachhaltigkeitscontrollings verdeutlicht und sie für das Thema sensibilisiert. Gleichzeitig können an den Erfolgsfaktoren Stellgrößen zur Verbesserung abgelesen werden. Die Auswahl des Kennzahlenfelds erfolgt je nach Fokus und Verbesserungspotenzial.

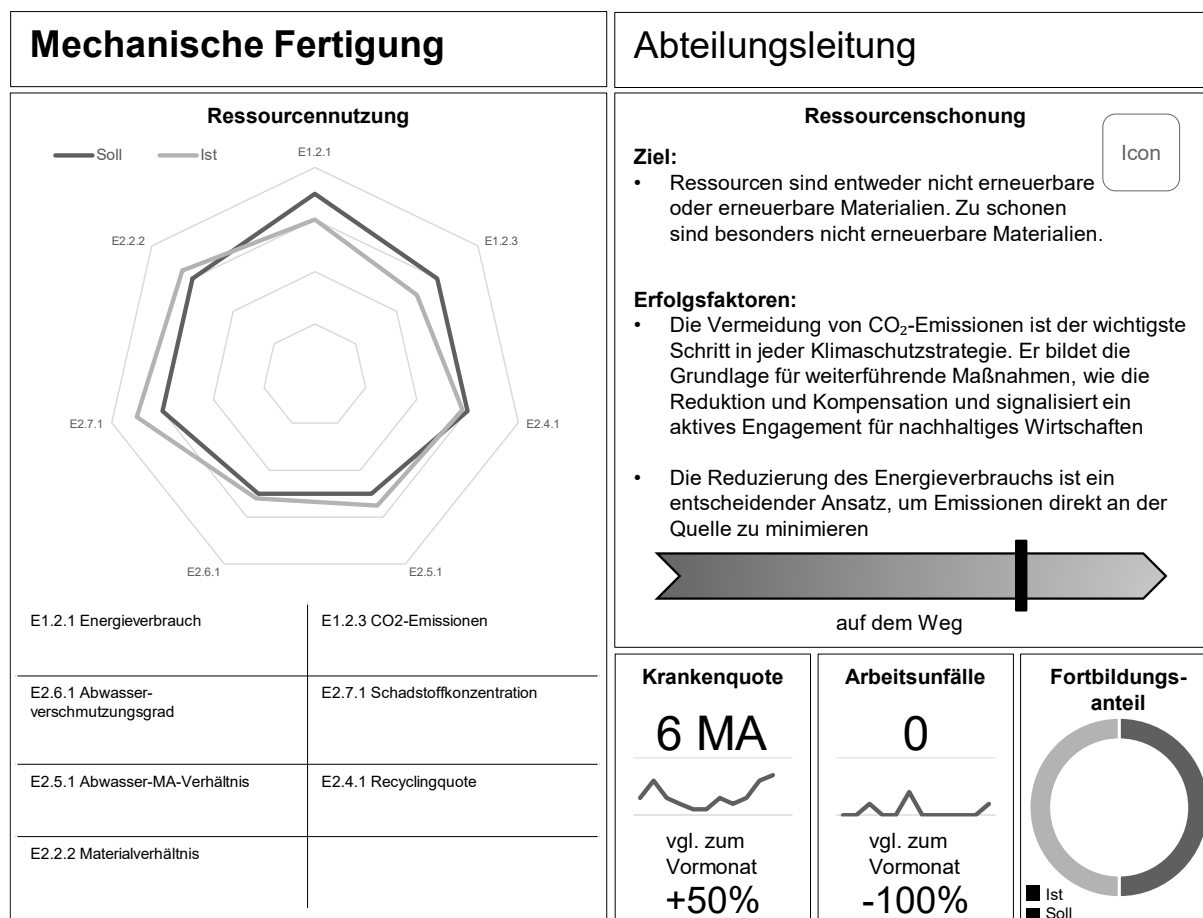


Abbildung 5.65: Scorecard für die Abteilungsleitung der mechanischen Fertigung (2. Hierarchieebene)⁵⁴⁶

In Abbildung 5.66 wird eine exemplarische Scorecard für **die Mitarbeitenebene** der mechanischen Fertigung dargestellt. Es sei angemerkt, dass die gewählten Kennzahlen erneut exemplarisch sind und in hohem Maße von dem jeweiligen Unternehmen abhängig sind. Bei der Gestaltung der Scorecard wurde insbesondere darauf geachtet, diese möglichst einfach und kompakt zu halten, was sich in der Anzahl der Kennzahlen sowie der Gestaltung der einzelnen Kennzahlenfelder widerspiegelt. So wurden insgesamt sechs Kennzahlenfelder sowie ein Feld zum Zielbild gewählt, wobei das Zielbild dem der Darstellung für die Abteilungsleitung entspricht. Die Intention dieser Vorgehensweise besteht in der Sensibilisierung der Mitarbeitenden für die Nachhaltigkeitsziele und deren operative Umsetzung. Die Ermittlung der Kennzahlen erfolgt auf Abteilungsebene, wobei auch die Erstellung auf Maschinenebene für den

⁵⁴⁶ Eigene Darstellung

einzelnen Mitarbeitenden möglich ist. Der Fokus liegt hierbei auf den ökologischen und sozialen Kennzahlen, die der Information und Motivation der Mitarbeitenden dienen. Die Auswahl positiver sozialer Kennzahlen kann folglich zur Steigerung der wahrgenommenen Mitarbeiterzufriedenheit beitragen.

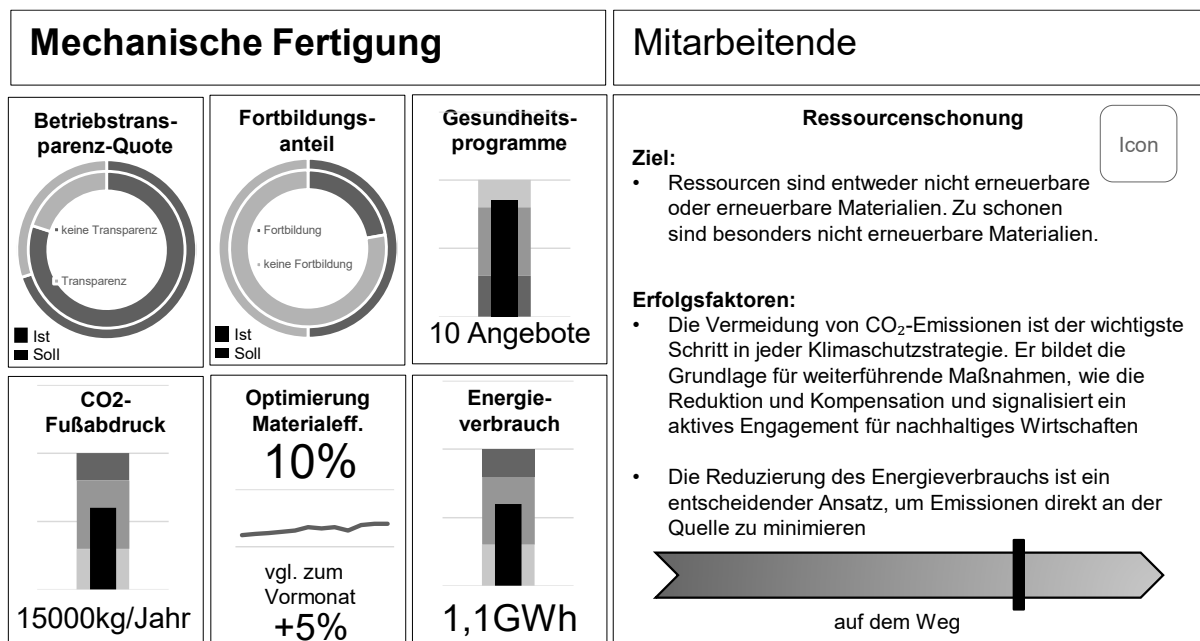


Abbildung 5.66: Scorecard für Mitarbeitende der mechanischen Fertigung (3. Hierarchieebene)⁵⁴⁷

In Abbildung 5.67 wird eine beispielhafte Scorecard für das **Nachhaltigkeitsmanagement** dargestellt, wobei die gewählten Kennzahlen ebenfalls als exemplarisch zu betrachten sind. Im Gegensatz zu den anderen Darstellungen werden hier Kennzahlenfelder mit Zielbildern zu allen drei Nachhaltigkeitsdimensionen gegenübergestellt, da das Nachhaltigkeitsmanagement unter anderem für die Überwachung und Umsetzung der Ziele verantwortlich ist. Der Fortschrittsbalken veranschaulicht den aktuellen Stand der Zielerreichung und den noch bestehenden Handlungsbedarf. Die Anzahl der Kennzahlenfelder ist bewusst überschaubar gehalten, um eine gezielte Darstellung von Defiziten und Erfolgen zu ermöglichen. Das Nachhaltigkeitsmanagement hat für detailliertere Auswertungen Zugriff auf alle relevanten Kennzahlen, sowohl zur Erfassung von Defiziten als auch zur Erstellung des Nachhaltigkeitsberichts. Dabei können die Zielbilder der Scorecard als Orientierungshilfe dienen.

⁵⁴⁷ Eigene Darstellung

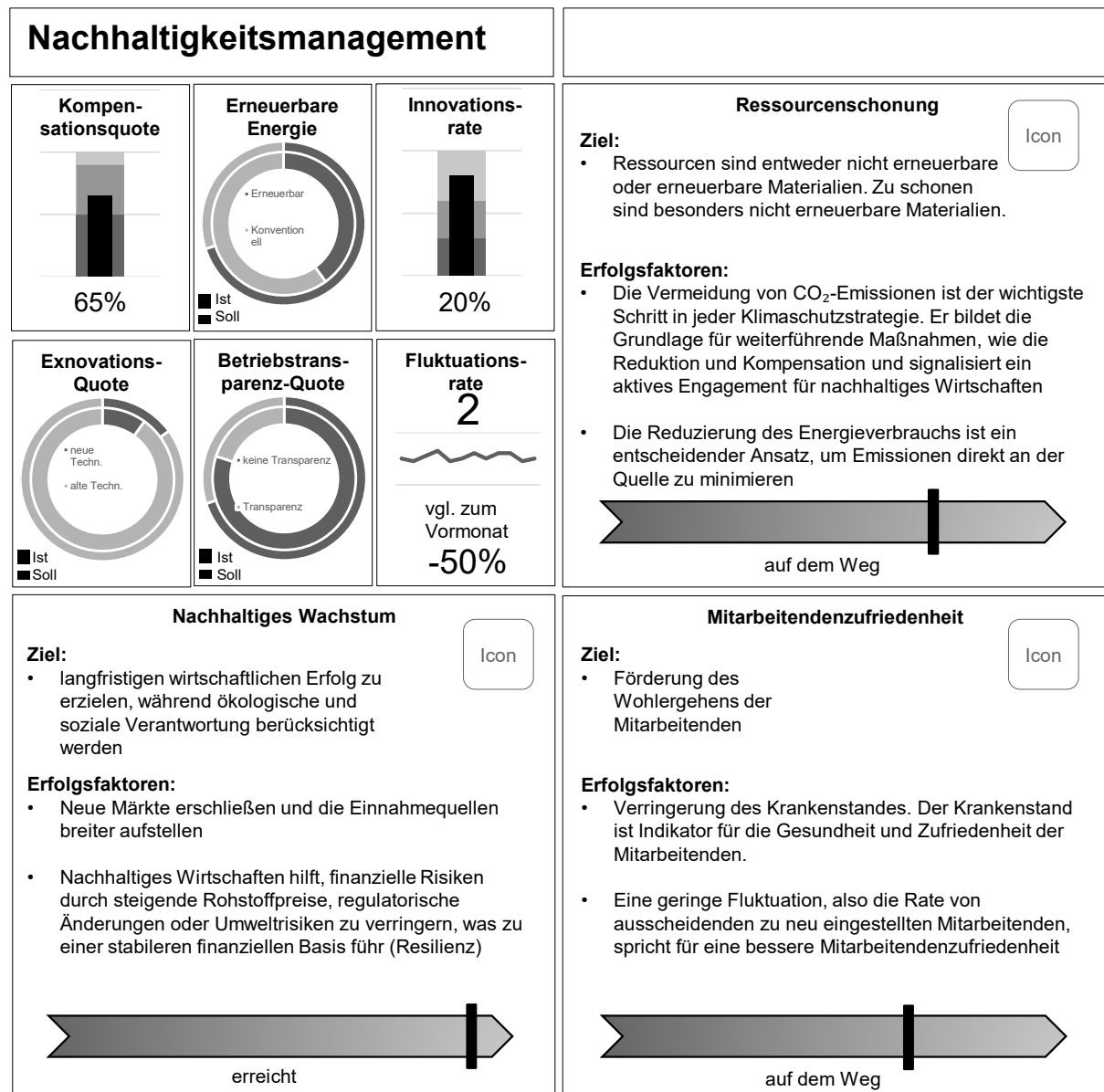


Abbildung 5.67: Scorecard Nachhaltigkeitsmanagement (2. Hierarchieebene)⁵⁴⁸

In diesem Kapitel wurde eine anspruchsgerechte Darstellungsform zur internen Kommunikation des entwickelten Kennzahlensystems dargelegt. Zunächst wurden alle relevanten internen Anspruchsgruppen identifiziert und deren Anforderungen an die Darstellung der Kennzahlen ermittelt. Auf dieser Basis wurden anspruchsgerechte Darstellungsformen präsentiert, wobei die zuvor entwickelten Kennzahlen (vgl. Kapitel 5.2) den identifizierten Anspruchsgruppen zugeordnet wurden. Die Kommunikation erfolgt mittels einer Scorecard, die sich durch einen modularen Aufbau auszeichnet. Es gibt unterschiedliche Kennzahlenfelder, je nach Kennzahlart, Zeitbezug und Grad der Aggregation. Die Scorecard kann entsprechend den spezifischen

⁵⁴⁸ Eigene Darstellung

Anforderungen der identifizierten Anspruchsgruppen zusammengestellt werden, was eine zielgerichtete Kommunikation ermöglicht. Die Darstellung der Kennzahlen ermöglicht die Identifikation von Zielen, die nur unzureichend erfüllt werden. Dadurch wird zunächst die Transparenz über die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit und die verschiedenen internen Anspruchsgruppen im Werkzeugbau geschaffen. Die so erzeugte Transparenz bildet die Grundlage, steuernd in die Geschäftsprozesse des Werkzeugbaus einzugreifen und auf eine ganzheitliche Optimierung der Nachhaltigkeitsleistung hinzuarbeiten. Die Verknüpfung der Kennzahlen mit den für den nachhaltigen Werkzeugbau relevanten Handlungsfeldern im folgenden Kapitel unterstützt dieses Ziel.

5.5 Detaillierung der Handlungsfelder und Steuerungsgrößen

Im vorausgegangenen Kapitel wurde die Kommunikation und Visualisierung des Kennzahlensystems beschrieben. In der Folge widmet sich das vorliegende Kapitel der Implementierung des entwickelten Kennzahlensystems zur Steuerung der Nachhaltigkeitsbestrebungen des Werkzeugbaus. Der Regelkreis beginnt mit der Datenerhebung für das Kennzahlensystem, wird über die Auswertung und Visualisierung fortgeführt und endet schließlich bei den Geschäftsprozessen des Werkzeugbaus, die auf Basis der Rückschlüsse aus dem Kennzahlensystem gesteuert werden sollen. In einem ersten Schritt werden die **relevanten Handlungsfelder** identifiziert, die auf dem Weg zum nachhaltigen Werkzeugbau nötig sind. Aus den Erfolgsfaktoren werden anschließend die relevanten Handlungsfelder abgeleitet. Nach der Identifikation und Beschreibung der Handlungsfelder stellt sich die Frage, anhand welcher Metrik diese **Handlungsfelder für den jeweiligen Werkzeugbaubetrieb priorisiert** werden können. Die Basis für diese unternehmensindividuelle Priorisierung der entwickelten Handlungsfelder bildet das Kennzahlensystem. Um die priorisierten Handlungsfelder gezielt zu adressieren, werden den **Handlungsfeldern Steuerungsgrößen zugeordnet**, mit denen ein kennzahlenbasiertes Steuern der Nachhaltigkeitsbestrebungen möglich wird. Die Teilaspekte des Gestaltungselements „Handlungsfelder und Steuerungsgrößen“ sind in Abbildung 5.68 dargestellt.

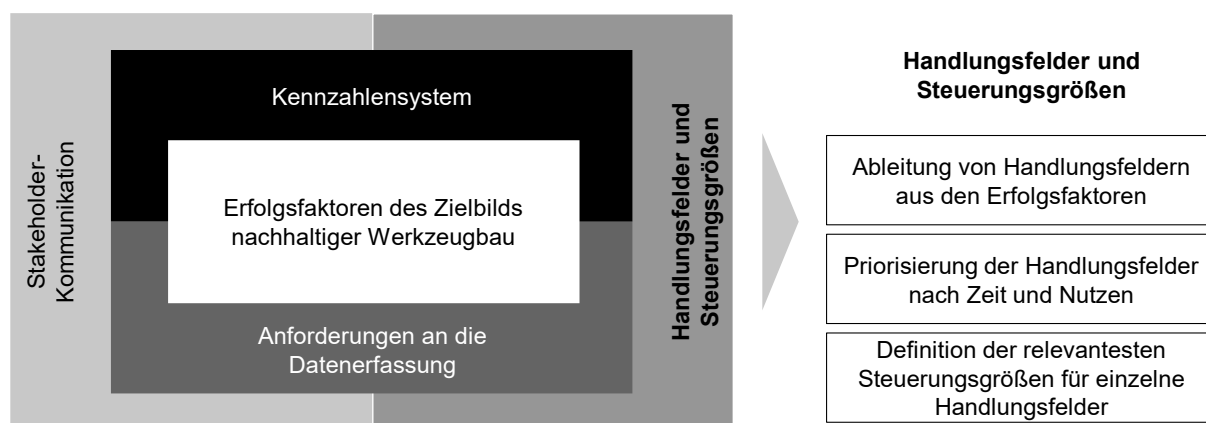


Abbildung 5.68: Gestaltungaspekte des Gestaltungselement Handlungsfelder und Steuerungsgrößen⁵⁴⁹

Im Folgenden werden die relevanten Grundlagen zur Detaillierung der Handlungsfelder und Steuerungsgrößen präsentiert. Im Anschluss daran erfolgt die Erläuterung der einzelnen Gestaltungaspekte.

5.5.1 Grundlagen

Die Entwicklung der Handlungsfelder erfolgt auf der Grundlage der Projekterfahrung in bilateralen Industrieprojekten sowie Konsortialprojekten im Rahmen der Tätigkeit für die WBA⁵⁵⁰.

⁵⁴⁹ Eigene Darstellung

⁵⁵⁰ Konsortialprojekt der WBA „Nachhaltige Leistungssysteme im Werkzeugbau –durch Produkte und Dienstleistungen die Nachhaltigkeit beim Kunden erhöhen“, 2022; Konsortialprojekt der WBA „Messbarmachung der

Zudem findet die Mitarbeit an zwei Forschungsprojekten zur Steigerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau Berücksichtigung. Das Forschungsprojekt „Tool2Share“, welches durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt gefördert wurde, fokussierte sich auf die Kreislaufwirtschaft als einen der Kernfaktoren zur Steigerung der Nachhaltigkeit in einer material- und energieintensiven Branche wie dem Werkzeugbau⁵⁵¹. Die Erkenntnisse des Autors aus diesem Projekt finden sich insbesondere im Handlungsfeld „Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung“. Eine kurze Zusammenfassung der spezifischen Ergebnisse wird am Ende des Kapitels gegeben (vgl. Kapitel 5.5.4.2). Das zweite Forschungsprojekt „SUSKEY“ widmet sich in einem Arbeitspaket der Entwicklung von Handlungsfeldern und bildet somit eine Grundlage für dieses Kapitel⁵⁵². Aus der wissenschaftlichen Literatur sind an dieser Stelle als Grundlage die bereits vorgestellte Arbeit von SCHWEINS⁵⁵³ (vgl. Kapitel 3.3.3.1) sowie die Arbeit von HERRMANN ET AL. zur „The Positive Impact Factory“⁵⁵⁴ zu nennen. Für die Entwicklung der Handlungsfelder diente zudem die Erfahrung des Autors aus der Entwicklung und anschließenden externen Zertifizierung einer Methode zur Berechnung der bei der Werkzeugherstellung entstehenden CO₂e-Emissionen in einem PCF⁵⁵⁵. Der Erfahrungsaustausch mit der Praxis bei der Anwendung der entwickelten Methode bei Werkzeugbaubetrieben war aufschlussreich.

Nach der Identifikation der für den nachhaltigen Werkzeugbau relevanten Handlungsfelder ist die Allokation der endlichen Ressourcen des Unternehmens auf die Handlungsfelder erforderlich. Dazu ist eine Priorisierung der Handlungsfelder notwendig. Einen Ausgangspunkt dazu liefert der VDWF mit einer Checkliste, in der Nachhaltigkeitsinitiativen mehr oder weniger Aspekte erfüllen können. Diese Checkliste ist in Tabelle 5.5 dargestellt⁵⁵⁶.

Tabelle 5.5: Checkliste zur Kurzbewertung von Nachhaltigkeitsinitiativen im Werkzeugbau nach VDWF⁵⁵⁷

Aspekt	Erläuterung
Grundlage – unverzichtbar	Darauf können Werkzeug- und Formenbauer nicht verzichten
Wesentlicher Umweltaspekt	
Wesentlicher Gesellschaftsaspekt	

Nachhaltigkeit – Kennzahlensystem für den nachhaltigen Werkzeugbau“, 2023; Konsortialprojekt der WBA „Nachhaltigkeitscontrolling – Entwicklung eines Nachhaltigkeitsberichts für den Werkzeugbau entsprechend der europäischen Berichtspflicht (CSRD)“, 2024

⁵⁵¹ Tool2Share – Entwicklung einer B2B-Plattform für den ReUse von Werkzeugen und Werkzeugkomponenten, Forschungsprojekt gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU): 2021-2023

⁵⁵² SUSKEY – Sustainability KPIs zur Messung und Steuerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau, Forschungsprojekt gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU): 2024-2025

⁵⁵³ Vgl. Schweins (Nachhaltiger Werkzeuglebenszyklus): 2023, S. 226–228.

⁵⁵⁴ Vgl. Herrmann et al. (The Positive Impact Factory): 2015, S. 20.

⁵⁵⁵ Vgl. Boos et al. (CO₂-Werkzeugpasses): 2024, S. 1.

⁵⁵⁶ Vgl. VDWF (Kompendium für die Bewertung): 2024, S. 6–7.

⁵⁵⁷ Vgl. VDWF (Kompendium für die Bewertung): 2024, S. 7.

Wesentlich für Unternehmensführung	Der beschriebene Nachhaltigkeitsaspekt beeinflusst Mensch / Umwelt oder hat Einfluss auf Ihr Finanzergebnis (ist wesentlich)
Relevanz Wertschöpfungskette ▪ Einkauf / Zulieferung (vorgelagert) ▪ Eigener Geschäftsbetrieb ▪ Nutzung / Verwertung (nachgelagert)	Die erläuterte Initiative betrifft bzw. erfordert die Einbindung von Zulieferern (vorgelagerte Wertschöpfung), Mitarbeitern (im VDWF-Unternehmen) oder Kunden / Verwertern (nachgelagerte Wertschöpfung)
Kundenanforderung	Das fordern Kunden bereits heute (oder bald) von Ihnen
Differenzierungsargument / Marketing	Mit der Maßnahme schaffen Sie ein Merkmal, das Sie vom Wettbewerb differenziert oder das Sie im Marketing nutzen können.
CSRD-Berichtspflicht	CSRD-pflichtige Unternehmen müssen hierzu öffentlich berichten. Nicht berichtspflichtigen Unternehmen wird eine vereinfachte Berichterstattung empfohlen.
Controlling / Monitoring erforderlich	Das Management des Aspekts mit Hilfe geeigneter (und hier genannter) Kennzahlen ist erforderlich und sinnvoll
Interner Nutzen (Mitarbeitende)	Damit punkten Sie bei Mitarbeitern oder erhöhen die Mitarbeiterbindung
Expertenwissen erforderlich	Ggf. müssen Sie hierzu Hilfe von außen holen
Aufwand der Erhebung	Zeitaufwand, den Sie für die Erhebung / Umsetzung einplanen müssen
Aufwand-Nutzen-Verhältnis	Low-hanging fruit oder längerfristige und zu planende Investition?

Diese Checkliste kann als erster Anhaltspunkt für die Bewertung betrachtet werden, jedoch ist zu beachten, dass sie keine eindeutige Priorisierung enthält, die für diese Kapitel von entscheidender Bedeutung ist. Für die Priorisierung der Handlungsfelder findet daher die Nutzwertanalyse (NWA) Anwendung, die auf der zuvor genannten Grundlage eine eindeutige Priorisierung ermöglicht. Der entscheidende Vorteil der NWA liegt in der Berücksichtigung monetärer und

nicht-monetärer Effekte sowie der Zuordnung konkreter Zahlenwerte zu den verglichenen Optionen, was eine eindeutige Priorisierung ermöglicht. Die Methode wurde im deutschsprachigen Raum durch Zangenmeister bekannt, der die folgende Definition gab: „[Die] Nutzwertanalyse ist die Analyse einer Menge komplexer Handlungsalternativen mit dem Zweck, die Elemente dieser Menge entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers bezüglich eines multidimensionalen Zielsystems zu ordnen. Die Abbildung dieser Ordnung erfolgt durch die Angabe der Nutzwerte (Gesamtwerte) der Alternativen.“⁵⁵⁸ Die NWA lässt sich in sechs Schritte gliedern, die wie folgt lauten⁵⁵⁹:

1. Bestimmung der Zielkriterien,
2. Gewichtung der Zielkriterien und Festlegung der Zielwerte,
3. Datenerhebung
4. Teilnutzwertbestimmung,
5. Nutzwertermittlung,
6. Beurteilung der Vorteilhaftigkeit.

Im Folgenden wird nach der Herleitung der Handlungsfelder auf die Anwendung der NWA im vorliegenden Kontext des nachhaltigen Werkzeugbaus und der Priorisierung dessen Handlungsfelder eingegangen (vgl. Kapitel 5.5.3).

5.5.2 Herleitung der Handlungsfeldern aus den Erfolgsfaktoren

Handlungsfelder stellen ein Instrument zur gezielten Strukturierung der für eine nachhaltige Unternehmenssteuerung relevanten Themenbereiche dar. Ihre Funktion besteht in der Transformation der Vielzahl an Einzelkennzahlen in übergeordnete strategische Dimensionen, der Identifikation potenzieller Zielkonflikte und deren effektive Ausrichtung auf unternehmerische Maßnahmen. In dieser Hinsicht stellen sie eine direkte Verbindung zwischen dem Kennzahlensystem und der operativen Umsetzung von Nachhaltigkeitszielen her. Das Kennzahlensystem schafft Transparenz über den Status quo und macht Entwicklungen messbar, während die Handlungsfelder zentrale Steuerungsbereiche definieren, in denen Maßnahmen gezielt entwickelt, bewertet und weiterentwickelt werden können.

Die Ableitung der Handlungsfelder erfolgt auf Basis einer explorativen Analyse zentraler Einflussfaktoren für eine nachhaltige Unternehmenssteuerung im Werkzeugbau, wobei sowohl interne Unternehmenskennzahlen als auch externe Einflussgrößen, wie regulatorische Anforderungen und Branchentrends, berücksichtigt werden. Das Ziel besteht darin, strategisch relevante Themenbereiche zu identifizieren, die eine ganzheitliche Steuerung ermöglichen und als Bewertungsrahmen für konkrete Maßnahmen dienen können. Der Prozess zur Ableitung der Handlungsfelder des vorliegenden Kennzahlensystems gliedert sich in die folgenden Phasen:

⁵⁵⁸ Vgl. Zangemeister (Nutzwertanalyse in der Systemtechnik): 1976, S. 45.

⁵⁵⁹ Vgl. Blohm et al. (Investition : Schwachstellenanalyse des Investitionsbereichs): 2012, S. 152–158; Kersting et al. (Angewandte Nutzwertanalyse): 2014, S. 4.

Bei der Analyse der zugrunde liegenden Daten wurden zunächst verschiedene Datenquellen herangezogen, um ein umfassendes Verständnis der relevanten Einflussfaktoren für eine nachhaltige Unternehmenssteuerung im Werkzeugbau zu erlangen:

- Unternehmensinterne Kennzahlen aus dem vorliegenden Kennzahlensystem, um zentrale Erfolgsfaktoren zu identifizieren.
- Branchenspezifische Studien und Literatur, die zusätzliche Perspektiven zu langfristigen Trends und Entwicklungen im Bereich des nachhaltigen Werkzeugbaus liefern.
- Regulatorische Rahmenbedingungen, um sicherzustellen, dass gesetzliche Vorgaben und Standards im Aufbau der Handlungsfelder berücksichtigt sind.

Basierend auf dieser Datengrundlage wurden spezifische Kriterien festgelegt, um die Themenfelder einzugrenzen und zu strukturieren. Hierbei wurden folgende Anforderungen an die Handlungsfelder definiert:

- Innerhalb der Handlungsfelder dürfen negative Auswirkungen in einem Bereich nicht durch positive Effekte in einem anderen kompensiert werden.
- Ganzheitliche Abdeckung wesentlicher Nachhaltigkeitsthemen, ohne die Anzahl der Handlungsfelder unnötig zu erhöhen.
- Messbarkeit und Steuerbarkeit durch das bestehende Kennzahlensystem, um eine fundierte Erfolgskontrolle zu gewährleisten.
- Abgleich mit bestehenden Lösungen aus anderen Branchen

In der nachfolgenden Analyse werden die thematischen Überschneidungen zwischen den identifizierten Erfolgsfaktoren betrachtet und mittels einer Clusterbildung zusammengeführt. Dabei wurden zentrale Handlungsbereiche herausgearbeitet, die eine kohärente und strategisch sinnvolle Bündelung von Maßnahmen ermöglichen. Die Clusterbildung folgt einem iterativen Prozess, in dem ähnliche Themenbereiche konsolidiert und abgegrenzte Kategorien gebildet werden. In einem weiteren Schritt werden die identifizierten Handlungsfelder über die Diskussion mit Fachexperten aus Werkzeugbauunternehmen auf ihre Umsetzbarkeit und strategische Relevanz überprüft, um die Praxisrelevanz und Anwendbarkeit sicherzustellen. Nach Abschluss der Validierung werden die Handlungsfelder final definiert und über die entsprechenden Steuergrößen mit dem bestehenden Kennzahlensystem verknüpft. Das Ziel dieser Vorgehensweise besteht in der Ableitung von Handlungsfeldern, die sowohl wissenschaftlich fundiert als auch praxisnah sind und die Grundlage für die Arbeit mit dem Kennzahlensystem bilden. Die fünf identifizierten Handlungsfelder sind wie in Abbildung 5.69 dargestellt „Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung“, „Mensch und Gesellschaft“, „Digitalisierung und Innovation“, „Lieferketten und Resilienz“ sowie „Wirtschaftliche Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit“.

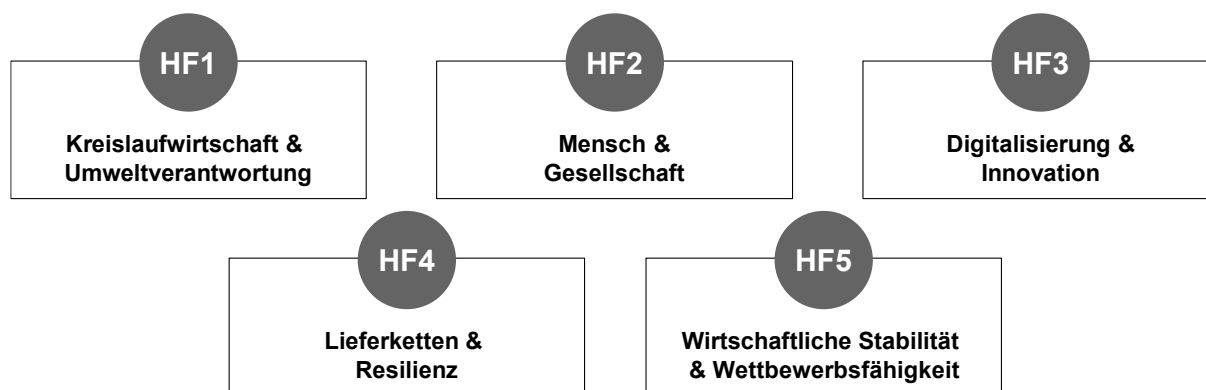


Abbildung 5.69: Übersicht der fünf identifizierten Handlungsfelder des nachhaltigen Werkzeugbaus⁵⁶⁰

Im vorliegenden Abschnitt werden die Handlungsfelder beschrieben und den Erfolgsfaktoren und Kennzahlen im Sinne von Steuergrößen des vorliegenden Kennzahlensystems zugeordnet. Die einzelnen Erfolgsfaktoren und Kennzahlen wurden über eine Abschätzung ihrer Relevanz den einzelnen Handlungsfeldern zugeordnet, wobei Erfolgsfaktoren in mehreren Handlungsfeldern vorkommen können. Der Einfluss mancher Erfolgsfaktoren lässt sich nicht eindeutig eingrenzen und ist in vielen Fällen mit Sicherheit auch individuell und situativ unterschiedlich. Daher handelt es sich bei der Zuteilung um subjektive Entscheidungen, die keinen Anspruch darauf erheben, den Einfluss jedes Erfolgsfaktors vollständig abzubilden. Exemplarische Maßnahmen sind den Handlungsfeldern zugeordnet, um diese zu veranschaulichen. Die Einführung der Handlungsfelder zielt auf eine notwendige Vereinfachung ab, die es dem anwendenden Werkzeugbaubetrieb ermöglicht, effizient zu handeln. Eine vollständige Auflistung aller potenziellen Maßnahmen wäre kaum möglich und wird an dieser Stelle als nicht sinnstiftend erachtet. Die Zuordnung der Erfolgsfaktoren und Kennzahlen zu den Handlungsfeldern ist Tabelle 7.3 im Anhang zu entnehmen.

Das Handlungsfeld „**Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung**“ umfasst die ökologischen Auswirkungen des Handelns des Werkzeugbaus sowie die Implementierung von Ansätzen der Kreislaufwirtschaft. Die Kreislaufwirtschaft zielt auf die Etablierung geschlossener Stoffkreisläufe ab, in denen Rohstoffe über den gesamten Lebenszyklus hinweg effizient genutzt, Abfälle minimiert und Recyclingpotenziale konsequent ausgeschöpft werden. Ergänzend dazu umfasst Umweltverantwortung die Implementierung ressourceneffizienter Prozesse, die Nutzung erneuerbarer Energien und die Verringerung schädlicher Emissionen. Die Verankerung von Umweltverantwortung und Kreislaufwirtschaft als Handlungsfeld für die nachhaltige Steuerung des Werkzeugbaubetriebs dient der langfristigen Ausrichtung des Unternehmens an umweltpolitischen Vorgaben und Nachhaltigkeitszielen. Das Ziel besteht darin, Umweltbelastungen nicht nur zu minimieren, sondern proaktiv zur langfristigen Erhaltung ökologischer Systeme beizutragen. Im Sinne der ökologischen Nachhaltigkeit stellt dies das relevanteste Handlungsfeld der fünf dar. In Kapitel 5.5.4 werden zwei zentrale Aspekte des Handlungsfelds vertieft, an deren Ausarbeitung der Autor beteiligt war. Zum einen wird ein Ansatz

⁵⁶⁰ Eigene Darstellung

zur Messbarmachung der Emissionen bezogen auf das gefertigte Werkzeug (CO₂e-Werkzeugpass) und zum anderen auf eine Plattform zum standort- bis unternehmensübergreifenden Handel von gebrauchten Werkzeugen und Werkzeugkomponenten (Tool2Share) eingegangen. In Abbildung 5.70 werden die Beziehung des Handlungsfelds zum Kennzahlensystem über die Zuordnung von Erfolgsfaktoren und Kennzahlen sowie exemplarische Maßnahmen dargestellt.

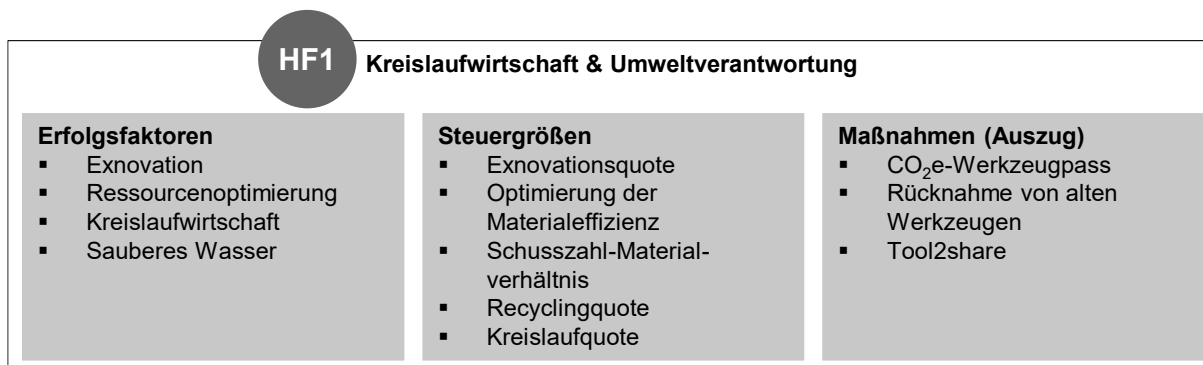


Abbildung 5.70: Beziehung des Handlungsfelds „Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung“ (HF1) zum Kennzahlensystem⁵⁶¹

Das Handlungsfeld „**Mensch und Gesellschaft**“ thematisiert die soziale Verantwortung des Werkzeugbaus gegenüber seinen Mitarbeitenden, der Gesellschaft und weiteren Anspruchsgruppen (vgl. Kapitel 5.1.2.1). Im Fokus stehen die Förderung fairer Arbeitsbedingungen, die Sicherstellung von Chancengleichheit und Diversität sowie die gezielte Weiterentwicklung der Mitarbeitenden durch umfassende Qualifizierungsmaßnahmen. Darüber hinaus adressiert es die nachhaltige Gestaltung der Unternehmenskultur, um ein attraktives und zukunftsfähiges Arbeitsumfeld zu schaffen, wobei dies die langfristige Bindung qualifizierter Fachkräfte sowie die Förderung ihres Wissens und ihrer Kompetenzen einschließt. Ziel ist es, die soziale Dimension der Nachhaltigkeit im Unternehmen zu stärken und die Basis für dessen langfristige Attraktivität und Stabilität als Arbeitgeber zu schaffen. In Anbetracht des in der Branche Werkzeugbau besonders spürbaren Mangels an qualifizierten Fachkräften, aber auch unter Berücksichtigung aller weiteren Herausforderungen, ist dieses Handlungsfeld von besonderer Relevanz für den Werkzeugbau. Der Präsident des VDWF, Prof. Thomas Seul, betont die entscheidende Bedeutung der Mitarbeitenden für den Werkzeugbau: „Der wichtigste Faktor dabei ist der Mensch“⁵⁶² und hebt damit die besonders bedeutende Rolle der Mitarbeitenden für den Werkzeugbau hervor. Die Beziehung des Handlungsfelds zum Kennzahlensystem wird in Abbildung 5.71 dargestellt. Sie zeigt die Zuordnung von Erfolgsfaktoren und Kennzahlen sowie exemplarische Maßnahmen.

⁵⁶¹ Eigene Darstellung

⁵⁶² Vgl. VDWF (VDWF-WBA-Praxisforum Werkzeugbau 2024): 2024, S. 1.

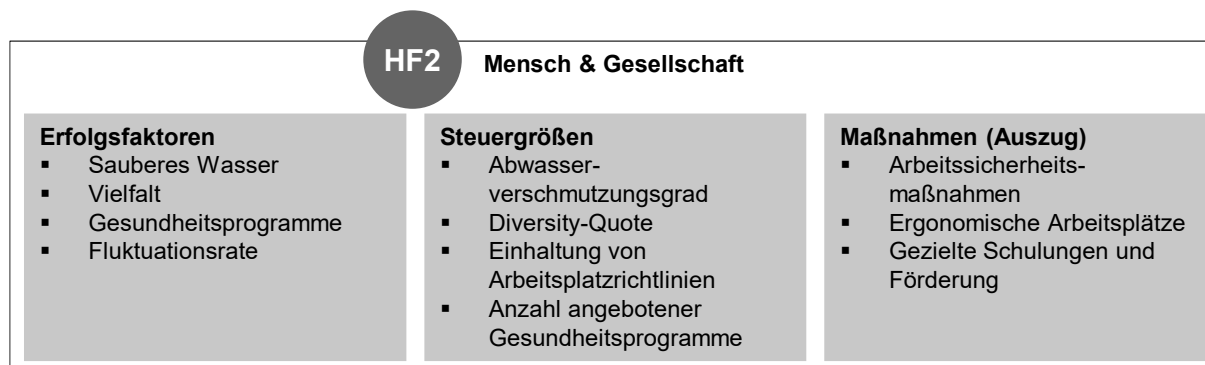


Abbildung 5.71: Beziehung des Handlungsfelds „Mensch und Gesellschaft“ (HF2) zum Kennzahlensystem⁵⁶³

Das Handlungsfeld „**Digitalisierung und Innovation**“ umfasst die Nutzung digitaler Technologien sowie die Förderung von Innovationen, mit dem Ziel, Prozesse, Produkte und Strukturen im Unternehmen kontinuierlich zu verbessern. Der Fokus liegt auf der Steigerung von Effizienz, Flexibilität und Geschwindigkeit, wodurch die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens langfristig gesichert wird. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Schaffung eines unternehmensinternen Umfelds, das kreative und innovative Ansätze ermöglicht. Ein wesentlicher Aspekt ist die Förderung einer offenen Unternehmenskultur sowie die Bereitstellung von Ressourcen und Strukturen, die Mitarbeitende zur Entwicklung neuer Lösungen befähigen. Darüber hinaus umfasst es die strategische Weiterentwicklung von Geschäftsmodellen, um das Unternehmen auf zukünftige Markt- und Kundenanforderungen auszurichten. Ziel ist es, durch digitale Transformation und technologische Innovationen einen nachhaltigen Beitrag zur wirtschaftlichen Stabilität und Zukunftsfähigkeit des Unternehmens zu leisten. Die Beziehung des Handlungsfelds zum Kennzahlensystem wird in Abbildung 5.72 dargestellt, wobei die Zuordnung von Erfolgsfaktoren und Kennzahlen sowie exemplarische Maßnahmen veranschaulicht werden.



Abbildung 5.72: Beziehung des Handlungsfelds „Digitalisierung und Innovation“ (HF3) zum Kennzahlensystem⁵⁶⁴

⁵⁶³ Eigene Darstellung

⁵⁶⁴ Eigene Darstellung

Das Handlungsfeld „**Lieferketten und Resilienz**“ widmet sich der Gestaltung widerstandsfähiger und nachhaltiger Lieferketten, deren Ziel die Minimierung interner und externer Risiken sowie die gleichzeitige Einhaltung ökologischer und sozialer Standards ist. Ein wesentlicher Aspekt ist hierbei die Sicherstellung von Transparenz und Rückverfolgbarkeit innerhalb der Wertschöpfungskette. Ein weiteres wesentliches Element ist die Reduktion der Abhängigkeit von kritischen Lieferanten. Das übergeordnete Ziel besteht darin, Lieferketten so auszurichten, dass sie Belastungen standhalten, den Anforderungen einer nachhaltigen Unternehmensführung entsprechen und einen stabilen Betrieb ermöglichen. Im Werkzeugbau wird Resilienz durch stabile Partnerschaften, den gezielten Einsatz der Innovationskraft des Werkzeugbaus und der erfolgreichen Positionierung in der komplexen Stellung als Produktionsbefähiger erreicht⁵⁶⁵. Die Beziehung des Handlungsfelds zum Kennzahlensystem wird in Abbildung 5.73 dargestellt, wobei die Zuordnung von Erfolgsfaktoren und Kennzahlen sowie exemplarische Maßnahmen veranschaulicht werden.

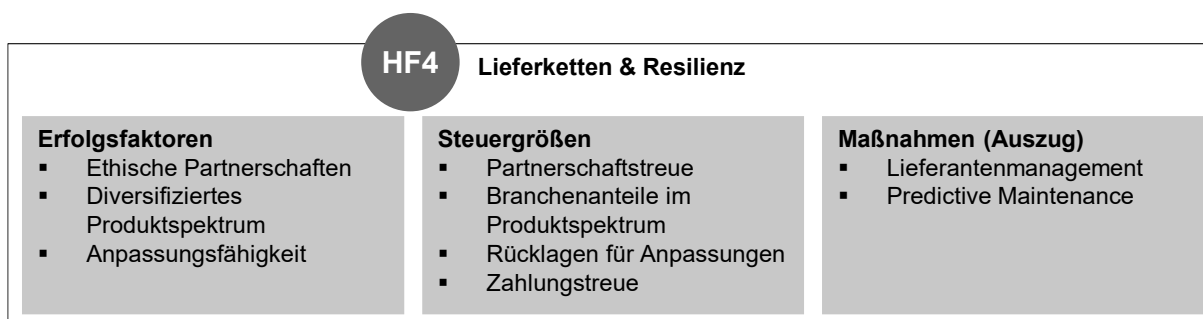


Abbildung 5.73: Beziehung des Handlungsfelds „Lieferketten und Resilienz“ (HF4) zum Kennzahlensystem⁵⁶⁶

Das Handlungsfeld „**Wirtschaftliche Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit**“ zielt auf die langfristige Gewährleistung der ökonomischen Leistungsfähigkeit des Werkzeugbaus ab, um eine nachhaltige Wirtschaftsweise zu ermöglichen. Der Fokus liegt auf der strategischen Planung und Steuerung der finanziellen Ressourcen, der Investitionen in nachhaltige Technologien sowie der Entwicklung innovativer Produkte und Dienstleistungen. Darüber hinaus umfasst es die Ausrichtung des Unternehmens an globalen Marktentwicklungen, um sowohl auf wirtschaftliche als auch auf regulatorische Veränderungen vorbereitet zu sein. Die besondere Position des Werkzeugbaus in der Wertschöpfungskette bedingt, dass er meist den wechselnden Forderungen sowie einem starken Kostendruck seiner Kunden aus der Serienproduktion ausgeliefert ist. Vor diesem Hintergrund ist es von entscheidender Bedeutung, sich auf verändernde regulatorische Bedingungen vorzubereiten. Das Ziel besteht in der Verbindung ökologischer und sozialer Ziele mit einer wirtschaftlich erfolgreichen Unternehmensstrategie. Die Beziehung des Handlungsfelds zum Kennzahlensystem wird in Abbildung 5.74 über die Zuordnung von Erfolgsfaktoren und Kennzahlen sowie exemplarischen Maßnahmen dargestellt.

⁵⁶⁵ Vgl. Boos et al. (Wettbewerbsfaktor Resilienz): 2022, S. 60.

⁵⁶⁶ Eigene Darstellung

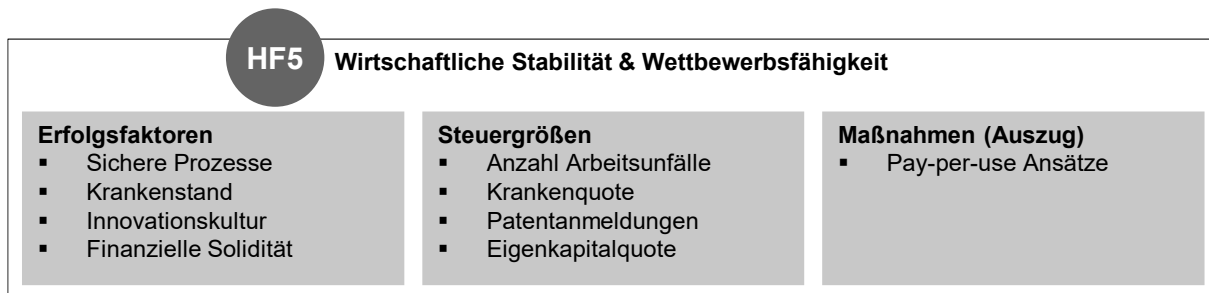


Abbildung 5.74: Beziehung des Handlungsfelds „Wirtschaftliche Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit“ (HF5) zum Kennzahlensystem⁵⁶⁷

Die Zuordnung der fünf identifizierten Handlungsfelder entlang der Prozesskette des Werkzeugbaus verdeutlicht, dass Nachhaltigkeit nicht auf einzelne Bereiche oder Abteilungen wie beispielsweise dem Nachhaltigkeitsmanagement, beschränkt werden kann, sondern eine allumfassende, ganzheitliche Herangehensweise erfordert. Die Analyse der einzelnen Prozessschritte zeigt zudem, dass durch die Setzung spezifischer Schwerpunkte die spezifischen Herausforderungen und Potenziale in den einzelnen Prozessschritten präziser adressiert werden können. Die Verankerung von Nachhaltigkeit als Ziel in sämtlichen Phasen der Wertschöpfung sowie die Steigerung der Akzeptanz für das Thema durch die Einbindung jedes Einzelnen in die Maßnahmen und die Etablierung von Nachhaltigkeit als übergreifende Aufgabe sind dabei von besonderer Relevanz. In Abbildung 5.75 sind die zuvor definierten Handlungsfelder den Schritten der Prozesskette des Werkzeugbaus zugeordnet. Dabei ist jeweils ein Handlungsfeld hervorgehoben, das den Fokus bildet. Ergänzt werden diese um beteiligte Handlungsfelder, die dem zuvor beschriebenen Wechselverhältnis Rechnung tragen.

⁵⁶⁷ Eigene Darstellung

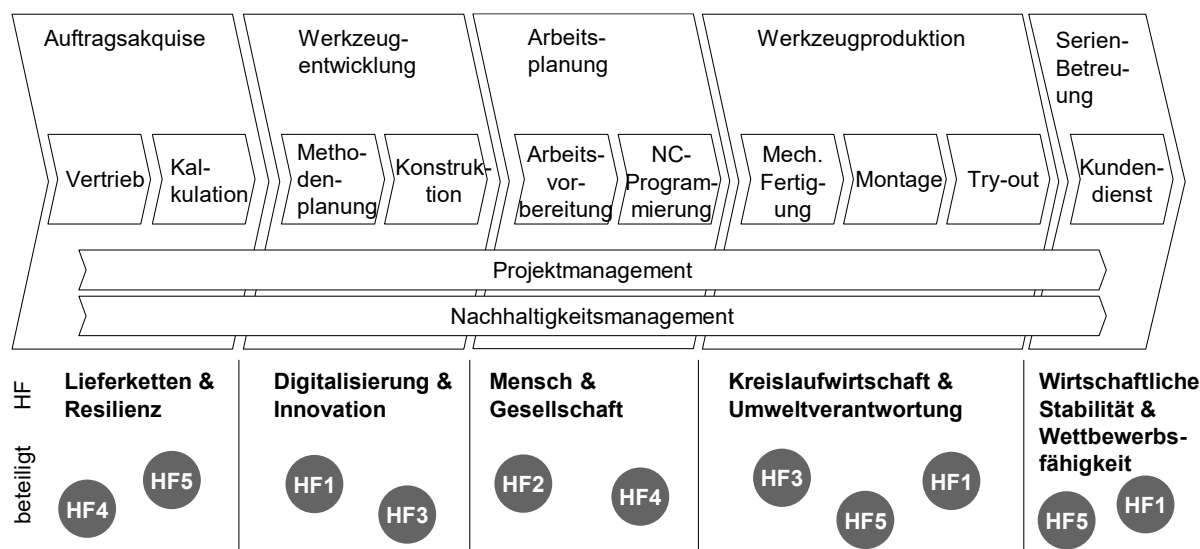


Abbildung 5.75: Zuordnung der fünf Handlungsfelder entlang der Wertschöpfungskette des Werkzeugbaus⁵⁶⁸

5.5.3 Priorisierung der Handlungsfelder nach Zeit und Nutzen

Unternehmen verfügen über begrenzte Ressourcen in Form von Kapital, Zeit und Mitarbeitenden, was eine Abwägung bei jeder strategischen Entscheidung erfordert. Die Konzentration auf ein Handlungsfeld bedingt mindestens eine vorübergehende Zurückstellung anderer Themenbereiche. Um sicherzustellen, dass Ressourcen gezielt dort eingesetzt werden, wo sie den größten Nutzen für das Unternehmen und die gesetzten Ziele generieren, ist eine systematische Priorisierung der Handlungsfelder erforderlich. Die Bewertung der Handlungsfelder erfolgt in zwei Stufen:

1. Übergeordnete Priorisierung der Handlungsfelder mittels einer Nutzwertanalyse
2. Detaillierte Bewertung einzelner Maßnahmen innerhalb der Handlungsfelder

Die Nutzwertanalyse (NWA) findet dabei Anwendung, da sie eine strukturierte, transparente und nachvollziehbare Entscheidungsgrundlage bietet und die Kombination und Gewichtung qualitativer und quantitativer Bewertungskriterien ermöglicht, sodass eine fundierte Gesamtbewertung der Handlungsfelder erfolgt.

Auf Basis der Bewertung der Ziele und Erfolgsfaktoren des vorliegenden Kennzahlensystems (vgl. Kapitel 5.1.4) sowie der Ableitung der Handlungsfelder aus diesen Erfolgsfaktoren im vorausgegangenen Abschnitt (vgl. Kapitel 5.5.2) kann bereits die unternehmensindividuelle **übergeordnete Bedeutung** der einzelnen Handlungsfelder abgeleitet werden. Die Summe der Gewichtung der einzelnen Erfolgsfaktoren je Handlungsfeld gibt Aufschluss über die Relevanz des Handlungsfelds. Diese Bewertung ermöglicht eine erste Einschätzung, die jedoch für die Priorisierung durch eine verfeinerte Analyse mit der NWA zu vertiefen ist. Zu diesem

⁵⁶⁸ Eigene Darstellung

Zweck werden die in den Grundlagen erwähnten sechs Schritte der NWA herangezogen (vgl. Kapitel 5.5.1). Zunächst werden die Zielkriterien bestimmt, anhand derer die Optionen, in diesem Fall die Handlungsfelder, bewertet werden. Zu diesem Zweck wurden auf Basis der dargelegten Grundlagen folgende sechs Kriterien bestimmt, die in Tabelle 5.6 inklusive einer Beschreibung zusammengefasst sind.

Tabelle 5.6: Beschreibung der Kriterien für die Priorisierung der Handlungsfelder nach NWA⁵⁶⁹

Kriterium	Beschreibung
Relevanz für den Werkzeugbau	Wie wichtig ist das Handlungsfeld für die Strategie des Werkzeugbaus?
Dringlichkeit	Wie hoch ist der Handlungsdruck durch regulatorische Anforderungen, Marktveränderungen etc.?
Einfluss auf die Nachhaltigkeitsdimensionen	Adressiert das Handlungsfeld alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit?
Steuerbarkeit	In welchem Maß kann der Werkzeugbau das Handlungsfeld durch eigene Maßnahmen beeinflussen?
Stand des Werkzeugbaus	Wie groß ist die Differenz zwischen Ist- und Soll-Zustand?
Erwartungen der Anspruchsgruppen	Wie wichtig empfinden Kunden und Partner das Handlungsfeld?

Im zweiten Schritt werden die Zielkriterien gewichtet, um deren relative Bedeutung abzubilden. Zu diesem Zweck wird die Gesamtpunktzahl von 100 % auf die einzelnen Kriterien verteilt, wobei dieser Schritt durch den Anwendenden durchgeführt wird, um eine unternehmensspezifische Priorisierung zu gewährleisten. Im dritten Schritt erfolgt die Datenerhebung. Im vorliegenden Fall erfolgt die Bewertung der einzelnen Kriterien auf einer Skala von 1 bis 5. Der Teilnutzwert wird in der Folge durch Multiplikation der Gewichtung mit der Bewertung der Kri-

⁵⁶⁹ Eigene Darstellung

terien ermittelt. Darauf aufbauend wird im fünften Schritt durch die Summierung aller Teilnutzwerte eines Handlungsfelds dessen Nutzwert ermittelt. Abschließend wird im letzten Schritt eine Priorisierung der Handlungsfelder vorgenommen, indem sich eine Rangfolge entsprechend den Nutzwerten ergibt.

Im Anschluss erfolgt eine **detaillierte Bewertung** der innerhalb der priorisierten Handlungsfelder möglichen Maßnahmen. Die erste Bewertungsstufe schafft eine strategische Orientierung für die nachhaltige Unternehmenssteuerung, während der zweite Schritt der Identifikation und Auswahl geeigneter Maßnahmen innerhalb des priorisierten Handlungsfelds dient. Eine Maßnahme wird als besonders wirksam eingestuft, wenn sie sowohl effizient ist, indem sie ein optimales Verhältnis von Aufwand zu Nutzen aufweist, als auch effektiv ist, indem sie gezielt zur gewünschten Wirkung beiträgt⁵⁷⁰. Da nicht jede Maßnahme denselben Bewertungsaufwand rechtfertigt, erfolgt eine erste Einordnung anhand der Komplexität. Maßnahmen geringer Komplexität, also solche mit geringer Investition und einfacher Umsetzung, können ohne detaillierte Analyse umgesetzt werden, während Maßnahmen hoher Komplexität, solche mit langfristigen Auswirkungen und hohem Investitionsbedarf, eine detaillierte Bewertung erfordern.

Für eine grundlegende Bewertung unterschiedlicher Maßnahmen existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden, wie beispielsweise die Kosten-Nutzen-Rechnung, der Return on Investment (ROI) sowie Punktbewertungen und viele mehr. Für eine tiefergehende und langfristige Bewertung der Maßnahmen ist es jedoch unerlässlich, die Wirkungen und die daraus entstehenden Wirkungsgefüge nachvollziehen zu können.⁵⁷¹ Für die Bewertung der Maßnahmen in der vorliegenden Arbeit wird daher ein kombinierter Ansatz aus Elementen der Methodik der Impact Studie und Elementen des Leitfadens „Maßnahmen managen“ angewendet. Zunächst wird die allgemeine Systematik der verschiedenen Ebenen von Wirkungsgefügen in Anlehnung an Impact Klimaanpassung dargelegt, wobei die Verbindung zwischen Ziel und Maßnahmen systematisch dargestellt wird. Dies ermöglicht insbesondere über die Ebene der Maßnahmenwirkung positive wie negative Auswirkungen der analysierten Maßnahme zu untersuchen und so Transparenz über die Gesamtwirkung auf das betrachtete Ziel zu erlangen. Die sich anschließende Zuordnungslücke zwischen Ziel und Maßnahmenwirkung, verdeutlicht, dass die untersuchten Systeme – wie in der vorliegenden Arbeit ein Unternehmen des Werkzeugbaus – durch eine Vielzahl an Faktoren beschrieben werden, die in Wechselwirkung zueinanderstehen und somit das Ziel beeinflussen. Es zeigt sich, dass monokausale Einzelmaßnahmen zur vollständigen Beschreibung der Wirkung auf das Ziel nicht ausreichend sind,

⁵⁷⁰ Vgl. Lühr et al. (Impact Klimaanpassung): 2018, S. 10.

⁵⁷¹ Vgl. Lühr et al. (Impact Klimaanpassung): 2018, S. 8.

sondern dass weitere Einflussfaktoren zu berücksichtigen sind.⁵⁷² Die Struktur der Ebenen des Wirkungsgefüges ist in Abbildung 5.76 dargestellt.

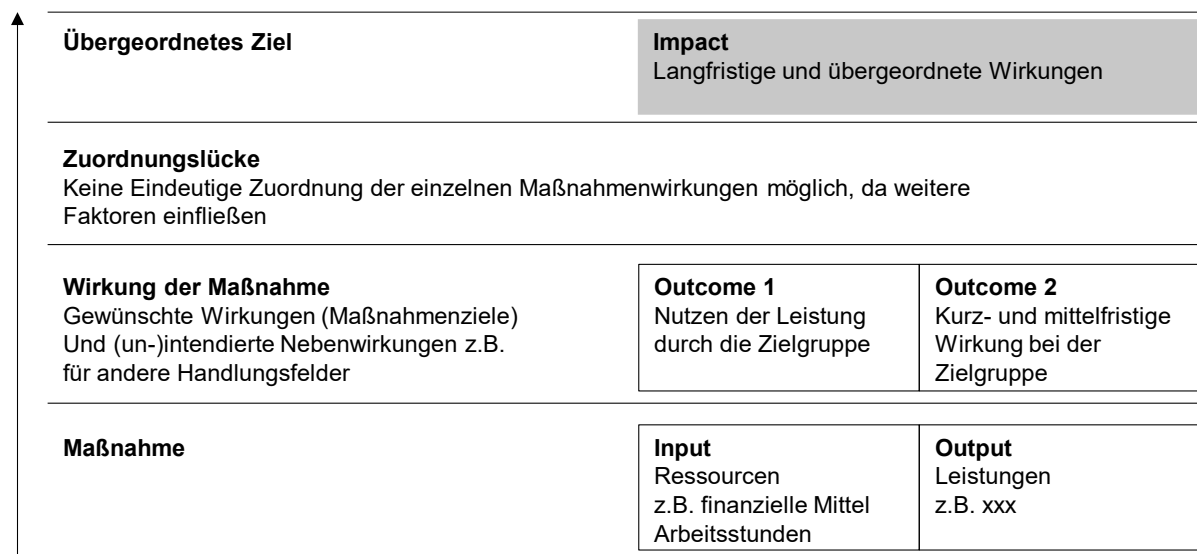


Abbildung 5.76: Allgemeine Systematik der verschiedenen Ebenen von Wirkungsgefügen
i. A. a. LÜHR ET AL.⁵⁷³

Mittels des Wirkungsgefüges können folglich einzelne Maßnahmen eines der identifizierten Handlungsfelder des nachhaltigen Werkzeugbaus (vgl. Kapitel 5.5.2) in Bezug auf einzelne Ziele des nachhaltigen Werkzeugbaus (vgl. Kapitel 5.1.2) analysiert werden. Basierend auf dieser Analyse kann über die Durchführung der Maßnahme entschieden werden. Die Effektivität der Maßnahme kann anschließend anhand der Steuerungsgrößen des Handlungsfelds (vgl. Kapitel 5.5.4) kontinuierlich evaluiert werden. Zur Veranschaulichung des Vorgehens wird im Folgenden ein Beispiel angeführt. Das übergeordnete Ziel besteht in der Steigerung der Mitarbeitendenzufriedenheit, wobei die Maßnahme „Betriebssport“ als Prüfgegenstand dient. Die für die Maßnahme erforderlichen Ressourcen (Räumlichkeiten und Kosten) werden demnach als Inputs berücksichtigt, während die erbrachten Leistungen in Form von Sportstunden als Output betrachtet werden. Die Wirkung der Maßnahme lässt sich in drei unterschiedliche Aspekte aufgliedern: Die Gesundheit der Mitarbeitenden wird verbessert, deren finanzielle Belastung wird reduziert und das Betriebsklima wird positiv beeinflusst. Für den Betrieb bedeutet dies, dass weniger Krankheitstage verzeichnet werden und die Attraktivität als Arbeitgeber gesteigert wird. Die Analyse des vorliegenden fiktiven Beispiels lässt den Schluss zu, dass sich keine negativen Wechselwirkungen der Maßnahme auf das betrachtete Ziel ergeben. Eine Veranschaulichung des Beispiels findet sich in Abbildung 5.77.

⁵⁷² Vgl. Lühr et al. (Impact Klimaanpassung): 2018, S. 10–11.

⁵⁷³ Vgl. Lühr et al. (Impact Klimaanpassung): 2018, S. 11.

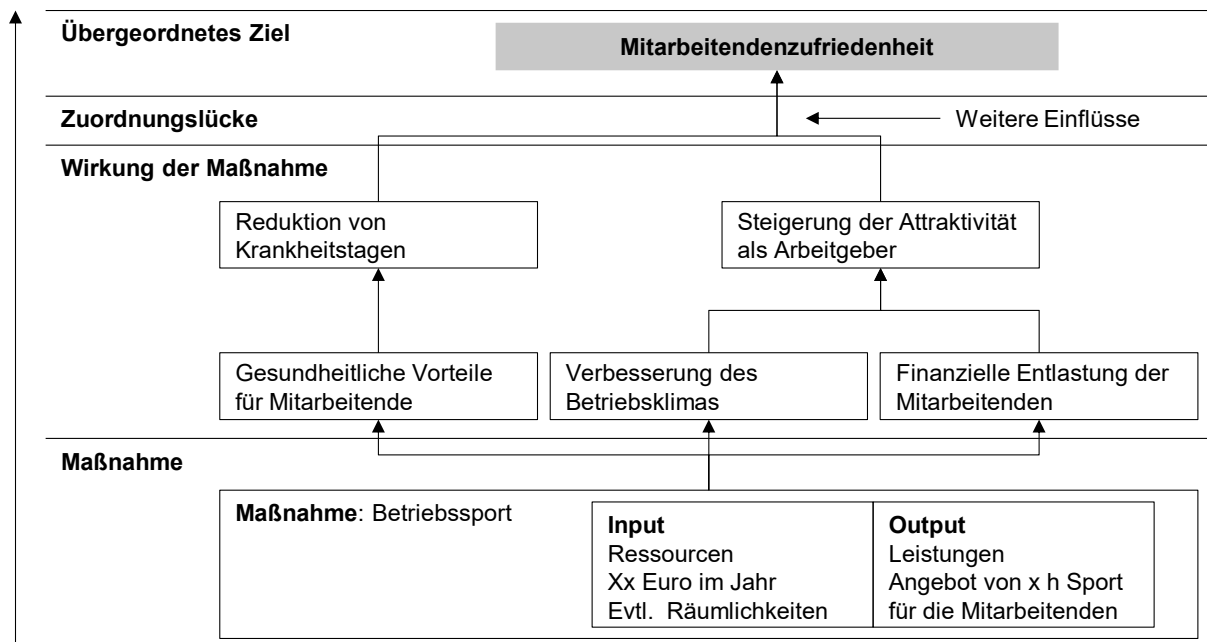


Abbildung 5.77: Bewertung von Maßnahmen des nachhaltigen Werkzeugbaus am Beispiel „Angebot von Betriebssport“⁵⁷⁴

Die vorangegangene qualitative Analyse zur Bewertung der einzelnen Maßnahmen kann im Bedarfsfall um eine quantitative Bewertung anhand eines operativen Wirkungsnetzes ergänzt werden. Das Ziel dieser Ergänzung ist die Abbildung der Wirkungen einer Maßnahme auf das übergeordnete Ziel mittels Steuergrößen über mehrere Zwischenschritte. Der erwartete Nutzen einer Maßnahme ergibt sich somit anhand von Indikatoren.⁵⁷⁵ Das zuvor angeführte Beispiel der Maßnahme „Angebot von Betriebssport“ ist in Abbildung 5.78 dargestellt.

⁵⁷⁴ Eigene Darstellung

⁵⁷⁵ Vgl. Alwert et al. (Leitfaden Maßnahmen managen): 2014, S. 18–20.

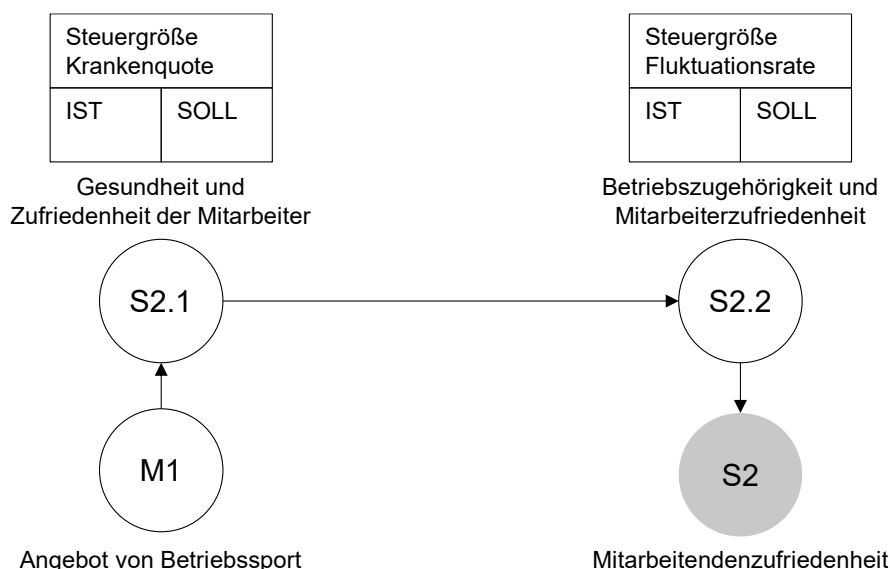


Abbildung 5.78: Operatives Wirkungsnetz des Beispiels „Angebot von Betriebssport“ i. A. a. ALWERT ET AL.⁵⁷⁶

Gemäß dem beschriebenen Vorgehen können die identifizierten Handlungsfelder über zwei Detaillierungsstufen unternehmensindividuell bewertet werden. Im ersten Schritt erfolgt die Priorisierung der Handlungsfelder als Zusammenschluss verschiedener Maßnahmen. Im zweiten Schritt wurde die detaillierte qualitative Bewertung der im Handlungsfeld liegenden Maßnahmen durch die Ebenen des Wirkungsgefüges sowie die quantitative Bewertung anhand des operativen Wirkungsnetzes durchgeführt. Für die Umsetzung der priorisierten Handlungsfelder und deren Maßnahmen ist die Bestimmung der Steuerungsgrößen essenziell, worauf im folgenden Kapitel eingegangen wird.

5.5.4 Definition der Steuerungsgrößen für einzelne Handlungsfelder

Zur Steuerung der identifizierten Handlungsfelder ist deren Verknüpfung mit Kennzahlen essenziell, da nur so ihre Entwicklung messbar wird. Die verknüpften Kennzahlen aus dem vorliegenden Kennzahlensystem werden so zu Steuergrößen. Das vorliegende Gestaltungsmodell zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau wird durch diese Vorgehensweise vervollständigt. Die zuvor identifizierten Handlungsfelder, die nach Priorität geordnet sind, bewirken eine gezielte Beeinflussung des zuvor aufgestellten Kennzahlensystems. Der Regelkreis schließt sich über die Steuergrößen. Das Kennzahlensystem, die Handlungsfelder und deren Maßnahmen interagieren somit kontinuierlich. Die für die Steuerung der jeweiligen Handlungsfelder relevanten Kennzahlen sind in Tabelle 7.3 im Anhang vollständig aufgeführt und zugeordnet. In Auszügen wurden diese Steuerungsgrößen bereits in Kapitel 5.5.2 bei der Definition der Handlungsfelder dargestellt. In Abbildung 5.79 ist ein Ausschnitt aus der vollständigen Zuordnung der Steuerungsgrößen zu den einzelnen Handlungsfeldern dargestellt.

⁵⁷⁶ Vgl. Alwert et al. (Leitfaden Maßnahmen managen): 2014, S. 20.

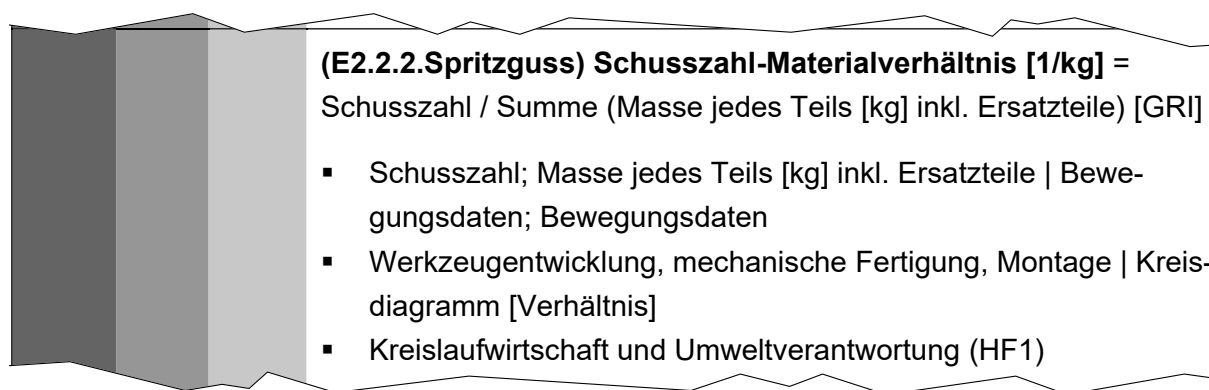


Abbildung 5.79: Auszug aus der der Tabelle mit der Zuordnung der Kennzahlen zu Handlungsfeldern als Steuergrößen⁵⁷⁷

An dieser Stelle sollen zwei für die Steigerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau besonders relevante Maßnahmen hervorgehoben werden. Dies sind zum einen der CO₂e-Werkzeugpass zur Messung der CO₂e-Emissionen bei der Werkzeugherstellung und die aus einem Forschungsprojekt hervorgegangene ReUse-Plattform zum Handel mit gebrauchten Werkzeugen.

5.5.4.1 Exkurs: Emissionsmessung auf Produktebene im Werkzeugbau

Die evidenten Auswirkungen des Menschen auf die globalen Ökosysteme haben eine gesteigerte Relevanz von Maßnahmen zur zeitnahen und effizienten Reduzierung der Umweltauswirkungen industrieller Produktion zur Folge. In der Konsequenz sind Unternehmen in zweifacher Hinsicht motiviert, Informationen über ihre Umweltauswirkungen offenzulegen. Einerseits wird die Nachhaltigkeitsleistung ein immer wichtigeres Unterscheidungsmerkmal bei Beschaffungsentscheidungen sein, andererseits geben zahlreiche Vorschriften den Unternehmen sowohl hilfreiche Anleitungen als auch Regeln für eine nachhaltige Neuausrichtung, Verwaltung und Finanzierung der Produktion an die Hand. Im Zusammenhang mit dem europäischen Green Deal⁵⁷⁸ schreiben mehrere Initiativen, darunter die Aktionspläne der Europäischen Kommission sowie die Verordnung über die umweltgerechte Gestaltung nachhaltiger Produkte (engl. Ecodesign Sustainable Product Regulation, ESPR) und die Initiative für nachhaltige Produkte (engl. Sustainable Product Initiative, SPI) LCA- und Kohlenstoffbilanzierungsmaßnahmen verbindlich vor. Diese Maßnahmen, die mitunter als „Regulierungs-Tsunami“⁵⁷⁹ bezeichnet werden, bergen das Potenzial, sich für viele Unternehmen als substanzielle Herausforderung zu erweisen.

Der CO₂e-Werkzeugpass beschäftigt sich im Allgemeinen mit der Messung und Bewertung von CO₂-Äquivalenten (CO₂e), die bei der Herstellung von Werkzeugen auf Produktebene

⁵⁷⁷ Eigene Darstellung

⁵⁷⁸ Vgl. European Commission (The European Green Deal): 2019.

⁵⁷⁹ Vgl. Val (Regulatory tsunami): 2021, S. 1.

emittiert werden. Er leitet einen methodischen Rahmen ab, um die geltenden Normen praxisgerecht zu homogenisieren und den Prozess der Kohlenstoffbilanzierung im Werkzeugbau zu standardisieren. Zu diesem Zweck wurde der T.e.r.r.a.-Ansatz (engl. Tools' Environmental Repercussions' Reasonable Assessment) entwickelt, ein hybrider Bottom-up-/Top-down-Ansatz, der die Erkenntnisse des CCF zur Verbesserung der PCFs nutzt, entwickelt. Obwohl eine ganzheitliche Ökobilanz wünschenswert ist, da sie ein umfassendes Bild der Auswirkungen eines Produkts liefert, muss dieser Rahmen in zwei wichtigen Aspekten eingeschränkt werden: Erstens basiert er absichtlich auf dem Fußabdruck-Ansatz und nicht auf einer vollständigen LCA. Ökobilanzen decken den gesamten Lebenszyklus über eine Reihe von Auswirkungen ab, während Fußabdrücke jeweils nur eine bestimmte Kategorie (hier: Klimawandel) behandeln. Aufgrund der vorgenommenen Vereinfachung ist der Fußabdruck intuitiver, leichter zu kommunizieren und weniger komplex, hat aber natürlich auch seine Grenzen.

Trotz berechtigter Kritik an der Methode der Fußabdruck-Analyse allgemein wird diese weiterhin präferiert, da sie eine systematische Bewertung klimarelevanter Emissionen ermöglicht, die als zentrale Voraussetzung für die Bekämpfung des Klimawandels angesehen werden. Zudem bieten sie eine überschaubare Komplexität. Zweitens beschränkt sich T.e.r.r.a. auf Cradle-to-Gate-Analysen, wobei die Produktnutzungs- und End-of-Life-Phase (EoL) ausgeklammert wird. Diese Vorgehensweise steht im Einklang mit den Empfehlungen von Experten, die darauf hinweisen, dass *„die [damit zusammenhängenden] Emissionen aufgrund der damit verbundenen hohen Unsicherheit, des Potenzials für verzerrte Vergleiche zwischen Fußabdrücken und des fast vollständigen Fehlens einer Kontrolle dieser Emissionen durch den Produkthersteller auszuschließen“* sind⁵⁸⁰. Der entwickelte und vom TÜV Rheinland nach ISO 14067:2018 zertifizierte T.e.r.r.a.-Ansatz bildet die Grundlage des CO₂e-Werkzeugpasses, welcher eine standardisierte Erhebung und Berechnung der CO₂e-Emissionen bei der Werkzeugherstellung ermöglicht. Zur Veranschaulichung wird die Plattform zur Datenerhebung und Auswertung dargestellt.

580 Vgl. Dias et al. (Comparison of methodologies for): 2012, S. 31.

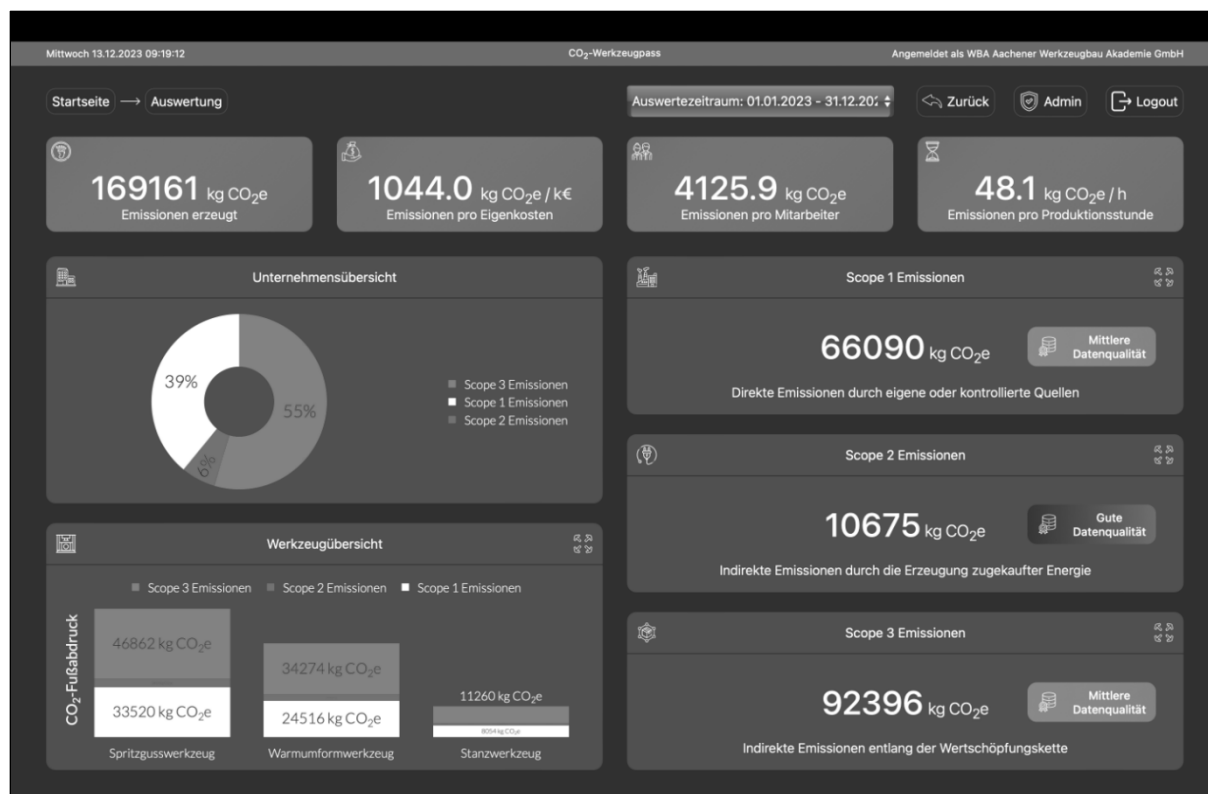


Abbildung 5.80: Screenshot der Plattform zur Datenerhebung und Auswertung des CO₂e-Werkzeugpass⁵⁸¹

5.5.4.2 Exkurs: Steigerung der Kreislaufwirtschaft im Werkzeugbau

Im Rahmen eines durch die DBU geförderten Forschungsprojekt⁵⁸² wurde die Plattform „Tool2Share“ von WZL, WBA und i2solutions entwickelt und im Anschluss durch die WBA weiterbetreut. Der Autor war an der Bearbeitung des Forschungsprojekts beteiligt und hat die Ergebnisse des Projekts 2023 auf der 19. Global Conference on Sustainable Manufacturing in Buenos Aires vorgestellt⁵⁸³. Die folgende Beschreibung ist dem Abschlussbericht entnommen⁵⁸⁴.

Der Leitgedanke der Nachhaltigkeit gewinnt sowohl gesellschaftlich als auch wirtschaftlich zunehmend an Bedeutung, wobei insbesondere die Kreislaufwirtschaft zur Verlangsamung, Schließung und Transformation biologischer und technischer Stoffkreisläufe von zentraler Bedeutung ist. Die Werkzeugbaubranche, als Schlüsselindustrie in der industriellen Fertigung, sieht sich in ihrer Funktionalität und Wettbewerbsfähigkeit mit der Herausforderung konfrontiert, das Ausmaß der Umwelteinwirkung von Produktionsprozessen, Produkten und Dienstleistungen sowie der zur Produktion notwendigen Betriebsmittel zu reduzieren. Dies umfasst

⁵⁸¹ Vgl. Boos et al. (CO2-Werkzeugpasses): 2024, S. 1.

⁵⁸² Tool2Share – Entwicklung einer B2B-Plattform für den ReUse von Werkzeugen und Werkzeugkomponenten, Forschungsprojekt gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU): 2021-2023

⁵⁸³ Vgl. Schuh et al. (Collaboration platform for the reuse of tools): 2025, S. 350–359.

⁵⁸⁴ Vgl. Härtel et al. (DBU-Abschlussbericht): 2023, S. 1.

die Minimierung der direkt sowie indirekt verursachten Umweltbelastungen der stark linear ausgeprägten Geschäftstätigkeiten der Branche. Ziel des Forschungsvorhabens war daher die Entwicklung einer B2B-Plattform für den ReUse von Werkzeugen und Werkzeugkomponenten sowie des dazugehörigen Geschäftsmodells zur innovativen Schließung des Stoffkreislaufs der Branche Werkzeugbau.⁵⁸⁵ Zur Veranschaulichung des Forschungsprojekts ist in Abbildung 5.81 eine Seite der ReUse-Plattform abgebildet, die beispielhafte gebrauchte Werkzeugkomponenten und fiktive Preise zeigt.

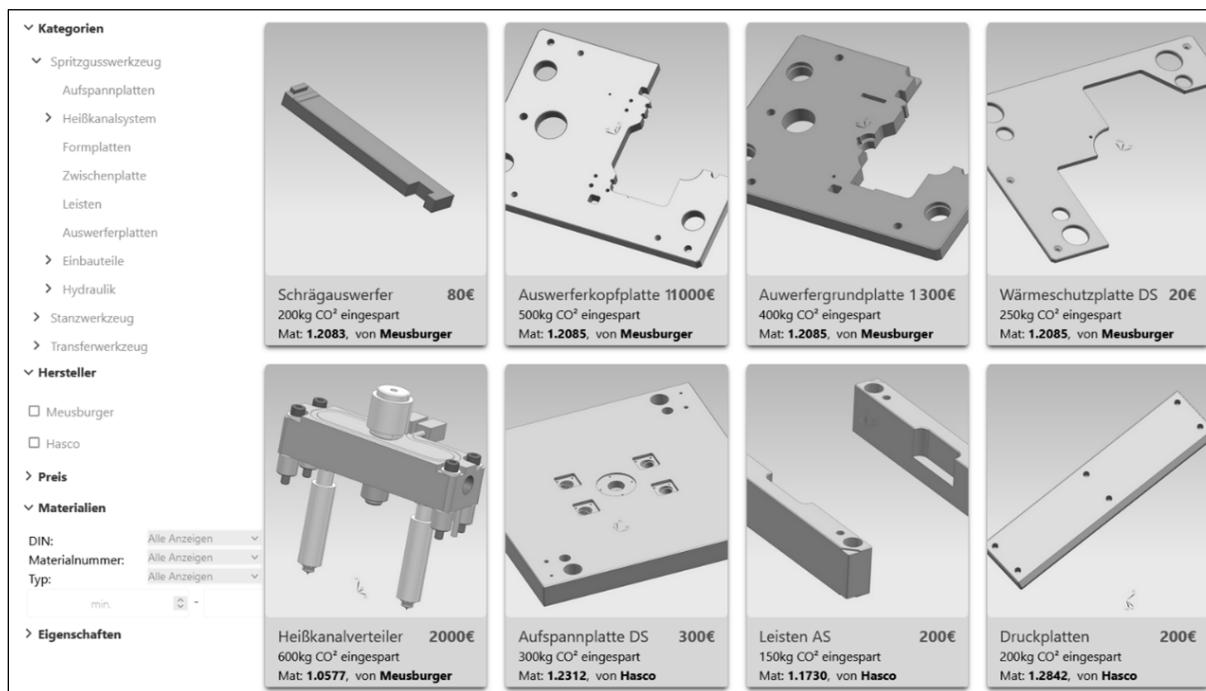


Abbildung 5.81: Screenshot der ReUse-Plattform Tool2Share⁵⁸⁶

Der Fokus der Untersuchung lag auf dem Zusammenspiel der Themenschwerpunkte Nachhaltigkeit und Digitalisierung. Die B2B-Plattform zielt darauf ab, den Handel sowie die Bewertung von genutzten Werkzeugen und Werkzeugkomponenten zu ermöglichen. Wesentliche Elemente der beschriebenen Lösung sind die Bewertungssystematik sowie die Darstellung der kaufentscheidenden Daten, wie beispielsweise die Oberflächengüte und Standzeiten des Werkzeugs in der digitalen Darstellung, dem sogenannte „digitale Schatten“. Der „digitale Schatten“ umfasst die Entwicklung, die Produktion, die Nutzung und die Reverse-Logistik des Werkzeugs und gewährleistet so die Transparenz der Daten für den Käufer. Ein fälschungssicherer Datentransfer stellt ebenfalls einen zentralen Aspekt der Lösung dar.⁵⁸⁷

Der Showcase beim AWK'23 von BMW Werkzeugbau Landshut, unterstützt durch f3nice und WBA, demonstriert die Weiterführung der Kreislaufwirtschaft über den Ansatz der Plattform „Tool2share“ zur Nutzungsverlängerung. Der Autor war an der Ausarbeitung des Showcases

⁵⁸⁵ Vgl. Härtel et al. (DBU-Abschlussbericht): 2023, S. 1.

⁵⁸⁶ Vgl. Härtel et al. (DBU-Abschlussbericht): 2023, S. 17.

⁵⁸⁷ Vgl. Härtel et al. (DBU-Abschlussbericht): 2023, S. 1.

beteiligt, dessen Inhalt im Folgenden dargestellt wird⁵⁸⁸. Das Ziel von BMW war die Erleichterung der Wiederverwendung von Bauteilen in verschiedenen nachgelagerten Werkzeugen durch einen hohen Standardisierungsgrad. In den vergangenen Jahren hat BMW Werkzeugbau Landshut bereits schätzungsweise 10 % der Bauteile in nachgelagerten Werkzeugen wiederverwendet, aktuell sind es über 40 %. Dieser Wert liegt signifikant über dem der Vergleichsgruppen. Zur Veranschaulichung des Vorgehens erfolgt eine Kategorisierung der Werkzeugkomponenten in folgende drei Gruppen:

- **Szenario 1: ReManufacture:** Nachdem eine Form nicht mehr benötigt wird, kann das Grundgerüst der Kavität zur Herstellung einer neuen Kavität für einen anderen Artikel in einer neuen Form verwendet werden.
- **Szenario 2: RePair & ReCycle:** Eine schließende Kavität kann auf zwei Arten repariert werden. Die Reparatur ersten Grades umfasst die Wiederherstellung durch Fräsen und Laserauftragsschweißen (DED). Wird das abgefräste Pulver beim Laserauftragsschweißen verwendet, spricht man von Closed-Loop-Recycling.
Bei der Reparatur zweiten Grades werden nicht mehr nutzbare Bereiche einer Kavität abgefräst. Die dabei anfallenden Späne werden dann zur Herstellung des Rohmaterials für den metallischen 3D-Druck (L-PBF) verwendet. Schließlich wird die Kavität mit L-PBF repariert und wiederverwendet. Auch hier wird eine Kreislaufwirtschaft geschaffen.
- **Szenario 3: ReUse:** Nachdem eine Form ausgemustert wurde, wird der gebrauchte Formrahmen in eine neue Form eingebaut und wiederverwendet. Auf diese Weise kann ein Formrahmen potenziell in mehreren Formen verwendet werden.

Die beschriebenen Szenarien sowie die dazu geeigneten Werkzeugkomponenten sind an einem konkreten Werkzeugbeispiel von BMW in Abbildung 5.82 dargestellt. Das Ergebnis des Showcases ist die Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft für Werkzeuge, die einen deutlich besseren ökologischen Fußabdruck aufweist, sowie eine Steigerung der Zirkularitätsrate auf über 60 %.⁵⁸⁹

⁵⁸⁸ Showcase von BMW Werkzeugbau Landshut, f3nice und WBA im Rahmen des WZL und Fraunhofer IPT (AWK'23, Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium „From Black to Green Production“): 2023

⁵⁸⁹ Showcase von BMW Werkzeugbau Landshut, f3nice und WBA im Rahmen des WZL und Fraunhofer IPT (AWK'23, Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium „From Black to Green Production“): 2023

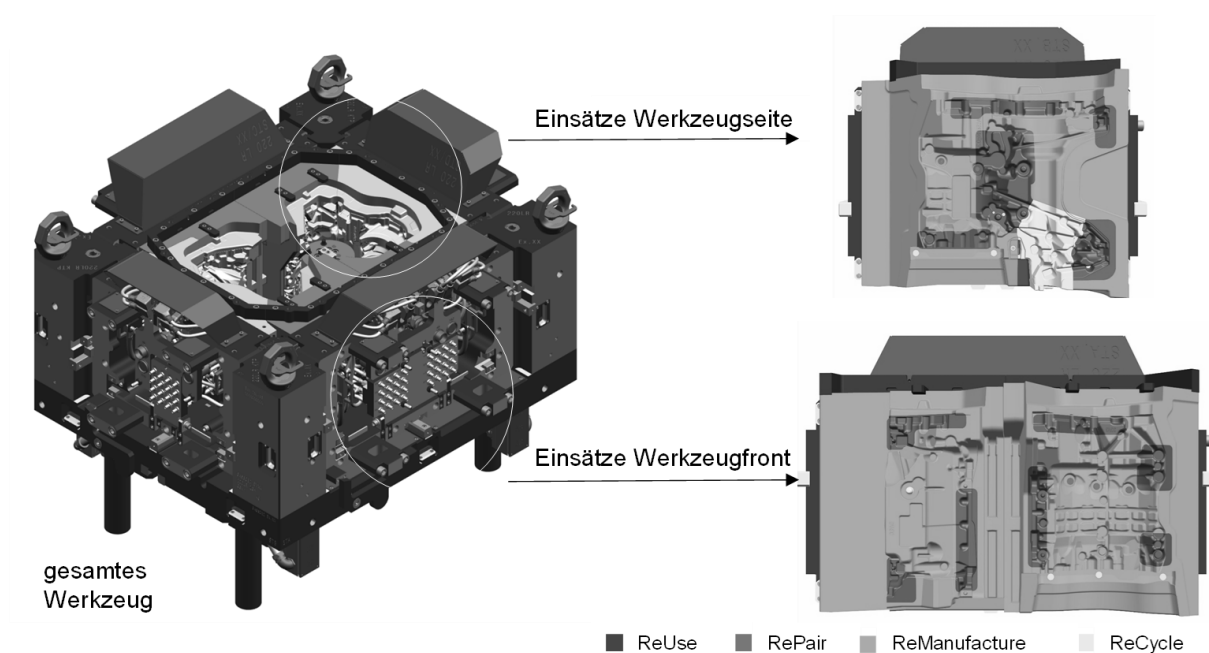


Abbildung 5.82: Druckgießwerkzeug mit Zuordnung dessen Komponenten zu potenziellen Kreislaufsznarien des BMW Werkzeugbau Landshut⁵⁹⁰

5.6 Wechselwirkung der Gestaltungselemente

Das in Kapitel 4 dargestellte Konzept wurde im vorliegenden Kapitel in fünf Gestaltungselemente detailliert beschrieben. Diese Gestaltungselemente stellen konkrete Ansätze zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau dar. Da zwischen den entwickelten Gestaltungselementen Wechselwirkungen bestehen, ist eine isolierte Betrachtung dieser nicht möglich.

Die **Erfolgsfaktoren des Zielbilds „Nachhaltiger Werkzeugbau“** stellen den Ausgangspunkt und die übergeordnete Ausrichtung aller folgenden Gestaltungselemente dar. Das Zielbild des nachhaltigen Werkzeugbaus wurde anhand von strategischen Zielen und Teilzielen beschrieben, die ihrerseits durch Erfolgsfaktoren konkretisiert wurden. Abschließend wurde eine Methode für die unternehmensindividuelle Bewertung und damit der Gewichtung der Ziele und Erfolgsfaktoren dargestellt. Die so ermittelten Ziele und Erfolgsfaktoren stellen die Grundlage für die Bewertung der Kennzahlen des entwickelten Kennzahlensystems dar, wobei die Erfolgsfaktoren zudem den Ausgangspunkt für die Wahl der Handlungsfelder im letzten Gestaltungselement bilden.

Das **Kennzahlensystem** definiert zunächst die benötigten Kennzahlen, die sich aus den zuvor definierten Zielen und Erfolgsfaktoren ableiten lassen. Die Abhängigkeit der Kennzahlen zueinander stellt eine wichtige Bewertung der einzelnen Kennzahl für die Gesamtheit der Kenn-

⁵⁹⁰ Showcase von BMW Werkzeugbau Landshut, f3nice und WBA im Rahmen des WZL und Fraunhofer IPT (AWK'23, Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium „From Black to Green Production“): 2023

zahlen dar, wobei jedoch zu beachten ist, dass diese Beziehung nur innerhalb des Gestaltungselements besteht. Die Bewertung der Kennzahlen in Bezug auf die Zielerreichung stellt die Beziehung zum vorherigen Gestaltungselement her.

Die **Anforderungen an die Datenerfassung** stehen in unmittelbarer Verbindung mit den zuvor definierten Kennzahlen, wobei die für die Berechnung der hergeleiteten Kennzahlen benötigten Eingangsgrößen definiert werden. Diese sind wiederum Datengruppen zugeordnet, über die die Anforderungen an die Datenerfassung eindeutig beschrieben werden.

Die **Stakeholder-Kommunikation** stellt das erste der beiden nutzenstiftenden Gestaltungselemente dar, nachdem die ersten drei Gestaltungsfelder der Definition und des Aufbaus des Kennzahlensystems gedient haben. In diesem Gestaltungselement sind die relevanten Anspruchsgruppen des Werkzeugbaus für die interne Steuerung definiert. Jeder relevanten Anspruchsgruppe sind Informationsbedarf und Anforderungen an die Visualisierung dieser zugeordnet. Auf dieser Grundlage ist die jeweils anspruchsgerechte Facette des Kennzahlensystems beschrieben und dargestellt. An dieser Stelle greift das Gestaltungselement auf die Inhalte der vorausgegangenen Gestaltungselemente zurück, um die relevanten Informationen in Form von Kennzahlen bereitstellen zu können.

Das finale Gestaltungselement des Gestaltungsmodells widmet sich den **Handlungsfeldern und Steuerungsgrößen**. Im Falle der Identifikation von Handlungsbedarf durch eine der zuvor identifizierten Anspruchsgruppen auf Grundlage der Darstellung des Kennzahlensystems stellt dies den Ausgangspunkt für dieses Gestaltungselement dar. Die im ersten Gestaltungselement definierten Erfolgsfaktoren bilden die Grundlage für die Definition der Handlungsfelder. Die Handlungsfelder werden anhand von Aufwand und Nutzen sowie zeitlicher Dringlichkeit priorisiert und den einzelnen Handlungsfeldern Kennzahlen aus dem Kennzahlensystem zugeordnet. Die Kennzahlen dienen als Steuerungsgrößen und bilden einen Regelkreis zwischen Zielen und den Geschäftsprozessen im Werkzeugbaubetrieb.

Die detaillierte Beschreibung der Wechselwirkung der fünf Gestaltungselemente und deren Gestaltungsaspekte offenbart die komplexen Beziehungen innerhalb des Gestaltungsmodells, die in den einzelnen Kapiteln durch Verweise nachvollziehbar werden. Es wird deutlich, dass die Erfüllung der in Kapitel 3.2 definierten Anforderungen an die Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau nur durch die Umsetzung des gesamten Gestaltungsmodells gewährleistet werden kann.

6 Validierung anhand von Fallbeispielen

„[T]esten kann dazu dienen, das Vorhandensein von [Fehlern] nachzuweisen, aber niemals, um ihr Fehlen nachzuweisen.“⁵⁹¹

Edsger W. DIJKSTRA, Informatiker

In Kapitel 5 wurde ein Kennzahlensystem zur erfolgreichen Steuerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau detailliert dargestellt. In diesem Kapitel erfolgt die Validierung des Gestaltungsmodells anhand von drei Fallbeispielen, wodurch die Anwendbarkeit des entwickelten Ansatzes in der Praxis geprüft wird. Die Validierung adressiert die finalen beiden Phasen der angewandten Forschung nach ULRICH – das Prüfen der Regeln und Modelle im Anwendungszusammenhang sowie die Beratung und Implementierung in der Praxis – und vollendet somit den Forschungsprozess (vgl. Kapitel 1.5).

Die Validierung erfolgt anhand von Fallbeispielen bei den Unternehmen Fritz Stepper GmbH & Co. KG, Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH und ENGL Werkzeugbau GmbH. Diese Unternehmen sind führende Werkzeugbaubetriebe für den Spritzguss sowie die Blechverarbeitung im deutschsprachigen Raum. Die Unternehmen **Fritz Stepper GmbH & Co. KG** und **Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH** begleiten das Forschungsvorhaben als Partner im gemeinsamen Forschungsprojekt „SUSKEY“⁵⁹² und haben somit einen Teil der Entwicklung begleitet. Die **ENGL Werkzeugbau GmbH** ist in Bezug auf Nachhaltigkeitsbestrebungen im Werkzeugbau Vorreiter und stellt somit eine wichtige Referenz für die Validierung dar. Im Fokus der Validierung stand hier das vollständige Gestaltungsmodell für den unbeteiligten Anwendende.

6.1 Fallbeispiel 1: Fritz Stepper GmbH & Co. KG

Die 1965 gegründete Fritz Stepper GmbH & Co. KG ist ein im Bereich Werkzeugbau und Blechverarbeitung tätiges Unternehmen, das sich als Vorreiter in der nachhaltigen Stanzwerkzeugkonstruktion etabliert hat. Mit rund 200 Mitarbeitenden verbindet das Unternehmen technologische Innovationen mit einem umfassenden Engagement für Nachhaltigkeit. Neben der Entwicklung fortschrittlicher Technologien, wie dem weltweit ersten modular aufgebauten Stanzwerkzeug, setzt das Unternehmen auf lokale Zulieferer, papierlose Fertigung und eine kontinuierliche Modernisierung des Maschinenparks, um Rohmaterial und Energie effizient zu nutzen. Seit 2021 wird ein eigenes Blockheizkraftwerk für die Energieerzeugung und Wärmereückgewinnung eingesetzt und seit 2023 eine eigene Photovoltaikanlage betrieben, was den Fokus und das Investment in die ökologische Nachhaltigkeit unterstreicht.

⁵⁹¹ [Übers. d. Verf.] Vgl. Vereinte Nationen (Agenda 2030): 2015, S. 13.

⁵⁹² SUSKEY – Sustainability KPIs zur Messung und Steuerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau, Forschungsprojekt gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU): 2024-2025

Soziale Nachhaltigkeit stellt ebenfalls einen zentralen Bestandteil der Unternehmensphilosophie dar. Die Mitarbeitenden werden als „Mitunternehmer“ eingebunden und durch Erfolgsbeteiligungen motiviert. Die hohe Ausbildungsquote, die zahlreichen sozialen Projekte und die aktive Beteiligung an Nachhaltigkeitsinitiativen sind Ausdruck der umfassenden Zukunftsinvestitionen des Unternehmens. Die Fritz Stepper GmbH & Co. KG leistet durch die Teilnahme an Projekten wie dem WBA-Projekt zur „Messbarmachung der Nachhaltigkeit“⁵⁹³ oder dem Forschungsprojekt „SUSKEY“ wesentliche Beiträge zur Weiterentwicklung des Werkzeugbaus hin zu mehr Nachhaltigkeit.

Das Fallbeispiel der Fritz Stepper GmbH & Co. KG dient der Validierung der vorliegenden Arbeit im Bereich des nachhaltigen Werkzeugbaus der Blechverarbeitung. Der dargestellte Ansatz wird durch die Untersuchung spezifischer Unternehmensansätze und praxisnaher Erkenntnisse zu technologischem Fortschritt, sozialen Aspekten und organisatorischen Innovationen kritisch reflektiert.

6.1.1 Anwendung

„Mit den besten Mitarbeitenden und Maschinen die besten Stanzwerkzeuge produzieren.“⁵⁹⁴

Fritz Stepper, Gründer der Fritz Stepper GmbH & Co. KG

Die **Erfolgsfaktoren des Zielbilds „Nachhaltiger Werkzeugbau“** des Unternehmens orientieren sich an traditionellen Parametern wie der Minimierung von Durchlaufzeiten, der Vermeidung von Fehlern und der Optimierung des Outputs. Diese klassischen Ziele werden durch die Innovationskraft und die Weiterentwicklung von Maschinen und Mitarbeitenden ergänzt. Das einleitende Zitat verdeutlicht die Ausrichtung auf die Perfektion der Stanzwerkzeuge. Kennzahlen werden im Unternehmen weitgehend offen kommuniziert, um Transparenz zu schaffen. Bestimmte Kennzahlen, wie Löhne, Preise oder personalkritische Themen, unterliegen jedoch einer strategischen Zurückhaltung. Eine unternehmensspezifische Auswahl relevanter Kennzahlen aus den in der vorliegenden Arbeit dargestellten Kennzahlen findet bei der Fritz Stepper GmbH & Co. KG Anwendung. Technologischer Fortschritt und eine Fertigungstiefe von nahezu 100 % spielen dabei eine zentrale Rolle. Das Unternehmen verfolgt den Anspruch, Technologieführer zu sein, und setzt auf Innovationen sowie die kontinuierliche Weiterentwicklung. Dies zeigt sich auch in der Einführung neuer Maschinen, wie etwa der Einführung von Laserbearbeitungszentren, sowie in der Arbeit mit einem umfangreichen eigenen Pressenpark zu dem 42 Stanzpressen gehören. Der Fokus liegt demnach auf den traditionellen Zielen, wobei auch soziale und ökologische Ziele verfolgt werden, wenngleich diese bislang nicht explizit festgeschrieben wurden.

⁵⁹³ Konsortialprojekt der WBA „Messbarmachung der Nachhaltigkeit – Kennzahlensystem für den nachhaltigen Werkzeugbau“, 2023

⁵⁹⁴ Gespräch im Rahmen der Validierung mit Herr Ast der Fritz Stepper GmbH & Co. KG: 2024

In der praktischen Anwendung zeigt sich, dass das **Kennzahlensystem** eine flexible und situative Gestaltung aufweist. Klassische Standardkennzahlen wie Soll-Ist-Vergleiche und Termintreue sind stets präsent und werden regelmäßig überwacht, während situativ und unternehmensspezifisch Kennzahlen hinzukommen, die durch aktuelle Trends oder Marktgegebenheiten relevant werden. Die Selektion und Bewertung der auszuwählenden Kennzahlen erfolgen aktuell aus der Erfahrung. Die bei der Fritz Stepper GmbH & Co. KG angewendeten Kennzahlen lassen sich grundsätzlich in „harte“ und „weiche“ Kennzahlen unterteilen. Zu den „harten“ Kennzahlen gehören klar messbare Größen wie Produktionsleistung, Materialverbrauch und Output, die insbesondere von den Abteilungsleitern verantwortet und in festgelegten Intervallen aktualisiert werden. Kennzahlen dieses Typs sind stark operativ ausgerichtet und dienen der direkten Steuerung der Produktionsprozesse. Kennzahlen des „weichen“ Typs umfassen qualitative, weniger direkt messbare Aspekte, wie das Arbeitsumfeld, Schulungen und Investitionen in den Maschinenpark oder in die Energierückführung. Für diese Kennzahlen wird bewusst kein festes Budget vorgegeben, um kurzfristige Entscheidungen und eine flexible Reaktion auf Veränderungen zu ermöglichen. Die Wechselwirkungen der Kennzahlen untereinander werden aktuell nicht explizit berücksichtigt.

Es wird explizit Wert daraufgelegt, dass die Kennzahlen lebendig und dynamisch bleiben, wobei die Auslegung der Kennzahlen eine entscheidende Rolle spielt. Neben klassischen Managementkennzahlen werden auch menschliche Aspekte berücksichtigt, um eine sinnvolle Balance zwischen messbaren Zielen und der langfristigen Entwicklung der Arbeitsbedingungen zu schaffen. Exemplarisch sei hier das Engagement in kulturellen und sozialen Projekten genannt, etwa die Patenschaft für Bienen oder die Förderung sportlicher Aktivitäten. Diese Maßnahmen tragen zur Weiterentwicklung der Unternehmenskultur bei und spiegeln sich auch in Prämien oder zusätzlichem Urlaubsgeld wider, durch die Mitarbeitende unmittelbar am Erfolg beteiligt werden.

Das Kennzahlensystem ist außerdem auf verschiedenen Ebenen im Unternehmen verankert. Mitarbeitende mit Führungsverantwortung arbeiten mit Kennzahlen: auf der Ebene der Abteilungsleiter, die für die Steuerung „harter“ Kennzahlen im operativen Bereich zuständig sind, oder Gruppenleiter, die spezifische Zielvorgaben erhalten. Diese Vorgaben werden innerhalb der Arbeitsplanung in Zeitziele für die Teams übertragen. Eine strikte Einteilung der Kennzahlen in soziale, ökologische oder ökonomische Kategorien erfolgt im Unternehmen nicht. Nichtsdestotrotz sind alle Dimensionen in der Praxis vorhanden und fließen in die Bewertung mit ein.

Die **Datenerfassung** bei der Fritz Stepper GmbH & Co. KG erfolgt umfassend und in einem durch einen hohen Grad an Digitalisierung charakterisierten Fertigungsprozess. Mithilfe von Barcodes und RFID-Technologie werden Fertigungsaufträge sowie weitere Informationen systematisch erfasst und zugeordnet. Die erfassten Daten decken eine Vielzahl von Bereichen ab, darunter Stückzahlen, Materialverbrauch, Konstruktionsstunden, Kundentermine, Termintreue, Ausfallanalysen und Stillstandszeiten. Ein signifikanter Anteil dieser Kennzahlen steht kontinuierlich und in Echtzeit zur Verfügung und kann digital abgerufen werden. Einige Daten werden zwar manuell erfasst, folgen dabei jedoch möglichst standardisierten Verfahren durch Formulare und Dropdown-Menüs. Zudem findet eine systemseitige Validierung der Angaben statt, indem beispielsweise Stückzahlen und Materialverbrauch abgeglichen werden. Ergänzt

werden diese Informationen durch Qualitätsdaten aus CRQ- und CAQ-Systemen sowie durch Daten aus der Serienproduktion.

Die Erfassung und Verarbeitung der Daten erfolgen über ein unternehmensspezifisch programmiertes ERP-System, das gezielt auf die Anforderungen der Fritz Stepper GmbH abgestimmt ist. Innerhalb dieses Systems erfolgt eine Unterteilung der Daten in Stammdaten, Bestandsdaten und Bewegungsdaten. Stammdaten, wie etwa Kundendaten oder Produktdaten, sowie Bestandsdaten, wie etwa Lagerbestände oder offene Posten, spielen hierbei eine zentrale Rolle. Auch Bewegungsdaten wie Bestellungen und Lagerbewegungen sind essenziell für die Steuerung der Prozesse. Darüber hinaus können weitere Daten, wie beispielsweise Bezugsgrößen, etwa Vergleichswerte wie Vorjahresumsätze oder Durchschnittskosten, sowie externe Daten, wie Marktforschungsdaten oder Wetterinformationen, sinnvoll in das System integriert werden. Diese Erweiterungen bieten das Potenzial, strategische Analysen zu vertiefen und die Entscheidungsgrundlage zu verbessern. Insgesamt wird über den gesamten Prozess hinweg eine große Menge an Daten gesammelt. Allerdings werden viele dieser Daten nicht vollständig analysiert, sodass ihr Potenzial teilweise ungenutzt bleibt. Ebenso werden nicht alle verfügbaren Kennzahlen permanent überwacht und benötigt, sondern der Fokus wird gezielt auf relevante Kennzahlen gelegt, die für die aktuelle Entscheidungsfindung von Bedeutung sind.

Die **Kommunikation an interne Anspruchsgruppen** innerhalb der Fritz Stepper GmbH & Co. KG basiert auf einer klassischen Organisationsstruktur mit klaren Hierarchieebenen, die dennoch flach gehalten sind. Die Struktur umfasst Geschäftsführer, Prokuristen, Abteilungsleiter, Teamleiter sowie Teams. Übergreifende Schnittstellen und Querknoten sorgen dafür, dass Informationen effizient weitergegeben und bereichsübergreifend ausgetauscht werden können. Aufgrund der Unternehmensgröße übernehmen einzelne Mitarbeitende zusätzlich Querschnittsthemen wie beispielsweise das Nachhaltigkeitsmanagement. Externe Akteure gewinnen zunehmend an Bedeutung, insbesondere im Hinblick auf das Thema Nachhaltigkeit, das für die Kunden immer wichtiger wird. Hier spielt die Integration in die Produktionsketten eine zentrale Rolle. Entlang der Wertschöpfungskette ist neben dem Kunden- ebenfalls der Lieferantenkontakt bedeutend. Der Wareneingang wird dabei lückenlos erfasst, um die Kommunikation und Transparenz entlang der Wertschöpfungskette zu optimieren. Ein weiterer Aspekt betrifft die Berichterstattung zur Nachhaltigkeit. Derzeit erfolgt die Kommunikation zu diesem Thema noch nicht in einem einheitlichen Bericht, sondern die Kunden erhalten erste Einblicke, beispielsweise in Form von Angaben zu Maschinenstunden und dem entsprechenden Energieverbrauch. Es besteht jedoch die Möglichkeit, die Berichterstattung weiter zu strukturieren und konkrete Kennzahlen zu ergänzen, um die Entwicklung und Fortschritte im Bereich der Nachhaltigkeit noch transparenter und greifbarer darzustellen.

Für eine zielgerichtete Kommunikation ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Kennzahlen für die jeweiligen Empfänger greifbar und verständlich dargestellt werden. Aus Sicht des Unternehmens ist eine Auswahl von fünf bis zehn Kennzahlen ausreichend, um relevante Entwicklungen klar abzubilden. Die Darstellung erfolgt über das ERP-System des Unternehmens. Hierbei werden Zahlen durch farbliche Unterlegungen ergänzt, um die Interpretation zu

erleichtern und den Wert der Kennzahlen nachvollziehbar zu machen. Darüber hinaus ermöglicht das ERP-System den Mitarbeitenden den Zugriff auf verschiedene Informationen, wie beispielsweise das Termintracking, wodurch eine transparente und zeitnahe Kommunikation sichergestellt wird. Die Verknüpfung von Wert und Sinn spielt hierbei eine entscheidende Rolle, um die Kennzahlen nicht nur als reine Zahlenwerte zu vermitteln, sondern auch deren Bedeutung und Relevanz klar herauszustellen.

Die Fritz Stepper GmbH & Co. KG definiert **Handlungsfelder und Steuerungsgrößen** als Optimierungspunkte. Diese bilden sich aus den vorhandenen Kennzahlen ab und tragen zur Erreichung strategischer Ziele bei. Die bestehenden Handlungsfelder betreffen zentrale Bereiche des Unternehmens, welche für den langfristigen Erfolg von entscheidender Bedeutung sind. Ein wesentliches Handlungsfeld stellt hierbei die Digitalisierung dar, die als unabdingbare Voraussetzung angesehen wird, um die Wettbewerbsfähigkeit der Produktion in Deutschland aufrechtzuerhalten. In engem Zusammenhang damit steht die Fertigungstechnologie, die höchste Präzision und Qualität erfordert. Es wurde betont, dass ohne technologischen Fortschritt eine Produktion in Deutschland nicht realisierbar wäre. Ein Beispiel hierfür sind neuartige Laserbearbeitungsverfahren, die im Gegensatz zu klassischen Fräsverfahren keinen Verschleiß verursachen. Darüber hinaus spielt das soziale Handlungsfeld eine zentrale Rolle. Die Fritz Stepper GmbH & Co. KG betont hierbei, Mitarbeitenden eine angemessene Gegenleistung für ihre Arbeit zu bieten und gleichzeitig Arbeitsbedingungen zu schaffen, die eine hohe Motivation und Zufriedenheit fördern. Weitere Handlungsfelder betreffen die allgemeine Wirtschaftlichkeit, die durch Effizienzsteigerung in den Prozessen und technologische Optimierungen verfolgt wird, sowie die additive Fertigung, die als innovative Ergänzung zur bestehenden Fertigung betrachtet wird. Die Kennzahlen des Unternehmens spielen eine zentrale Rolle bei der Steuerung der Handlungsfelder. Das Unternehmen nutzt diese, um positive und erfolgreiche Entwicklungen darzustellen sowie Handlungsbedarf und Optimierungspotenziale zu erkennen.

6.1.2 Fazit

Das vorliegende Fallbeispiel der Fritz Stepper GmbH & Co. KG veranschaulicht die praktische Anwendbarkeit und Effektivität des in der vorliegenden Arbeit dargelegten Ansatzes zur Nachhaltigkeitsmessung. Das Unternehmen zeichnet sich durch eine Kombination aus technologischer Innovation und nachhaltigkeitsorientierten Maßnahmen aus, die eine differenzierte Analyse ermöglichen. Besonders hervorzuheben ist die Anwendung eines flexiblen Kennzahlensystems, welches sowohl „harte“ als auch „weiche“ Faktoren integriert. Die offene Kommunikation der Kennzahlen in Kombination mit situativer Anpassung demonstriert die Fähigkeit des Kennzahlensystems, spezifische Unternehmensziele in den Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales zu fördern. Zugleich wurde ersichtlich, dass die Definition und Gewichtung von Zielen und Erfolgsfaktoren in einer Korrelationsmatrix ein strukturiertes Vorgehen ermöglichen, um die Relevanz einzelner Kennzahlen für die Zielerreichung transparent zu machen.

Das Fallbeispiel verdeutlicht zudem, dass eine gezielte Fokussierung auf relevante Kennzahlen erforderlich ist, um den Aufwand der Datenanalyse auf ein sinnvolles Maß zu beschränken. Dabei bleibt es entscheidend, die vorhandenen Daten zielgerichtet einzusetzen, ohne auf eine

umfassende Erfassung grundlegender Informationen zu verzichten. Diese Balance ermöglicht eine effektive Steuerung, die gleichzeitig auf operative Effizienz und langfristige Zielsetzungen abzielt.

6.2 Fallbeispiel 2: Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH

Die Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH, ein 1990 gegründetes Unternehmen, hat sich als hochspezialisierter Anbieter von Spritzgießformen bis zu einer Größe von 6,3 Tonnen etabliert. Mit einem Team von etwa 25 Mitarbeitenden bedient das Unternehmen nationale und internationale Kunden aus einer Vielzahl von Branchen, darunter Automotive, Powertools, Weiße Ware, Medizintechnik und Spielwaren. Das Unternehmen hat sich auf die Lösung komplexer Anforderungen spezialisiert und produziert technisch anspruchsvolle Formen, wie Mehrkomponenten-, Gasinnendruck- und Ausschraubwerkzeuge. Die Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH ist ein herausragender Werkzeugbaubetrieb in Deutschland, was sich unter anderem in einem Gesamtsieg sowie sechs weiteren Auszeichnungen in der Kategorie „Externer Werkzeugbau unter 50 Mitarbeitenden“ beim Wettbewerb EIP zeigt. Im März 2023 zog die Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH in ein neues, hochmodernes Firmengebäude, das zu den fortschrittlichsten Formenbaubetrieben Europas zählt. Bei der Konzeption und Errichtung des Gebäudes wurden Aspekte der Nachhaltigkeit umfassend berücksichtigt, einschließlich einer effizienten Wärme- und Kälterückgewinnung, einer großflächigen Photovoltaikanlage, dem KfW-Standard „Effizienzhaus 55“ sowie einer automatisierten Licht- und Jalousiensteuerung.

Die angestrebte Vorreiterrolle im Bereich der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau wird durch die Kooperation mit Forschungseinrichtungen, wie beispielsweise im Rahmen des Forschungsprojekts „SUSKEY“ unterstützt. Die Entwicklung eines Bewertungsmodells, das die Umsetzung und Planung von Nachhaltigkeitsmaßnahmen unterstützt, ist dabei von besonderer Bedeutung. Die Herausforderungen, die sich aus der Einzel- und Kleinserienfertigung sowie der geringen Standardisierung aufgrund der breiten Kunden- und Produktpalette ergeben, erfordern die Schaffung eines praxistauglichen Kosten-Nutzen-Verhältnisses für die Kennzahlenerfassung. Die Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH reagiert auf diese Herausforderungen, indem sie technologische Exzellenz mit einem klaren Engagement für ökologische Verantwortung verbindet. Damit stellt sich die Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH den Anforderungen einer nachhaltigen Zukunft.

6.2.1 Anwendung

„Wachstum ist nicht unser Unternehmensziel“⁵⁹⁵

Christopher Faßnacht, Geschäftsleiter Administration des Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH

Die **Erfolgsfaktoren des Zielbilds „Nachhaltiger Werkzeugbau“** der Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH sind bewusst flexibel und pragmatisch formuliert, mit einem klaren Fokus auf Qualität und einem positiven Arbeitsklima. Dabei wird weniger auf eine präzise Definition der Ziele gesetzt, sondern vielmehr darauf, dass sich am Ende ein stimmiges Gesamtergebnis zeigt. Diese Herangehensweise erlaubt es dem Unternehmen, auf Basis von Erfahrung sicherzustellen, dass die gewünschten Standards eingehalten werden. Ein zentraler Erfolgsfaktor der Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH ist die Fokussierung auf Stabilität anstelle von Wachstum, da weder Umsatzsteigerung noch eine Vergrößerung des Teams angestrebt werden, sondern vielmehr die Bewahrung einer verlässlichen Unternehmensstruktur. Die Implementierung einer schlanken Organisation mit kurzen Entscheidungswegen begünstigt diese Philosophie. Die geringe Größe des Unternehmens ermöglicht eine sehr direkte Kommunikation und eine hohe Flexibilität, was wiederum Raum für innovative Ansätze schafft. Neue Ideen entstehen oft aus dem Team heraus und werden agil umgesetzt, ohne langfristige Planungsprozesse oder vorgegebene Budgets.

In den zurückliegenden Jahren hat die Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH durch den Ausbau von Digitalisierung und Automatisierung eine signifikante Steigerung der Effizienz und des Umsatzes erzielt, wobei das Unternehmen seiner reaktiven Arbeitsweise beibehält, indem es flexibel an Marktveränderungen angepasst und ohne starre Branchenbindung agiert. Die Agilität stellt einen wesentlichen Bestandteil der Unternehmensstrategie dar und wird durch die schlanke Organisation sowie den hohen Grad an Eigenverantwortung der Mitarbeitenden unterstützt. Der in dieser Arbeit dargelegte Ansatz berücksichtigt diese Agilität, indem er durch die Nutzung digitaler Werkzeuge und Technologien die schnelle Entscheidungsfindung fördert. Ein interaktives System zur Erfassung und Nutzung von Kennzahlen könnte dabei helfen, noch gezielter auf Marktanforderungen zu reagieren und gleichzeitig langfristige Entwicklungen im Blick zu behalten. Die daraus entstehende Umgebung ermöglicht die Verbindung von Qualität und Stabilität mit innovativen Lösungen, wodurch den Anforderungen eines modernen Werkzeugbaubetriebs entsprochen werden kann.

In Bezug auf das **Kennzahlensystem** verfolgt die Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH einen minimalistischen Ansatz, wobei einige vom Steuerberater bereitgestellte Kennzahlen als Grundlage für betriebswirtschaftliche Entscheidungen dienen. Nachhaltigkeitskennzahlen haben bislang nur eine begrenzte Rolle gespielt, allerdings werden grundlegende Aspekte wie Stromverbrauch, der Einsatz eines Blockheizkraftwerks und die Nutzung einer Photovoltaikanlage erfasst. Kennzahlen finden dabei projektbezogen und bei Bedarf Anwendung, wobei

⁵⁹⁵ Gespräch im Rahmen der Validierung mit Christopher Faßnacht, Geschäftsleiter Administration der Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH: 2024

ein durchgängiges System zur Integration aller Daten bislang nicht vorhanden ist. Maßgebliche Relevanz wird den Kennzahlen in Bezug auf die Qualität beigemessen, während Aspekte wie Maschinenlaufzeit als weniger relevant erachtet werden. Auch in Mitarbeitendengesprächen spielen Kennzahlen keine direkte Rolle, da diese sich stärker an persönlichen und inhaltlichen Aspekten orientieren. Die aktuelle Praxis zeigt, dass Aufwand und Nutzen eines umfassenden Kennzahlensystems im Verhältnis zur Unternehmensgröße genau abgewogen werden müssen. Zugleich wird der potenzielle Nutzen solcher Systeme, etwa für Kundenberichte oder Nachhaltigkeitsanfragen, deutlich. Die Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH betont dabei, dass ein allgemeiner Rahmen hilfreich ist, solange die spezifischen Bedürfnisse und die individuelle Arbeitsweise des Unternehmens berücksichtigt werden können.

Die **Datenerfassung** erfolgt flexibel bedarfsorientiert, wobei eine kontinuierliche oder automatisierte Pflege nicht stattfindet. Die erfassten Daten lassen sich in zwei Kategorien unterteilen: auftragsbezogene Informationen, die im ERP-System verarbeitet werden, und abrechnungsrelevante Daten wie Arbeitszeiten der Mitarbeitenden. Das ERP-System dient dabei auch der Zeiterfassung und bildet die Grundlage für zahlreiche kaufmännische Prozesse. Ein zentrales Merkmal der Datenerfassung der Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH ist die starke Individualisierung der Produkte, die in geringen Stückzahlen gefertigt werden. Für jeden Auftrag wird ein neuer Datensatz erstellt, was die langfristige Nutzung von Stammdaten einschränkt. Diese Individualisierung erfordert eine spezifische Strukturierung der erfassten Informationen, die jedoch bisher eher ereignisbezogen erfolgt. Die Angebotserstellung erfolgt bisher auf Basis persönlicher Erfahrungswerte. Die systematische Erfassung und Auswertung der Daten soll diesbezüglich in Zukunft zu einer verbesserten Grundlage für die Angebotserstellung führen.

Die **Kommunikation an interne Anspruchsgruppen** im Unternehmen zeichnet sich durch eine flache Organisationsstruktur aus, die eine enge Verzahnung verschiedener Ebenen ermöglicht. Die gesamte Belegschaft, bestehend aus den beiden Geschäftsführern und den Mitarbeitenden, ist in den Entscheidungsprozess direkt eingebunden, was eine effiziente Kommunikation und Zusammenarbeit gewährleistet. Kennzahlen werden gezielt und bedarfsorientiert eingesetzt, um die Relevanz für den jeweiligen Empfänger sicherzustellen. Interne Anspruchsgruppen umfassen alle Entscheidungsträger sowie sämtliche Mitarbeitenden, die so weit wie möglich in neue Themengebiete eingebunden werden. Die externen Anspruchsgruppen umfassen Kunden, Lieferanten, Banken, staatliche Institutionen wie das Statistische Bundesamt sowie die Gesellschaft. Hinsichtlich der Kunden zeigt sich ein unterschiedliches Interesse: Während die Automobilindustrie großen Wert auf Standards und umfangreiche Daten legt, ist dies bei anderen Branchen, wie etwa den Spielwarenherstellern, weniger der Fall. Anstelle formeller Zertifizierungen werden bei Bedarf Datenbögen zu Themen wie Nachhaltigkeit, Schadstoffen oder IT-Sicherheit ausgefüllt, um den gesetzlichen Anforderungen und Kundenwünschen zu entsprechen.

Die Erstellung von Nachhaltigkeitsberichten erfolgt bei der Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH derzeit noch nicht in einer festen Form, sondern orientiert sich an den spezifischen Bedürfnissen der Kunden. Für spezifische Anfragen von einzelnen Kunden, die solche Be-

richte benötigen, wird ein System genutzt, bei dem über ein Onlineportal Ja/Nein-Fragen beantwortet werden. Diese flexible Herangehensweise ermöglicht eine effiziente Reaktion auf konkrete Anforderungen, ohne dass zusätzliche bürokratische Strukturen aufgebaut werden müssen. Die Kommunikation von Zahlen erfolgt ausschließlich an die für sie direkt relevanten Empfänger, wie die Geschäftsführung. Auf Mitarbeiterebene hingegen wird der Fokus auf kontinuierliche Kommunikation zu Auftragsständen und inhaltlichen Themen gelegt, ohne wirtschaftliche Kennzahlen in den Mittelpunkt zu stellen. Individuelle Kennzahlen, wie etwa Urlaubstage oder Krankheitstage, können Mitarbeitende über ein Zeitstempelterminal einsehen (vgl. Abbildung 6.1).



Abbildung 6.1: Benutzeroberfläche des Mitarbeitenden-Terminals des Unternehmens Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH⁵⁹⁶

Aus Perspektive des Unternehmens sollte die Kommunikation sowohl auf die Bedürfnisse der Mitarbeitenden als auch auf die der Geschäftsführung abgestimmt sein. Für Mitarbeitende sollten Kennzahlen auf das Notwendige reduziert werden, sodass nur solche Werte genutzt werden, die durch die Mitarbeitenden direkt beeinflusst werden können. Für die Geschäftsführung können komplexere Kennzahlen hingegen hilfreich sein, sofern sie optisch ansprechend und leicht verständlich aufbereitet sind. Die Verwendung von Tabellen wird als unzureichend erachtet, weshalb eine visuelle Darstellung mit klarer Struktur und relevanten Daten als vorteilhaft angesehen wird. Zugleich wurde betont, dass eine übermäßige Verwendung von Dashboards vermieden werden sollte, um die Übersichtlichkeit zu gewährleisten.

Die bei Fassnacht Werkzeug-Formenbau implementierten **Handlungsfelder und Steuerungsgrößen** sind vielseitig und flexibel gestaltet, wobei eine klare Abgrenzung der einzelnen Felder nicht erfolgt. Diese Herangehensweise ermöglicht eine flexible Reaktion auf neue Anforderungen. Im Fokus stehen die Themen Automatisierung, digitale Transformation und Nachhaltigkeit, wobei Verbesserungen nicht regelmäßig überprüft, sondern auf Grundlage

⁵⁹⁶ Bereitgestellt durch die Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH: 2024

von Feedback und beobachtbaren Effekten bewertet werden. Ein wesentliches Handlungsfeld stellt die Automatisierung dar. In der Fertigung sind bereits seit 13 Jahren vollautomatisierte Zelle im Einsatz. In den letzten Jahren wird intensiv ebenfalls die Automatisierung in der Verwaltung vorangetrieben. Exemplarisch sei die Automatisierung des manuellen Abschreibens von Elektroden- und Bestelllisten genannt, die zu einer Effizienz- und Qualitätssteigerung geführt hat. Die Mitarbeitenden nehmen eine zentrale Rolle ein, indem sie aktiv Ideen einbringen, die anschließend vom Unternehmen umgesetzt werden. Weitere Ergebnisse dieses Handlungsfelds sind Verbesserungen im Materialeinsatz und bei den Laufzeiten.

Die digitale Transformation ist ein weiteres Handlungsfeld, dass sich durch ökologische und finanzielle Vorteile auszeichnet. Als Beispiel kann der reduzierte Papierverbrauch durch digitalisierte Prozesse angeführt werden. Zusätzlich hat die Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH in neue Maschinen investiert, die leistungsfähiger und präziser sind und so gleichzeitig ökologische, soziale und wirtschaftliche Vorteile bieten. Die Themen Nachhaltigkeit und Energieeffizienz sind eng mit diesen Handlungsfeldern verbunden, wie etwa nach dem Umzug in das neue Firmengebäude, das mit Wärmetauschern und energieeffizienten Maschinen ausgestattet wurde. Diese Investitionen werden jedoch nicht systematisch erfasst, sondern eher situationsbedingt bewertet.

Die Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH betont, dass eine flexible Gestaltung der Handlungsfelder und eine pragmatische Herangehensweise beibehalten werden sollen, wobei besonders die Einbindung der Mitarbeitenden und die spontane Entwicklung von Maßnahmen als entscheidend für den Erfolg bezeichnet werden. Zugleich wird angemerkt, dass zusätzliche Steuergrößen hilfreich sein könnten, um die Erfolge besser zu dokumentieren und gezielt weiterzuentwickeln. Die Idee, Handlungsfelder in klarere Kategorien zu unterteilen, wurde als sinnvoll erachtet, solange diese nicht zu einer Einschränkung der Flexibilität führen.

6.2.2 Fazit

Das vorliegende Beispiel der Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH veranschaulicht die praktische Anwendbarkeit und die spezifischen Anforderungen eines kleinen Unternehmens im Werkzeugbau. Die besondere Kombination aus einer schlanken Organisation, hoher Flexibilität und ausgeprägter Mitarbeitendeneinbindung bietet eine gute Basis für die schnelle Umsetzung nachhaltiger Maßnahmen und innovativer Ansätze.

Die pragmatische Herangehensweise des Unternehmens, bei der Kennzahlen und Maßnahmen flexibel eingesetzt werden, ist ein zentraler Aspekt. Der Ansatz der vorliegenden Arbeit, der eine klare Strukturierung der Handlungsfelder und die Einführung spezifischer Steuergrößen vorsieht, wurde positiv bewertet. Auch im Bereich der Datenerfassung und -nutzung konnten Ansätze wie die Einteilung in Datengruppen und der Einsatz eines morphologischen Kastens als unterstützende Werkzeuge überzeugen. Diese ergänzenden Lösungen bieten eine Grundlage, um bestehende Daten systematisch zu strukturieren und effizient für Entscheidungen einzusetzen, ohne die pragmatische Arbeitsweise der Fassnacht Werkzeug-Formenbau

GmbH zu beeinträchtigen. Das Unternehmen betonte, dass der Aufwand für neue Systeme überschaubar bleiben muss, um die schlanken internen Prozesse nicht zu belasten.

Das Fallbeispiel hat deutlich gemacht, dass die Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH mit einer gezielten Erweiterung der bestehenden Ansätze zusätzliche Potenziale in den Bereichen Nachhaltigkeit und Prozessoptimierung erschließen kann. Gleichzeitig unterstreicht die Analyse die Bedeutung der Einbindung der Mitarbeitenden und der Beibehaltung einer flexiblen, bedarfsorientierten Lösung.

6.3 Fallbeispiel 3: ENGL Werkzeugbau GmbH

Die ENGL Werkzeugbau GmbH ist ein traditionsreiches Familienunternehmen, dessen Firmensitz sich in der italienischen Stadt Bozen in Südtirol befindet. Das Unternehmen ist seit dem Jahr 1733 in der Metallverarbeitung tätig und wird derzeit in der zehnten Generation geführt. Insgesamt sind bei der ENGL Werkzeugbau GmbH 20 Mitarbeitende beschäftigt. Die Produktionsfläche beträgt 1.500 m², wobei das Unternehmen auf die Fertigung von Werkzeugen für Druckguss und Spritzguss sowie auf die Herstellung von Mess- und Prüflöhren spezialisiert ist. Durch den Einsatz moderner Fertigungstechnologien ist es der ENGL Werkzeugbau GmbH möglich, maßgeschneiderte Lösungen für Kunden aus verschiedenen Industrien anzubieten. Die Unternehmensstrategie zeichnet sich durch eine klare Ausrichtung auf Prozessoptimierung, gezielte Förderung der Mitarbeitenden und Einführung neuer Technologien aus. Zertifizierungen, wie ISO-Normen, Gemeinwohl-Bilanzierungen und Treibhausgasbewertungen, unterstreichen den Einsatz der ENGL Werkzeugbau GmbH für Qualitätsstandards und nachhaltige Produktionsmethoden. Darüber hinaus spielen interne Weiterentwicklungen, wie die Integration energieeffizienter Prozesse und die enge Zusammenarbeit im Team, eine zentrale Rolle in der Unternehmensausrichtung.

Das Fallbeispiel beleuchtet die Produktionsprozesse, Organisationsstrukturen und Nachhaltigkeitsansätze der ENGL Werkzeugbau GmbH, um die Anwendbarkeit der entwickelten Methodik im Bereich des nachhaltigen Werkzeugbaus insbesondere bei einem nicht an der Entwicklung des Ansatzes beteiligten Werkzeugbaubetrieb zu validieren.

6.3.1 Anwendung

„Das Unternehmen muss den europäischen Emissions-Reduktionspfad mitgehen.“⁵⁹⁷

Johannes Engl, Geschäftsführer der ENGL Werkzeugbau GmbH

Die ENGL Werkzeugbau GmbH verfolgt eine klare Strategie, Nachhaltigkeit als kulturelles und ökonomisches Leitprinzip zu verankern, was sich in den Erfolgsfaktoren des Zielbilds „Nachhaltiger Werkzeugbau“ widerspiegelt. Im Mittelpunkt stehen dabei zwei zentrale Kennzahlen:

⁵⁹⁷ Gespräch im Rahmen der Validierung mit Johannes Engl, Geschäftsführer der ENGL Werkzeugbau GmbH: 2025

die Treibhausgasbilanz und die Gemeinwohlbilanz. Diese Bilanzierung stellt der ENGL Werkzeugbau GmbH eine strukturierte Grundlage zur Bewertung des ökologischen und sozialen Engagements bereit und ermöglicht zudem eine wertvolle Kommunikation mit internen und externen Anspruchsgruppen. Das Peer-Zertifikat Matrix 5.0, das die Leistungen in den Bereichen Menschenwürde, Solidarität und ökologische Nachhaltigkeit dokumentiert, unterstreicht die Bedeutung dieses Engagements (vgl. Abbildung 6.2).

Peer-Zertifikat MATRIX 5.0 (Bewertung in einer Peer-Gruppe)					
Unternehmen, Berichtszeitraum: Hanns Engl Werkzeugbau OHG, I-39100 Bozen; 2019-2022 Die weiteren Teilnehmer: Hotel Drumlerhof, TriadeBio GmbH Moderator*in: Oberrauch Bernhard, IT-39100 Bozen. Die Moderator*in hat an der Bewertung teilgenommen.					
Dieses Dokument bestätigt das Ergebnis und den Peer-Evaluierungsprozess, der zwischen einer Gruppe von Unternehmen ausgehend von einer Selbstbewertung stattfand. Für die Erstellung dieses Dokuments werden keine beweiskräftigen Dokumente verlangt. Die an der Gruppenbewertung teilnehmenden Unternehmen haben das Ergebnis ihrer Selbstbewertungen in einem Prozess des Vergleichs ihrer eigenen, am Gemeinwohl orientierten Strategien und Maßnahmen gegenseitig validiert. Es ist zu beachten, dass die Ergebnisse der Gruppenbewertung von den Ergebnissen eines externen Audits abweichen können. Weitere Informationen zur Matrix, zu den Themen und Aspekten und zum Auditsystem finden Sie unter: www.ecogood.org www.febc.eu oder www.economia-del-bene-comune.it					Gesamt-Punkte Gruppenbewertung: 329/1000 Peer-Testat gültig bis 30.12.2024
Werte	Menschenwürde	Solidarität & Gerechtigkeit	Ökologische Nachhaltigkeit	Transparenz & Mitentscheidung	Gesamt-Punkte nach Berührungsgruppen
A) Lieferant*innen	A1 Menschenwürde in der Lieferkette	A2 Solidarität und Gerechtigkeit in der Lieferkette	A3 Ökologische Nachhaltigkeit in der Lieferkette	A4 Transparenz und Mitentscheidung in der Lieferkette	A 12% (Punkte 22/191)
	0% (Punkte 0/48)	20% (Punkte 10/48)	10% (Punkte 7/71)	20% (Punkte 5/24)	
B) Eigentümer*innen & Finanzpartner*innen	B1 Ethische Haltung im Umgang mit Geldmitteln	B2 Soziale Haltung im Umgang mit Geldmitteln	B3 Sozial-ökologische Investitionen und Mittelverwendung	B4 Eigentum und Mitentscheidung	B 27% (Punkte 59/215)
	30% (Punkte 14/48)	50% (Punkte 24/48)	30% (Punkte 21/71)	0% (Punkte 0/48)	
C) Mitarbeitende	C1 Menschenwürde am Arbeitsplatz	C2 Ausgestaltung der Arbeitsverträge	C3 Förderung des ökologischen Verhaltens der Mitarbeitenden	C4 Innerbetriebliche Mitentscheidung und Transparenz	C 33% (Punkte 63/192)
	40% (Punkte 19/48)	50% (Punkte 24/48)	20% (Punkte 10/48)	20% (Punkte 10/48)	
D) Kund*innen & Mitunternehmen	D1 Ethische Kund*innenbeziehungen	D2 Kooperation und Solidarität mit Mitunternehmen	D3 Ökologische Auswirkung durch Nutzung und Entsorgung von Produkten und Dienstleistungen	D4 Kund*innen-Mitwirkung und Produktransparenz	D 47% (Punkte 100/215)
	50% (Punkte 24/48)	30% (Punkte 14/48)	40% (Punkte 19/48)	60% (Punkte 43/71)	
E) Gesellschaftliches Umfeld	E1 Sinn und gesellschaftliche Wirkung der Produkte und Dienstleistungen	E2 Beitrag zum Gemeinwesen	E3 Reduktion ökologischer Auswirkungen	E4 Transparenz und gesellschaftliche Mitentscheidung	E 45% (Punkte 86/192)
	10% (Punkte 5/48)	30% (Punkte 14/48)	90% (Punkte 43/48)	50% (Punkte 24/48)	
Gesamt-Punkte nach Werten	1 26% (Punkte 62/240)	2 36% (Punkte 86/240)	3 35% (Punkte 100/286)	4 34% (Punkte 82/239)	
Dachverein für Gemeinwohl-Ökonomie in Italien Die Vorsitzende: dott.ssa Lidia Di Vecce					ModeratorIn: <i>Bernhard Oberrauch</i>

Abbildung 6.2: Peer-Zertifikat Matrix 5.0 (2019-2022) nach Gemeinwohl Ökonomie der ENGL Werkzeugbau GmbH⁵⁹⁸

Die Zielsetzungen des Unternehmens leiten sich direkt aus identifizierten Schwächen ab, wobei ein iterativer Ansatz eine fokussierte Priorisierung der Maßnahmen ermöglicht, ohne die wirtschaftliche Stabilität zu gefährden. So wird etwa betont, dass Investitionen in Nachhaltigkeit wirtschaftlich tragbar bleiben müssen, um langfristig erfolgreich zu sein. Ein Beispiel ist die Umstellung von Gasheizung auf Wärmepumpe, die durch den Ausfall einer alten Anlage initiiert wurde und zugleich ökonomische und ökologische Vorteile bot. Ein zentraler Erfolgsfaktor bei der ENGL Werkzeugbau GmbH ist die Einbindung der Mitarbeitenden in den Nachhaltigkeitsprozess. Die Belegschaft wird dazu motiviert, den Sinn hinter den Maßnahmen zu verstehen und sich aktiv einzubringen. Diese partizipative Kultur stärkt nicht nur das Engage-

⁵⁹⁸ Bereitgestellt durch die ENGL Werkzeugbau GmbH: 2025

ment, sondern trägt auch zur internen Reputation bei. Die enge Zusammenarbeit und die Berücksichtigung individueller Bedürfnisse zeigen, wie sehr das Unternehmen auf die Bindung und Zufriedenheit seiner Mitarbeitenden achtet.

Gerade in den Bereichen der Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung lassen sich weitere Parallelen zu dem in der vorliegenden Arbeit entwickelten Ansatz ziehen. Die Reduktion ökologischer Auswirkungen durch gezielte Maßnahmen, wie die Modernisierung von Energieinfrastrukturen, ist ein wesentlicher Aspekt der Nachhaltigkeitsstrategie der ENGL Werkzeugbau GmbH. Die erfolgreiche Kombination ökologischer und ökonomischer Ziele durch praxisorientierte Maßnahmen ist ein wesentliches Merkmal der Strategie. Strategische Nachhaltigkeitsthemen werden bei der ENGL Werkzeugbau GmbH primär durch die Geschäftsleitung vorangetrieben. Obwohl derzeit nur wenige spezifische Anforderungen von Kundenseite vorhanden sind, wird erwartet, dass in Zukunft mehr Nachweise und eine intensivere Zusammenarbeit entlang der Lieferkette gefordert werden. Dies unterstreicht die vorausschauende Haltung des Unternehmens, das sich frühzeitig aufkommende Marktanforderungen einstellt.

Die ENGL Werkzeugbau GmbH orientiert sich im Hinblick auf das **Kennzahlensystem** an den Vorgaben der Gemeinwohlökonomie. Die Gemeinwohlökonomie stellt ein standardisiertes Set an Kennzahlen bereit und reduziert somit den Aufwand der Datenerhebung. Das Unternehmen betont gleichzeitig die Notwendigkeit einheitlicher und auf die Branche zugeschnittener Lösungen, wie beispielsweise standardisierte Wesentlichkeitsanalysen. Diese können von Branchenverbänden bereitgestellt werden, um den Werkzeugbaubetrieben die Vorarbeit abzunehmen und die Vergleichbarkeit zwischen Betrieben zu erleichtern. Als besonders relevant werden öffentlich verfügbare, praxistaugliche Kennzahlen angesehen, da sie als wertvolle Grundlage dienen, um intern die Transparenz zu fördern und extern den Wettbewerbsvergleich zu ermöglichen. Bei der ENGL Werkzeugbau GmbH wurden auf Basis der Wesentlichkeitsanalyse die relevantesten fünf bis zehn Kennzahlen priorisiert. Im Vordergrund steht die klare Fokussierung von Zielen und Kennzahlen, um eine effiziente Steuerung von Nachhaltigkeitsinitiativen zu gewährleisten und zu verdeutlichen, dass eine zielgerichtete Priorisierung eine wertvolle Grundlage für die Nachhaltigkeitsstrategie bildet. Eine derartig klare Priorisierung verhindert eine Überfrachtung durch unwesentliche Daten und ermöglicht eine effizientere Steuerung. Es wurde jedoch darauf hingewiesen, dass einfache Maßnahmen, wie der Verzicht auf Papier, nicht ausreichen, um komplexe Nachhaltigkeitsziele zu erreichen. Vielmehr ist eine ganzheitliche Betrachtung erforderlich, die ökologische, ökonomische und soziale Aspekte integriert.

Ein weiteres Problem bei der Anwendung von Kennzahlen sind Schwankungen, die durch externe Faktoren wie Produktionsauslastung, Außentemperatur oder Sonneneinstrahlung verursacht werden. Diese Parameter beeinflussen beispielsweise den Energieverbrauch und schränken die Aussagekraft einzelner Kennzahlen erheblich ein. Hilfreich sind hier standardisierte und für die Branche aussagekräftige Bezugsgrößen für den CO₂e-Ausstoß. Darüber hinaus stellt die Erfassung und korrekte Zuordnung der CO₂e-Emissionen entlang der Lieferkette eine aktuelle Herausforderung für die ENGL Werkzeugbau GmbH dar. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit einheitlicher Standards, insbesondere für die Emissionen in Scope 3, die klare Vorgaben für die Berechnung solcher Kennzahlen bereitstellen.

Die **Datenerfassung** bei der ENGL Werkzeugbau GmbH erfolgt auf mehreren Ebenen, wobei sowohl automatisierte als auch manuelle Methoden Anwendung finden. Es werden monetäre Daten, wie Arbeits- und Automationsstunden, sowie technische Daten, die beispielsweise über ein ME-System automatisiert gesammelt werden, erfasst. Ergänzend werden spezifische Daten, beispielsweise für die CO₂e-Bilanzierung, berücksichtigt, etwa Informationen zur Anfahrt der Mitarbeitenden. Die ENGL Werkzeugbau GmbH fördert umweltfreundliches Verhalten ihrer Mitarbeitenden durch die Vergabe einer Prämie für nachhaltige Anreisemethoden, wie die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel oder Fahrräder. Die entwickelte Einteilung von Daten in verschiedene Gruppen wurde von der ENGL Werkzeugbau GmbH als sinnvoll erachtet. Diese Struktur erleichtert die Erfassung und Bewertung der unterschiedlichen Datentypen und ermöglicht eine gezielte Sammlung und Analyse relevanter Informationen. Ein zentrales Anliegen ist die Praktikabilität der Datenerfassung. Die ENGL Werkzeugbau GmbH betont, dass eine vollständige und kontinuierliche Erfassung aller Daten einen enormen Aufwand erfordert und nicht realistisch ist. Stattdessen sollte die Erhebung auf die für die Analyse wesentlichen Daten fokussiert werden, insbesondere in Bereichen, in denen noch Lücken bestehen. Ergänzend wird die Bereitstellung standardisierter Normgrößen und Schätzwerte durch Branchenverbände als wertvolle Unterstützung angesehen, um den Erfassungsprozess zu vereinfachen und die Vergleichbarkeit zwischen Unternehmen zu gewährleisten.

Die **Kommunikation von Nachhaltigkeitskennzahlen** und -berichten bei der ENGL Werkzeugbau GmbH erfolgt strukturiert und zielgerichtet, wobei sowohl interne als auch externe Anspruchsgruppen berücksichtigt werden. Im Zentrum der Kommunikation stehen regelmäßige Berichte zur CO₂e-Bilanz, die jährlich erstellt werden, sowie die Gemeinwohlbilanz, die bisher alle drei bis vier Jahre aktualisiert wurde. Die Veröffentlichung der Gemeinwohlbilanz ist zukünftig alle zwei Jahre vorgesehen, um die Transparenz weiter zu erhöhen. Für die Erstellung dieser Berichte ist die Geschäftsleitung verantwortlich, die zugleich die Hauptverantwortung für die Kommunikation trägt. Innerhalb des Unternehmens existieren fünf Teams, die den einzelnen Abteilungen entlang der Prozesskette des Werkzeugbaus zugeordnet sind. Diese Teams werden jeweils von einer Teamleitung koordiniert, die einen direkten Austausch mit der Geschäftsleitung pflegt. Die interne Zielgruppe der Kommunikation bilden Mitarbeitende, während externe Anspruchsgruppen, wie Lieferanten, Kunden und die Öffentlichkeit, über die Gemeinwohlbilanz einbezogen werden. Die Transparenz gegenüber allen relevanten Anspruchsgruppen ist dabei obligatorisch. Die Adressaten der kommunizierten Kennzahlen variieren je nach Kontext. Ein signifikanter Anteil der Berichte adressiert alle Mitarbeitende, während spezifische Kennzahlen, wie finanzielle Daten oder strategische Steuergrößen, insbesondere für die Geschäftsleitung von Relevanz sind. Die nachvollziehbare Aufbereitung der dargestellten Kennzahlen ist dabei für die Belegschaft von essenzieller Bedeutung. Die ENGL Werkzeugbau GmbH fokussiert sich in ihrer Kommunikationsstrategie auf drei bis fünf zentrale Kennzahlen, die sowohl Relevanz als auch direkte Stellhebel für Verbesserungen aufweisen. Ein Beispiel für die transparente Kommunikation von Nachhaltigkeitsbestrebungen ist die regelmäßige Darstellung der CO₂e-Einsparungen durch die nachhaltige Mobilität der Mitarbeitenden. Diese Ergebnisse werden intern kommuniziert, um die Wirkung von Anreizsystemen, wie der Prämie für nachhaltige Anreisen, sichtbar zu machen (vgl. Abbildung 6.3).

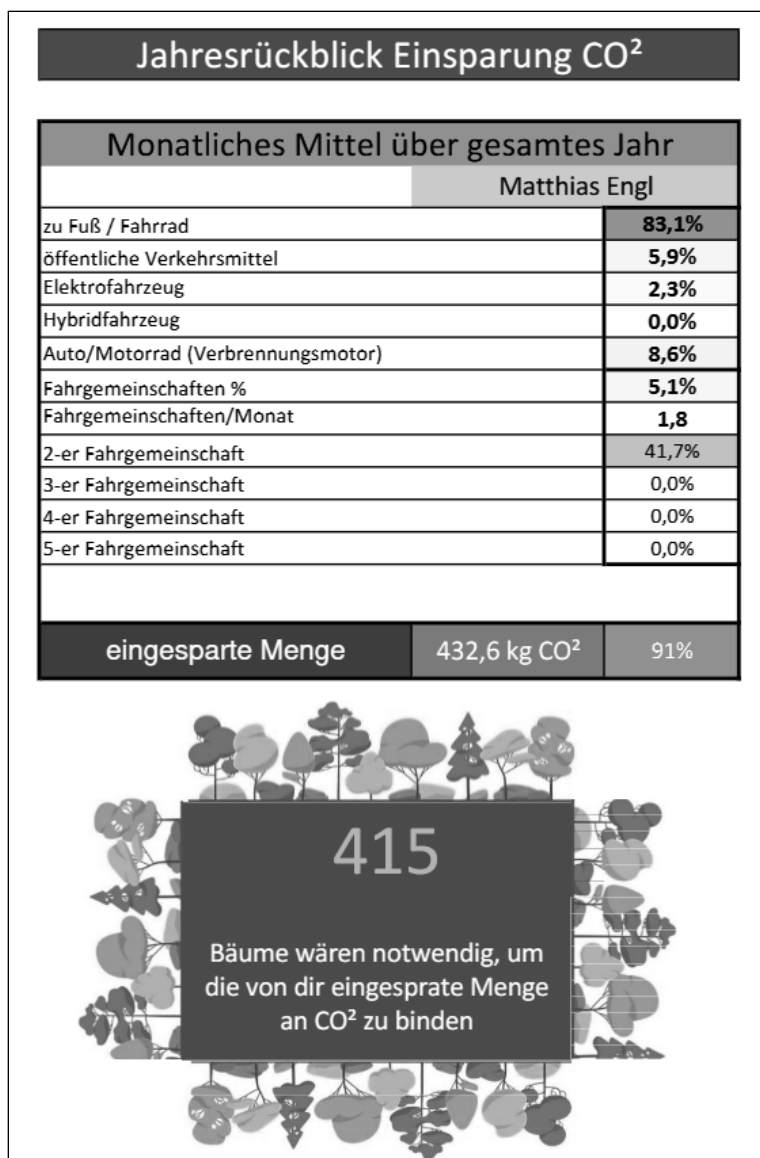


Abbildung 6.3: CO₂-Einsparungen durch nachhaltige Mobilität der Mitarbeitenden im Jahresrückblick der ENGL Werkzeugbau GmbH⁵⁹⁹

Bei der ENGL Werkzeugbau GmbH werden **Handlungsfelder und Steuerungsgrößen** flexibel definiert, basierend auf den sich ergebenden Möglichkeiten und Gegebenheiten. Ein Beispiel hierfür ist die Umstellung des Heizsystems, bei der eine alte Gasheizung durch eine nachhaltigere Wärmepumpe ersetzt wurde, als sich die Gelegenheit dazu bot. Diese pragmatische Herangehensweise erlaubt es, Chancen gezielt zu nutzen und Maßnahmen bedarfsgerecht umzusetzen. Dabei wird darauf geachtet, dass die Handlungsfelder keine unnötigen Hürden aufweisen, um eine hohe Akzeptanz und Beteiligung der Mitarbeitenden sicherzustellen. Ein weiteres zentrales Handlungsfeld stellt die soziale Nachhaltigkeit dar, die sich durch Maßnahmen wie die vorausschauende Planung eines bevorstehenden Generationenwechsels in der Geschäftsführung sowie in der Fertigungsleitung und die kontinuierliche Weiterentwicklung

⁵⁹⁹ Bereitgestellt durch die ENGL Werkzeugbau GmbH: 2025

der Mitarbeitenden widerspiegelt. Darüber hinaus identifiziert die Geschäftsleitung in Zusammenarbeit mit den Mitarbeitenden neue Handlungsfelder und Maßnahmen, die oft auf Intuition und intrinsischer Motivation basieren, wie das Beispiel der geplanten Installation einer Photovoltaikanlage zeigt. Hier werden nicht nur ökologische Vorteile, sondern auch betriebswirtschaftliche Notwendigkeiten berücksichtigt, während aktiv nach Fördermöglichkeiten gesucht wird.

6.3.2 Fazit

Das Fallbeispiel der ENGL Werkzeugbau GmbH demonstriert, wie ein traditionsreiches Familienunternehmen die Prinzipien der Nachhaltigkeit erfolgreich als integralen Bestandteil in seiner Unternehmensstrategie verankert hat. Die Kombination von ökologischen, ökonomischen und sozialen Handlungsfeldern unterstreicht die ganzheitliche Herangehensweise und dient als praxisnahes Beispiel für den Werkzeugbau. Ein wesentliches Merkmal des Unternehmens ist die flexible und pragmatische Gestaltung von Handlungsfeldern, die eine bedarfsgerechte Umsetzung nachhaltiger Maßnahmen ermöglicht, um auf Chancen zu reagieren. Die Umstellung von Heizsystemen oder die Einführung einer Photovoltaikanlage verdeutlichen, wie die ENGL Werkzeugbau GmbH erfolgreich ökologischen Fortschritt mit wirtschaftlichen Notwendigkeiten vereint. Soziale Nachhaltigkeit wird als strategische Priorität betrachtet und umfasst die Weiterentwicklung der Mitarbeitenden sowie den Generationenwechsel. Die Kommunikationsansätze betonen die Bedeutung von Transparenz und Verständlichkeit, was sich in der regelmäßigen Berichterstattung zur CO₂e-Bilanz und der Gemeinwohlbilanz widerspiegelt. Diese sind Ausdruck des Engagements und ein Mittel, um interne und externe Anspruchsgruppen effektiv einzubinden. Die klare Fokussierung auf wenige, relevante Kennzahlen gewährleistet, dass die kommunizierten Informationen zielgerichtet und umsetzbar bleiben.

Die vorliegende Arbeit ergänzt diese Ansätze durch eine systematische Strukturierung und Erweiterung der Handlungsfelder entlang der Wertschöpfungskette. Sie zeigt auf, wie Nachhaltigkeitsmanagement effektiv in betriebliche Prozesse eingebettet werden kann, und liefert konkrete Ansätze zur Priorisierung und Bewertung von Maßnahmen. Die positive Resonanz der ENGL Werkzeugbau GmbH bestätigt die Praxistauglichkeit und Relevanz des entwickelten Ansatzes, der Werkzeugbaubetriebe dabei unterstützt, ihre ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Ziele miteinander zu verknüpfen. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die ENGL Werkzeugbau GmbH ein vorbildliches Modell für die Umsetzung von Nachhaltigkeit im Werkzeugbau bietet. Das Unternehmen verbindet strategisches Denken mit einer pragmatischen Herangehensweise und demonstriert, dass nachhaltige Maßnahmen nicht nur die Wettbewerbsfähigkeit sichern, sondern auch einen wertvollen Beitrag zur gesellschaftlichen Verantwortung leisten können.

6.4 Kritische Reflexion der Praxisanwendung

Die drei präsentierten Fallbeispiele der Unternehmen Fritz Stepper GmbH & Co. KG, Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH und ENGL Werkzeugbau GmbH demonstrieren die werkzeugbauspezifische Anwendbarkeit des in der vorliegenden Arbeit entwickelten Ansatzes zur

Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit in der Praxis. Weiterhin konnte der in Kapitel 2.4 identifizierte Handlungsbedarf aus der Praxis bestätigt werden. Die Zusammenführung eines ganzheitlichen, integrativen Ansatzes zu einem Kennzahlensystem, welches die Nachhaltigkeitsleistung im Werkzeugbau messbar macht, wird als zukunftsweisende und relevante Fragestellung angesehen.

Weiter konnte durch die Anwendung in der Praxis gezeigt werden, dass die in Kapitel 3.2 identifizierten allgemeinen, werkzeugbaubezogenen und problemspezifischen Anforderungen an ein solches Gestaltungsmodell erfüllt werden. Die **allgemeinen Anforderungen** der Effizienz, Zeitorientierung und Anpassungsfähigkeit werden erfüllt, wobei die Effizienz als wichtiges Kriterium bestätigt wurde. Die klare, aufeinander aufbauende Struktur der einzelnen Gestaltungselemente erlaubt eine eindeutige Zuordnung von Lösungsansätzen aus dem Modell in den Fallbeispielen. Die Zeitorientierung wurde insbesondere in der Visualisierung des Kennzahlensystems berücksichtigt und manifestiert sich bei der Fasnacht Werkzeug-Formenbau GmbH beispielsweise in Form von Zeitreihendiagrammen. Die hohe Relevanz der Anpassungsfähigkeit wurde in allen drei Fallbeispielen betont und konnte insbesondere durch die unternehmensindividuelle Gewichtung des Kennzahlensystems abgebildet werden.

Die Erfüllung der **werkzeugbaubezogenen Anforderungen** konnte ebenfalls nachgewiesen werden. Die drei Fallbeispiele repräsentieren Werkzeugbaubetriebe der Kunststoff-, Blech- und Metallverarbeitung. Neben der Anwendbarkeit des entwickelten Ansatzes in den genannten Betrieben haben die Fallbeispiele veranschaulicht, dass gleichermaßen die werkzeugbaubezogenen Anforderungen berücksichtigt wurden.

Die Validierung der Umsetzung der **problemspezifischen Anforderungen**, bestehend aus Zielorientierung, Organisationskompatibilität, ganzheitlicher Nachhaltigkeit, Stakeholder-Nützlichkeit und Kausalität, wurde ebenfalls vorgenommen. Alle drei Unternehmen setzen bereits Maßnahmen zur Nachhaltigkeitssteigerung im Werkzeugbau um, wobei unterschiedliche Ziele adressiert werden. Bei der ENGL Werkzeugbau GmbH werden diese beispielsweise in zwei aggregierten Zielgrößen zusammengefasst, die die drei Nachhaltigkeitsdimensionen abdecken, während sie bei der Fritz Stepper GmbH & Co. KG konkrete wirtschaftliche Werte sind, wobei ökologische sowie soziale Ziele als weiche Faktoren in der Firmenphilosophie verankert sind. Die Organisationskompatibilität des entwickelten Ansatzes beruht auf einer für den Werkzeugbau generisch zutreffenden Struktur. Diese Struktur deckt sich mit den Hierarchien in den Werkzeugbaubetrieben, wobei leichte Anpassungen nötig sind, die auf die Diversität der Betriebe zurückzuführen sind. Die identifizierten Anspruchsgruppen des Werkzeugbaus wurden bestätigt und werden beispielsweise bei der Fritz Stepper GmbH & Co. KG in Geschäftsführer, Prokuristen, Abteilungsleiter, Teamleiter sowie Teams gegliedert. Die anspruchsgerechte Darstellung und Kommunikation des Kennzahlensystems ermöglicht den Unternehmen die Ableitung ihrer Handlungsfelder. Folglich haben die Fallbeispiele die Erfüllung der problemspezifischen Anforderungen und somit die Erfüllung aller identifizierten Anforderungen gezeigt.

Die in dieser Arbeit präsentierten drei Fallbeispiele sowie die darauffolgende kritische Reflexion stützen die These, dass das in der vorliegenden Arbeit entwickelte Gestaltungsmodell als

ganzheitlicher Lösungsansatz für den Werkzeugbau geeignet ist. Damit kann abschließend die **Erfüllung der übergeordneten Zielsetzung** festgestellt werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Das 19. und 20. Jahrhundert folgte vor allem der Maxime der Expansion. Die moderne Zivilisation ist heute in hohem Maße von **Umweltzerstörung, globaler Erwärmung** und dem **Wettbewerb um knappe Ressourcen** geprägt. Der Begriff der „Großen Transformation“ wurde bereits 1944 vom Wirtschaftssoziologen POLANY geprägt. Dieser Begriff bezeichnet die als notwendig erachtete gesamtgesellschaftliche Veränderung, die erforderlich ist, um der Weltbevölkerung ein Leben im Wohlstand innerhalb der planetarischen Grenzen zu ermöglichen. Die Reintegration der Wirtschaft in die Gesellschaft wird dabei als Voraussetzung angesehen, sodass nicht die Interessen der Wirtschaft die Gesellschaft bestimmen, sondern die Gesellschaft die Wirtschaft für ihre Zwecke nutzen soll. Angesichts der Dringlichkeit, die sich aus dem fortgeschrittenen Stadium der Klimakrise ergibt, ist unter anderem eine rasche Reduzierung der Emissionen von größter Bedeutung. Eine wirksame Umsetzung erfordert jedoch die vorherige Identifizierung von Hebeln mit großer Wirkung. Die Quantifizierung der Umweltauswirkungen produzierender Unternehmen ist jedoch sehr komplex und wird von einer Vielzahl von Interdependenzen beeinflusst. Insbesondere KMUs sind in der Regel nicht in der Lage, die für die Entwicklung einer solchen Bewertung notwendigen Ressourcen allein aufzubringen. Die vorliegende Arbeit ist eingebettet im Umfeld der „Großen Transformation“ und hat zum Ziel, den beteiligten Akteuren im Werkzeugbau ein wissenschaftsbasiertes methodisches Instrument an die Hand zu geben. Dieses Instrument soll es den Akteuren ermöglichen, die Nachhaltigkeit in den Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales besser zu quantifizieren und auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse zu handeln.

Der **deutschsprachige Werkzeugbau** nimmt eine bedeutende Rolle bei der Transformation ein, indem er die Funktion der Schnittstelle zwischen Produktentwicklung und Serienproduktion in der Wertschöpfungskette erfüllt. Dies macht ihn zu einem entscheidenden Faktor für die industrielle Produktion und somit auch für die Nachhaltigkeitsbestrebungen in der gesamten Industrie. Werkzeugbaubetriebe sehen sich folglich mit der Herausforderung konfrontiert, Nachhaltigkeit durch ein geeignetes Nachhaltigkeitscontrolling operationalisieren zu müssen. Dies erfordert die Übertragung der bestehenden Unternehmensstrategie und -bedingungen auf eine Vielzahl von Nachhaltigkeitszielen, für die entsprechende Mess- und Bewertungsmethoden entwickelt werden müssen. Die Werkzeugbaubetriebe verfügen über ein erhebliches Potenzial zur Förderung der industriellen Transformation, wenn sie über die entscheidenden Informationen für die Nachhaltigkeitsbewertung ihrer Geschäftsaktivitäten verfügen.

Dies erfordert die Einführung eines Nachhaltigkeitscontrollings, das die Zusammenhänge der drei Nachhaltigkeitsdimensionen – Ökonomie, Ökologie und Soziales – berücksichtigt und eine Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeitsziele ermöglicht. Ein wesentliches Defizit besteht in der fehlenden Existenz eines Gestaltungsmodells zur Steuerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau, das die beschriebene Problemstellung ausreichend adressiert. Es existieren zwar bereits Ansätze, diese betrachten jedoch oft nur einzelne Aspekte der Nachhaltigkeit oder

berücksichtigen nicht die Anforderungen des Werkzeugbaus. Daraus leitet sich die handlungsleitende Forschungsfrage der vorliegenden Arbeit ab: **Wie muss ein Kennzahlensystem der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau ausgelegt sein?**

Aufbauend auf der Untersuchung bestehender Ansätze wird nach dem Ansatz von ULRICH UND HILL das **Gestaltungsmodell zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau** entwickelt (vgl. Abbildung 7.1). Das Modell gliedert sich in fünf Gestaltungselemente und beantwortet die zentrale Forschungsfrage sowie deren Unterfragen. Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, dass es an die unternehmensindividuellen Rahmenbedingungen angepasst werden kann, wodurch die Anwendung im Werkzeugbau ermöglicht wird.

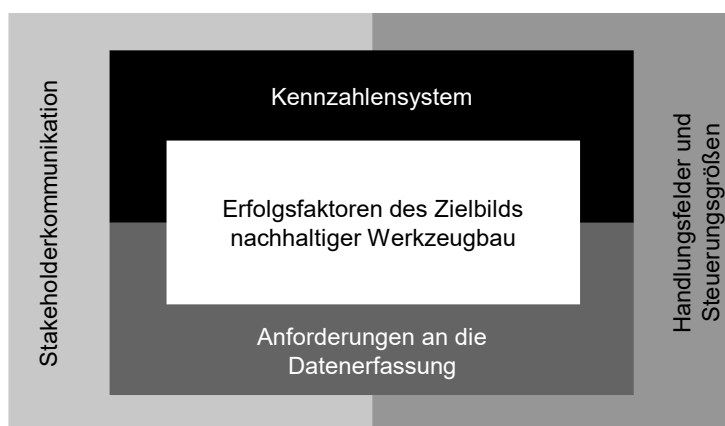


Abbildung 7.1: Gestaltungsmodell zur erfolgreichen Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau⁶⁰⁰

Das vorliegende Gestaltungsmodell dieser Arbeit ist in fünf Gestaltungselemente untergliedert, die ihrerseits aus einzelnen Gestaltungsaspekten bestehen. Das Gestaltungselement **Erfolgsfaktoren des Zielbilds „Nachhaltiger Werkzeugbau“** setzt sich aus drei Gestaltungsaspekten zusammen. Zunächst erfolgt die Definition des Zielbilds „Nachhaltiger Werkzeugbau“. Aufbauend auf diesem werden die Erfolgsfaktoren identifiziert und abschließend die Ziele und Erfolgsfaktoren unternehmensindividuell gewichtet. Das **Kennzahlensystem** setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, nämlich der Definition der relevanten Kennzahlen für den nachhaltigen Werkzeugbau, der Analyse der Abhängigkeiten der Kennzahlen zueinander und der Bewertung der Kennzahlen für die Zielerreichung. Die **Anforderungen an die Datenerfassung** werden durch die Identifikation und Beschreibung der notwendigen Datengrundlage bestimmt. Im Anschluss erfolgt die Kategorisierung der Eingangsgrößen in Datengruppen. Abschließend werden die Anforderungen an die unterschiedlichen Datengruppen definiert. Das dritte Gestaltungselement, die **Stakeholder-Kommunikation**, setzt sich aus den drei Aspekten Identifikation der relevanten internen Anspruchsgruppen des Werkzeugbaus, Definition der Anforderungen der einzelnen Anspruchsgruppen und Definition der Anforderungen der einzelnen Anspruchsgruppen zusammen. In der Konsequenz können internen sowie externen Anspruchsgruppen bei Entscheidungen nicht nur ökonomische, sondern auch ökologische und

⁶⁰⁰ Eigene Darstellung

soziale Kennzahlen berücksichtigen. Das letzte Gestaltungselement des Modells stellt die **Handlungsfelder und Steuerungsgrößen** dar. Zunächst werden die Handlungsfelder aus den Erfolgsfaktoren abgeleitet, anschließend erfolgt eine Priorisierung der Handlungsfelder. Im letzten Schritt werden den Handlungsfeldern Steuergrößen aus dem Kennzahlensystem zugeordnet.

Die **Validierung** des vorliegenden Gestaltungsmodells zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau fand bei den Werkzeugbaubetrieben Fritz Stepper GmbH & Co. KG, Fassnacht Werkzeug-Formenbau GmbH und ENGL Werkzeugbau GmbH statt. Die drei Fallbeispiele zeigen, dass die allgemeinen, werkzeugbaubezogenen und problemspezifischen Anforderungen erfüllt werden und die Praxistauglichkeit gegeben ist. Zudem konnte bestätigt werden, dass Werkzeugbaubetriebe durch das Gestaltungsmodell dieser Arbeit den vielfältigen Herausforderungen in den drei Nachhaltigkeitsdimensionen erfolgreich begegnen können.

Der **wissenschaftliche Beitrag** dieser Arbeit besteht in der Entwicklung eines ganzheitlichen Lösungsansatzes zur Steuerung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit im Werkzeugbau. Die handlungsweisende Forschungsfrage samt ihrer Unterfragen kann mit dem vorliegenden Gestaltungsmodell beantwortet werden. Es obliegt den Werkzeugbaubetrieben, diese Ergebnisse unternehmensindividuell anzupassen und zu nutzen.

Als **Ausblick** der vorliegenden Arbeit lassen sich weitere Forschungsgebiete identifizieren, die auf den Ergebnissen aufbauen können und daher für weitere Untersuchungen von Interesse sind. Im Folgenden werden drei Forschungsgebiete kurz genannt. Ein Forschungsgebiet könnte die Vertiefung einzelner Dimensionen des Kennzahlensystems sein. Dabei stellt insbesondere die Detaillierung der Aspekte der sozialen und ökologischen Dimension ein sehr großes Feld dar, wie am Beispiel der CO₂e-Emissionen gezeigt. Ein zweites Forschungsgebiet könnte die Transformation des vorliegenden Kennzahlensystems zu einem externen Kennzahlensystem sein, wodurch der Vergleich und die Bewertung verschiedener Werkzeugbaubetriebe ermöglicht werden. Dies wäre für den Wettbewerbsvergleich der Betriebe selbst sowie für die Lieferantenauswahl der Kunden des Werkzeugbaus von großem Interesse. In diesem Zusammenhang wären primär die Fragen zur Vergleichbarkeit der sozialen und ökologischen Werte zu beantworten. Für das interne Kennzahlensystem könnten so konkrete Zielwerte definiert werden, die auf Branchenwerten beruhen. Ein drittes Forschungsgebiet könnte sich auf den technischen Fortschritt konzentrieren. Die zunehmend verfügbare Rechenleistung, die einerseits immer kostengünstiger und andererseits immer leistungsfähiger wird, eröffnet die Möglichkeit, zunächst die Datenverarbeitung und technische Umsetzung des Kennzahlensystems zu verbessern. Aufbauend auf diesem Fortschritt lässt sich ein in der Zukunft selbst steuernder Werkzeugbaubetrieb konzeptualisieren, der auf Basis des entwickelten Kennzahlensystems Entscheidungen vorbereitet oder zukünftig trifft und so die Geschäftsprozesse im Sinne der ganzheitlichen Nachhaltigkeitsziele eigenständig beeinflusst. Die Erweiterung der automatisierten Planung und Steuerung, wie sie im Auftragsabwicklungsprozess für den Werkzeugbau bereits implementiert werden konnte, auf die Steuerung des gesamten Betriebs ist somit vorstellbar.

VII Literaturverzeichnis

Alwert, K.; Will, M. (Leitfaden Maßnahmen managen):

Leitfaden Maßnahmen managen. Zusatzmodul zum Leitfaden 2.0 zur Erstellung einer Wissensbilanz. Berlin: Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, 2014.

Anderson, P. E.; Mahle, D. A.; Doom, T. E.; Reo, N. V.; DelRaso, N. J.; Raymer, M. L. (Dynamic adaptive binning):

Dynamic adaptive binning: an improved quantification technique for NMR spectroscopic data. In: Metabolomics. 7. Jg., 2011, Nr. 2, S. 179–190.

Arnold, A.; David, M.; Hanke, G.; Sonnberger, M. (Innovation - Exnovation):

Einleitung. In: Arnold, A.; David, M.; Hanke, G.; Sonnberger, M., et al. (Hrsg.) Innovation - Exnovation. Marburg: Metropolis, 2015.

Bandte, H. (Komplexität in Organisationen):

Komplexität in Organisationen. Organisationstheoretische Betrachtungen und agentenbasierte Simulation. Dissertation, Techn. Univ. Braunschweig. 1. Aufl. Wiesbaden: DUV Deutscher Universitäts-Verlag, 2007.

Barton, T. (Geschäftsprozesse):

Geschäftsprozesse. Von der Modellierung zur Implementierung. (Reihe: Angewandte Wirtschaftsinformatik Ser. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2017.

Batz, M. (Nachhaltigkeit in der Sozialwirtschaft):

Nachhaltigkeit in der Sozialwirtschaft. Eine Einführung. (Reihe: Lehrbuch). 1. Aufl. Wiesbaden: Springer VS, 2021.

Behnke, J.; Behnke, N. (Grundlagen der statistischen Datenanalyse):

Grundlagen der statistischen Datenanalyse. eine Einführung für Politikwissenschaftler. (Reihe: Grundwissen Politik 41). 1. Aufl. Wiesbaden: VS, Verl. für Sozialwiss, 2006.

Behrens, R. (Angewandtes Unternehmenscontrolling):

Angewandtes Unternehmenscontrolling. Operative Systeme der Planung, Kontrolle und Entscheidung. (Reihe: De Gruyter Studium. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg, 2018.

Bergs, T.; Barth, S.; Beckers, A.; Dehmer, A.; Grünert, G.; Koch, A.; Prinz, S.; Röttger, J.; Stauder, L. (Energie- und Ressourceneffizienz in der Fertigung):

Energie- und Ressourceneffizienz in der Fertigung. In: Schmitt, R. H.; Bergs, T.; Brecher, C.; Schuh, G., et al. (Hrsg.) Empower Green Production. Tagungsband. Aachen: Fraunhofer-Gesellschaft, 2023, S. 151–182.

Besson, M.; Alison, J.; Bjerger, K.; Gorochofski, T. E.; Høye, T. T.; Jucker, T.; Mann, H. M. R.; Clements, C. F. (Towards the fully automated monitoring):

Towards the fully automated monitoring of ecological communities. In: Ecology Letters. 25. Jg., 2022, Nr. 12, S. 2753–2775.

Bhatia, P.; Cummis, C.; Brown, A.; Draucker, L.; Rich, D.; Lahd, H. (Product Life Cycle Accounting):

Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. (Reihe: Greenhouse Gas Protocol. Washington, DC: WRI; wbcscd, 2011.

Bhatia, P.; Cummis, C.; Brown, A.; Rich, D.; Draucker, L.; Lahd, H. (Corporate Value Chain):

Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard. Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard. (Reihe: Greenhouse Gas Protocol. Washington, DC: WRI; wbcscd, 2011.

Binder, V. A.; Kantowsky, J. (Technologiepotentiale):

Technologiepotentiale. Neuausrichtung der Gestaltungsfelder des Strategischen Technologiemanagements. Dissertation, Univ. St. Gallen. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 1996.

Blachfellner, M.; Drosch-Plöckinger, A.; Fieber, S.; Hofielen, G.; Knakrügge, L.; Kofranek, M.; Koloo, S.; Loy, R.; Rüther, Christian; Sennes, D.; Sörgel, R.; Teriete, M. (Arbeitsbuch zur Gemeinwohl-Bilanz):

Arbeitsbuch zur Gemeinwohl-Bilanz 5.0 Vollbilanz. Bundesverband Gemeinwohl-Ökonomie Österreich. Wien: 2023.

Blohm, H.; Lüder, K.; Schaefer, C. (Investition : Schwachstellenanalyse des Investitionsbereichs):

Investition : Schwachstellenanalyse des Investitionsbereichs und Investitionsrechnung / von Hans Blohm, Klaus Lüder und Christina Schaefer. (Reihe: Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften). 10., bearb. und aktualisierte Aufl. München: Vahlen, 2012.

Boewe, J. (Die Transformation der globalen):

Die Transformation der globalen Automobilindustrie. Trends, Deutungen, sozialökologische Handlungsstrategien. Ein Handbuch für die gewerkschaftliche und politische Praxis. Berlin: Rosa Luxemburg Stiftung, 2023.

Boos, W. (Bewertung von modularen Werkzeugen):

Methodik zur Gestaltung und Bewertung von modularen Werkzeugen. Dissertation, RWTH Aachen Univ. (Reihe: Edition Wissenschaft Apprimus). 1 Aufl. Aachen: Apprimus, 2008.

Boos, W.; Barth, S.; Lukas, G.; Lürken, C.; Calchera, R.; Bücken, M. (Erfolgreich Nachhaltigkeit messbar machen):

Erfolgreich Nachhaltigkeit messbar machen im Werkzeugbau. Aachen: Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, 2024.

Boos, W.; Kelzenberg, C.; Helbig, J.; Busch, M.; Graberg, T.; Schweins, J. (Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit):

Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit. Ein Differenzierungsmerkmal für den Werkzeugbau. Aachen: Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, 2020.

Boos, W.; Kelzenberg, C.; Prümmer, M.; Goertz, D.; Boshof, J.; Horstkotte, R.; Ochel, T.; Lürken, C. (Tooling in Germany 2020):

Tooling in Germany 2020. Aachen: Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, 2021.

Boos, W.; Kelzenberg, C.; Wiese, J.; Boshof, J.; Kessler, N.; Haase, B. (IT-Infrastruktur zur digitalen Vernetzung):

IT-Infrastruktur zur digitalen Vernetzung im Werkzeugbau. 1. Edition. Aachen: WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH; Werkzeugmaschinenlabor WZL der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 2021.

Boos, W.; Kelzenberg, C.; Wiese, J.; Goertz, D.; Boshof, J.; Busch, M.; Kessler, N. (Digitale Transformation im Werkzeugbau):

Digitale Transformation im Werkzeugbau. Aachen: Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, 2019.

Boos, W.; Lukas, G.; Barth, S.; Haase, B.; Kenfenheuer, J.; Weber, S.; Schenk, J.; Koch, A. (Tooling in Germany 2023):

Tooling in Germany 2023. Aachen: Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, 2024.

Boos, W.; Lukas, G.; Frey, C.; Calchera, R. (Kreislaufwirtschaft im Werkzeugbau):

Kreislaufwirtschaft im Werkzeugbau. ReUse-Plattform „Tool2Share“. In: Beschaffung aktuell. 2023.

Boos, W.; Lukas, G.; Haase, B.; Calchera, R. (Stellhebelanalyse Nachhaltigkeit):

Stellhebelanalyse Nachhaltigkeit. Nachhaltigkeitsmanagement. In: Fertigung. 2022, Nr. 6, S. 6–7.

Boos, W.; Lukas, G.; Haase, B.; Klisch, L. (Leistungssysteme im Werkzeugbau):

Nachhaltige Leistungssysteme im Werkzeugbau. In: Industrieanzeiger. 2024.

Boos, W.; Lukas, G.; Kenfenheuer, J.; Baumert, H.; Calchera, R. (Vision for sustainable tool and die manufacturing):

An approach to develop a vision for sustainable tool and die manufacturing. In: Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics (CPSL). 2025.

Boos, W.; Lukas, G.; Kessler, N.; Schweins, J.; Haase, B.; Kenfenheuer, J. (World of Tooling 2022):

World of Tooling 2022. Aachen: Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, 2022.

Boos, W.; Lukas, G.; Schweins, J.; Klisch, L. (Nachhaltigkeit im Werkzeugbau):

WBA-Serie: Nachhaltigkeit als wettbewerbsdifferenzierender Faktor. Nachhaltigkeit im Werkzeugbau messen und befähigen. In: Industrieanzeiger. 2023.

Boos, W.; Lukas, G.; Trisjono, J.; Klisch, L. (Ökoeffektiver Werkzeugbau):

Ökoeffektiver Werkzeugbau. Whitepaper. 1. Aufl. Aachen: Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, 2023.

Boos, W.; Salmen, M.; Begovic, A.; Kelzenberg, C.; Stracke, F. (Smart Tooling):

Smart Tooling. 2016.

Boos, W.; Salmen, M.; Hensen, T.; Schippers, M.; Wiese, J.; Schultes, T. (Erfolgreich Performance Messen):

Erfolgreich Performance Messen im Werkzeugbau. Aachen: Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, 2017.

Boos, W.; Salmen, M.; Hensen, T.; Schippers, M.; Wiese, J.; Schultes, T. (Erfolgreich Performance Messen):

Erfolgreich Performance Messen. Im Werkzeugbau. Aachen: WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH, 2022.

Boos, W.; Trauth, D.; Arntz, K.; Prümmer, M.; Niemietz, P.; Marcel, W.; Lürken, C.; Mayer, J. (Wettbewerbsfaktor Resilienz):

Wettbewerbsfaktor Resilienz. Handlungsfelder für den krisensicheren Werkzeugbau. Aachen: WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH, 2022.

Boos, W.; Welling, D.; Lukas, G.; Haase, B.; Eberius, T. (CO₂-Werkzeugpasses):

Werkzeugbau: Die Zukunft des CO₂-Werkzeugpasses. Der Öko-effektive Werkzeugbau. In: Beschaffung aktuell. 2024.

Booth, A. (Brimful of STARLITE):

"Brimful of STARLITE". Toward standards for reporting literature searches. In: Journal of the Medical Library Association. 94. Jg., 2006, Nr. 4, S. 421-9, e205.

Borbe, M.; Rost, I.; Vogt, E.; Winzer, P. (Ziel- und Kennzahlensystem):

Ziel- und Kennzahlensystem. auch in der Konstruktion und Entwicklung nutzbar. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. 101. Jg., 2006, Nr. 9, S. 505–508.

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit (Exnovation):

Exnovation. Glossar. <https://borderstep.de/glossar-eintrag/exnovation/>, Stand: 20.11.2024.

Boshof, J. (Dienstleistungen im Werkzeugbau):

Definition und Auslegung von datenbasierten Dienstleistungen im Werkzeugbau. Dissertation, RWTH Aachen Univ. (Reihe: Ergebnisse aus der Produktionstechnik). 1. Auflage. Aachen: Apprimus, 2021.

Brönnimann, S.; Franke, J.; Nussbaumer, S. U.; Zumbühl, H. J.; Steiner, D.; Trachsel, M.; Hegerl, G. C.; Schurer, A.; Worni, M.; Malik, A.; Flückiger, J.; Raible, C. C. (Little Ice Age):

Last phase of the Little Ice Age forced by volcanic eruptions. In: Nature Geoscience. 12. Jg., 2019, Nr. 8, S. 650–656.

Brown, M. G. (Kennzahlen):

Kennzahlen. Harte und weiche Faktoren erkennen, messen und bewerten. München, Wien: Hanser, 1997.

Brundtland, G. H. (Our Common Future):

Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development. Vereinte Nationen. Geneva: 1987.

Brunner, D. (Wirtschaftlichkeitsanalyse von Spritzgussanlagen):

Wirtschaftlichkeitsanalyse von Spritzgussanlagen in Bezug auf Nachhaltigkeit in Europa. 2024.

Bruns, M. (Systemeigenschaften):

Systemeigenschaften. In: Bruns, M. (Hrsg.) Systemtechnik. Berlin, Heidelberg: Springer, 1991, S. 41–45.

Bundesministerium der Justiz (§ 4 Abs. 1 EStG, Gewinnbegriff):

§ 4 Abs. 1 EStG. Einkommensteuergesetz (EStG) § 4 Gewinnbegriff im Allgemeinen.

Bundestag (Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz):

Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten in Lieferketten. Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz (LkSG). In: Bundesgesetzblatt. 2021, Nr. Teil I Nr. 46, S. 2959.

Burth, A.; Gnädinger, M. (Spitzenkennzahlen):

Spitzenkennzahlen. Lexikon zur öffentlichen Haushalts- und Finanzwirtschaft, 2024. <https://haushaltssteuerung.de/lexikon-spitzenkennzahlen.html>, Stand: 24.11.2024.

Butler, A. (Do customers really care):

Do customers really care about your environmental impact? In: Forbes New York Business Council. 2018.

Cai, W.; Lai, K. (Sustainability assessment of mechanical manufacturing systems):

Sustainability assessment of mechanical manufacturing systems in the industrial sector. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews. 135. Jg., 2021, S. 110169.

Cameron, W. B. (Informal Sociology):

Informal Sociology. A Casual Introduction to Sociological Thinking. New York: Random house, 1963.

Carlowitz, H. C. (Sylvicultura Oeconomica):

Sylvicultura Oeconomica. Oder hauswirthliche Nachricht und naturgemäße Anweisung zur wilden Baum-Zucht. Leipzig: JF Braun, 1713.

CDP Worldwide (Small and medium-sized enterprises):

CDP small and medium-sized enterprises 2023. Questionnaire and reporting guidance. 2023.

CDSB (Framework for reporting):

CDSB Framework for reporting environmental & social information. Advancing and aligning disclosure of environmental and social information in mainstream reports. London: 2022.

Chen, D.; Thiede, S.; Schudeleit, T.; Herrmann, C. (A holistic and rapid sustainability assessment tool):

A holistic and rapid sustainability assessment tool for manufacturing SMEs. In: CIRP Annals. 63. Jg., 2014, Nr. 1, S. 437–440.

Chyung, S. Y. Y.; Roberts, K.; Swanson, I.; Hankinson, A. (Evidence-Based Survey Design):

Evidence-Based Survey Design. The Use of a Midpoint on the Likert Scale. In: Performance Improvement. 56. Jg., 2017, Nr. 10, S. 15–23.

Crutzen, P. J.; Stoermer, E. F. (The ‘Anthropocene’):

The ‘Anthropocene’. In: Benner, S.; Lax, G.; Crutzen, P. J.; Pöschl, U., et al. (Hrsg.) Paul J. Crutzen and the anthropocene: A new epoch in earth’s history. Cham: Springer International Publishing, 2021, S. 19–21.

Department for Business, Energy & Industrial Strategy (2022 Government Greenhouse Gas):

2022 Government Greenhouse Gas Conversion Factors for Company Reporting. Methodology Paper. 2022.

Deutsche Industrie- und Handelskammer (DIHK-Fachkrätereport 2024/2025):

Fachkräfteengpässe und Wirtschaftsschwäche. DIHK-Fachkrätereport 2024/2025. 2024.

Deutscher Bundestag (Abschlußbericht der Enquete-Kommission):

Abschlußbericht der Enquete-Kommission. Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung. Bonn: 1998.

Di Giulio, A. (Idee der Nachhaltigkeit):

Die Idee der Nachhaltigkeit im Verständnis der Vereinten Nationen. Anspruch, Bedeutung und Schwierigkeiten. Dissertation, Univ. Bern. (Reihe: Ethik in der Welt). 1. Aufl. Münster: LIT-Verlag, 2004.

Dias, A. C.; Arroja, L. (Comparison of methodologies for):

Comparison of methodologies for estimating the carbon footprint – case study of office paper. In: Journal of Cleaner Production. 24. Jg., 2012, S. 30–35.

Die Bundesregierung (CO₂-Bepreisung):

CO₂-Bepreisung, 2019. <https://bundesregierung.de/breg-de/service/archiv/co2-bepreisung-1673008>, Stand: 20.11.2024.

Die Bundesregierung (Bericht Agenda 2030):

Bericht über die Umsetzung der Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung. Freiwilliger Staatenbericht Deutschlands zum HLPF 2021. 2021.

Dierkes, S.; Schäfer, U. (Finanzcontrolling in der Unternehmenspraxis):

Finanzcontrolling in der Unternehmenspraxis. In: Becker, W.; Ulrich, P. (Hrsg.) Handbuch Controlling. 2. Aufl. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Gabler, 2022, S. 247–271.

DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (ISO 26000, Gesellschaftliche Verantwortung):

ISO 26000:2010. Leitfaden zur gesellschaftlichen Verantwortung (Deutsche Fassung EN ISO 26000:2020). Berlin: Beuth, 2010.

DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (14067:2018, Greenhouse gases):

14067:2018. Greenhouse gases - Carbon footprint of products, Requirements and guidelines for quantification. Berlin: Beuth, 2018.

Dittrich, M.; Giljum, S.; Lutter, S.; Polzin, C. (Aktualisierung Ressourcenkennzahlen):

Aktualisierung von nationalen und internationalen Ressourcenkennzahlen. Forschungskennzahl 363 01 417, UBA-FB 001719. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2013.

DNK (Der Deutsche Nachhaltigkeitskodex):

Der Deutsche Nachhaltigkeitskodex. Maßstab für nachhaltiges Wirtschaften. Nachhaltigkeitskodex des deutschen Rats für nachhaltige Entwicklung c/o Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. 2020.

Eckstein, S.; Ochs, A. (Bewertung von Nachhaltigkeit):

Bewertung von Nachhaltigkeit mit Hilfe eines CSPM-Modells. In: Grothe, A.; Ankele, K.; Diekmann, V.; Eckstein, S., et al. (Hrsg.) Bewertung unternehmerischer Nachhaltigkeit. Berlin: Erich Schmidt, 2016, S. 27–40.

Eder, W. (Methode QFD):

Methode QFD. Bindeglied zwischen Produktplanung und Konstruktion. In: Konstruktion. 47. Jg., 1995, S. 1.

EFRAG (Implementation guidance):

Implementation guidance. EFRAG IG 1 materiality assessment. 2024.

Emami, N.; Heinonen, J.; Marteinson, B.; Säynäjoki, A.; Junnonen, J.-M.; Laine, J.; Junnila, S. (A Life Cycle Assessment):

A Life Cycle Assessment of Two Residential Buildings Using Two Different LCA Database-Software Combinations: Recognizing Uniformities and Inconsistencies. In: Buildings. 9. Jg., 2019, Nr. 1, S. 1–20.

EPD International (EPD International 2022):

Other special- and general-purpose machinery and parts thereof (4.0). PCR. 4.0 Aufl.2022.

Europäische Kommission (Der europäische Grüne Deal):

Der europäische Grüne Deal. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Brüssel: 2019.

Europäischen Union (Richtlinie 2013/34/EU, Jahresabschluss):

Jahresabschluss, den konsolidierten Abschluss und damit verbundene Berichte von Unternehmen bestimmter Rechtsformen. Richtlinie 2013/34/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Juni 2013. 2013.

Europäischen Union (Richtlinie 2014/95/EU, Angabe nichtfinanzieller Informationen):

Angabe nichtfinanzieller und die Diversität betreffender Informationen durch bestimmte große Unternehmen und Gruppen. Richtlinie 2014/95/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2014. 2014.

Europäischen Union (Mitteilung 2017/C 215/01, Berichterstattung):

Leitlinien für die Berichterstattung über nichtfinanzielle Informationen. Methode zur Berichterstattung über nichtfinanzielle Informationen, Mitteilung der Kommission (2017/C 215/01). 2017.

Europäischen Union (Richtlinie 2022/2464, Nachhaltigkeitsberichterstattung):

Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen. Richtlinie (EU) 2022/2464 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2022. 2022.

Europäischen Union (Ares (2023) 4009405):

Ares (2023) 4009405. Annex I: European sustainability reporting standards (ESRS). 2023.

European Commission (The European Green Deal):

The European Green Deal. 2019.

Eversheim, W.; Klocke, F. (Werkzeugbau mit Zukunft):

Werkzeugbau mit Zukunft. Strategien und Technologien. Berlin, Heidelberg: Springer, 1998.

Fabian Wenzel (Analyse von Werkstoffen und Fertigungsverfahren):

Analyse von Werkstoffen und Fertigungsverfahren im Karosseriebau unter Berücksichtigung der technologischen und strategischen Ausrichtung der Porsche Werkzeugbau GmbH Schwarzenberg. 2022.

FDWF (Forschungs-Roadmap):

Forschungs-Roadmap. 2024.

Financial Reporting Council (Guidance on the strategic report):

Guidance on the strategic report. Financial Reporting Council Limited. London: 2022.

Fischer, K. (Corporate Sustainability Governance):

Corporate Sustainability Governance. Nachhaltigkeitsbezogene Steuerung von Unternehmen in einer globalisierten Welt. Dissertation, Tech. Univ. Kaiserslautern. (Reihe: Theorie und Praxis der Nachhaltigkeit). 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2015.

Forstner, L.; Dümmler, M. (Integrierte Wertschöpfungsnetzwerke):

Integrierte Wertschöpfungsnetzwerke. Chancen und Potenziale durch Industrie 4.0. In: e & i Elektrotechnik und Informationstechnik. 131. Jg., 2014, Nr. 7, S. 199–201.

Freeman, R. E. (Strategic Management):

Strategic Management. A Stakeholder Approach. Cambridge University Press, 2010.

Freeman, R. E.; Dmytriiev, S. D. (Selected Works on Stakeholder Theory and Business Ethics):

R. Edward Freeman's Selected Works on Stakeholder Theory and Business Ethics. (Reihe: Eminent Voices in Business Ethics). 1st ed. 2023. Cham: Springer International Publishing; Imprint Springer, 2023.

Frick, L. (Geschäftsmodelle im Werkzeugbau):

Erfolgreiche Geschäftsmodelle im Werkzeugbau. Dissertation. RWTH Aachen University. 2005.

Frick, L. (Geschäftsmodelle im Werkzeugbau):

Erfolgreiche Geschäftsmodelle im Werkzeugbau. Dissertation, RWTH Aachen Univ. (Reihe: Berichte aus der Produktionstechnik). 1. Aufl. Aachen: Shaker, 2006.

Friedericy, H. J.; van Egmond, C. W.; Vogtländer, J. G.; van der Eijk, A. C.; Jansen, F. W. (Reducing the Environmental Impact):

Reducing the Environmental Impact of Sterilization Packaging for Surgical Instruments in the Operating Room. A Comparative Life Cycle Assessment of Disposable versus Reusable Systems. In: Sustainability. 14. Jg., 2022, Nr. 1, S. 430.

Friedli, T. (Technologiemanagement):

Technologiemanagement. Modelle zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit. Habilitationsschr. Univ. St. Gallen. 1. Aufl. Berlin: Springer, 2006.

Gál, T. (Betriebliche Entscheidungsprobleme, Sensitivitätsanalyse):

Betriebliche Entscheidungsprobleme, Sensitivitätsanalyse und parametrische Programmierung. (Reihe: Operations Research). Reprint 2018. Berlin: DE GRUYTER, 1973.

Gansor, T.; Scheuch, R.; Ziller, C. (Master Data Management):

Master Data Management. Strategie, Organisation, Architektur. (Reihe: Edition TDWI). dpunkt.verlag, 2012.

Garcia, R.; Freire, F. (Carbon footprint of particleboard):

Carbon footprint of particleboard. a comparison between ISO/TS 14067, GHG Protocol,

PAS 2050 and Climate Declaration. In: Journal of Cleaner Production. 66. Jg., 2014, S. 199–209.

García-Muiña, F.; Medina-Salgado, M. S.; González-Sánchez, R.; Huertas-Valdivia, I.; Ferrari, A. M.; Settembre-Blundo, D. (Social Organizational Life Cycle Assessment):

Industry 4.0-based dynamic Social Organizational Life Cycle Assessment to target the social circular economy in manufacturing. In: Journal of Cleaner Production. 327. Jg., 2021, S. 1–13.

Gaskell, A. (Employees demand):

Employees demand that we become more sustainable. In: Forbes. 2021.

Gebauer, J.; Hoffmann, E.; Lautermann, C.; Merten, T.; Westermann, U. (Anforderungen an die Nachhaltigkeitsberichterstattung):

Anforderungen an die Nachhaltigkeitsberichterstattung von KMU. Kriterien und Bewertungsmethode im Ranking der Nachhaltigkeitsberichte 2018 von IÖW und future. Berlin, Münster: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) & future e. V., 2018.

Gebeshuber, R. (Der Formen- und Werkzeugbau im Wandel der Zeit):

Der Formen- und Werkzeugbau im Wandel der Zeit. Entwicklung und Innovationen, - inklusive Praxis-Fallbeispiel: "Vom Einzelfertiger zum Weltmarktführer". Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller, 2008.

Gensch, C.-O. (Der Product Carbon Footprint):

Der Product Carbon Footprint (PCF) - Methodische Hintergründe und praktische Umsetzung. In: Urbansky, A. (Hrsg.) Energieeffiziente Produktion im Maschinen- und Anlagenbau. Magdeburg: FASA e.V., 2013, S. 61–67.

Gierhake, O. (Integriertes Geschäftsprozessmanagement):

Integriertes Geschäftsprozessmanagement. Effektive Organisationsgestaltung mit Workflow-, Workgroup- und Dokumentenmanagement-Systemen. (Reihe: Edition Wirtschaftsinformatik). 3., verb. u. erw. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2000.

Gillenkirch, R. (Zielsystem der Unternehmung):

Zielsystem der Unternehmung. Gabler Wirtschaftslexikon, 2018. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/zielsystem-der-unternehmung-53968/version-277027>, Stand: 20.11.2024.

Gladen, W. (Kennzahlen- und Berichtssysteme):

Kennzahlen- und Berichtssysteme. Grundlagen zum Performance Measurement. (Reihe: Springer eBook Collection Business and Economics). 2., überarb. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2003.

Gleich, R. (Das System des Performance):

Das System des Performance measurement: Theoretisches Grundkonzept, Entwicklungs- und Anwendungsstand. Zugl.: Stuttgart, Univ., Habil.-Schr., 2000 (Nicht für den Austausch). (Reihe: Controlling. München: Vahlen, 2001.

Global Reporting Initiative (GRI 1):

GRI 1. Grundlagen 2021. Amsterdam: Global Reporting Initiative, 2023.

Göpel, M. (The Great Mindshift):

The Great Mindshift. How a New Economic Paradigm and Sustainability Transformations go Hand in Hand. Berlin: Springer, 2016.

Gottmann, J. (Produktionscontrolling):

Produktionscontrolling. Wertströme und Kosten optimieren. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019.

Graberg, T. (Digitaler Schatten im Werkzeugbau):

Operationalisierung von digitalen Schatten im Werkzeugbau. Dissertation, RWTH Aachen Univ. (Reihe: Ergebnisse aus der Produktionstechnik). 1. Aufl. Aachen: Apprimus, 2022.

GRI (Introduction to GRI):

A Short Introduction to the GRI Standards. Global Reporting Initiative. Amsterdam: 2023.

Grober, U. (Die Entdeckung der Nachhaltigkeit):

Die Entdeckung der Nachhaltigkeit: Kulturgeschichte eines Begriffs. München: Kunstmann, 2010.

Grüning, M. (Performance-Measurement-Systeme):

Performance-Measurement-Systeme. Messung und Steuerung von Unternehmensleistung. Dissertation, Techn. Univ. Dresden. (Reihe: Gabler Edition Wissenschaft). 1. Aufl. Wiesbaden: Springer, 2002.

Grunwald, A.; Kopfmüller, J. (Nachhaltigkeit):

Nachhaltigkeit. (Reihe: Studium). 3., akt. und erweit. Aufl. Frankfurt, New York: Campus Verlag, 2022.

Guba, E. G.; Lincoln, Y. S. (Qualitative research):

Competing paradigms in qualitative research. 1994.

Guglielmini, P. (Fertigung nachhaltige Zukunft):

Autonome Fertigung für eine nachhaltige Zukunft. In: Schmitt, R. H.; Bergs, T.; Brecher, C.; Schuh, G., et al. (Hrsg.) Empower Green Production. Tagungsband. Aachen: Fraunhofer-Gesellschaft, 2023, S. 12–16.

Gutenberg, E. (Einführung in die Betriebswirtschaftslehre):

Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. Wiesbaden: Gabler Verlag, 1958.

Haase, B. (Datenbasierte Werkzeuglebenszykluskostenanalyse):

Datenbasierte Werkzeuglebenszykluskostenanalyse. Dissertation, RWTH Aachen Univ. (Reihe: Ergebnisse aus der Produktionstechnik). 1. Auflage. Aachen: Apprimus Verlag, 2024.

Hammouda, K.; Karray, F. (Data clustering techniques):

A comparative study of data clustering techniques. In: Tools of Intelligent Systems Design, Course Project. 2000.

Harrach, C. (Transformation von Unternehmen):

Transformation von Unternehmen mit der Gemeinwohl-Ökonomie. Wissen, Werkzeuge und Motivationen zur nachhaltigen Organisationsentwicklung. (Reihe: essentials. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, 2023.

Härtel, B.; Wiese, J.; Calchera, R.; Martens, T.; Bergstein, D.; Schadow, P. (DBU-Abschlussbericht):

DBU-Abschlussbericht-AZ-37121_01. Aachen: 2023.

Harwardt, M. (Ökologische Nachhaltigkeit im E-Commerce):

Ökologische Nachhaltigkeit im E-Commerce. Grundlagen, Ansätze und Handlungsempfehlungen. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Gabler, 2023.

Haubold, P. (Die Normierung der Unternehmensziele):

Die Normierung der Unternehmensziele der Aktiengesellschaft im Lichte der Nachhaltigkeit. Dissertation, Universität Heidelberg. (Reihe: Heidelberger Schriften zum Wirtschaftsrecht und Europarecht). 1. Aufl. Baden-Baden: Nomos, 2023.

Hauff, M. von (Nachhaltige Entwicklung):

Nachhaltige Entwicklung. Grundlagen und Umsetzung. 3., überarb. und erweit. Aufl. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg, 2021.

Hauschild, M., et al. (Life Cycle Assessment):

Life Cycle Assessment. Theory and Practice. Cham: Springer, 2018.

Heinen, E. (Entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre):

Entwicklungstendenzen in der Entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre. In: Die Unternehmung. 25. Jg., 1971, Nr. 2, S. 89–99.

Heinrich, L. J.; Heinzl, A.; Roithmayr, F. (Wirtschaftsinformatik-Lexikon):

Wirtschaftsinformatik-Lexikon. DE GRUYTER, 2014.

Hensen, T. (Industrielle Werkzeugbaubetriebe):

Strategische Auslegung industrieller Werkzeugbaubetriebe. Dissertation, RWTH Aachen Univ. (Reihe: Ergebnisse aus der Produktionstechnik). 1. Aufl. Aachen: Apprimus, 2017.

Hensen, T. (Strategie industrieller Werkzeugbaubetriebe):

Strategische Auslegung industrieller Werkzeugbaubetriebe. Dissertation. RWTH Aachen University. 2017.

Herrmann, C.; Blume, S.; Kurle, D.; Schmidt, C.; Thiede, S. (The Positive Impact Factory):

The Positive Impact Factory–Transition from Eco-efficiency to Eco-effectiveness Strategies in Manufacturing. In: Procedia CIRP. 29. Jg., 2015, S. 19–27.

Heseding, M. (Jahres-Pressekonferenz VDMA):

Die Branche geht durch harte Zeiten. Werkzeugbau auf der Jahres-Pressekonferenz VDMA Präzisionswerkzeuge. In: Form+Werkzeug. 2023.

Heyen, D. A. (Workingpaper Exnovation):

Workingpaper Exnovation. Herausforderungen und politische Gestaltungsansätze für den Ausstieg aus nicht-nachhaltigen Strukturen. Öko-Institut e.V. 2016.

Hiller, M., et al. (Finance-Perspektiven im Wandel):

Finance-Perspektiven im Wandel. Digital, nachhaltig, resilient. (Reihe: Reserach. Wiesbaden, Heidelberg: Springer, 2024.

Hinrichs, B. (Nachhaltigkeit als Unternehmensstrategie):

Nachhaltigkeit als Unternehmensstrategie. Roadmap für unternehmerische Nachhaltigkeit & Innovation. (Reihe: Haufe Corporate Sustainability). 2. Aufl. Freiburg, München, Stuttgart: Haufe Group, 2023.

Horsthofer-Rauch, J.; Vernim, S.; Reinhart, G. (Wertstromanalyse):

Nachhaltigkeitsfokussierte digitale Wertstromanalyse. Konzept zum Einsatz von Process Mining für die nachhaltigkeitsfokussierte Wertstromanalyse. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. 116. Jg., 2021, Nr. 9, S. 590–593.

Horváth, P. (Controlling):

Controlling. (Reihe: Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften). 8., vollst. überarb. Aufl. München: Vahlen, 2002.

Hottenroth, H.; Joa, B.; Schmidt, M. (Carbon Footprints für Produkte):

Carbon Footprints für Produkte. Handbuch für die betriebliche Praxis kleiner und mittlerer Unternehmen. Pforzheim: INEC Institute for industrial ecology, 2014.

Huang, A.; Badurdeen, F. (Sustainable Manufacturing Performance Evaluation):

Sustainable Manufacturing Performance Evaluation: Integrating Product and Process Metrics for Systems Level Assessment. In: Procedia Manufacturing. 8. Jg., 2017, S. 563–570.

IAA (Dreigliedrige Grundsatzerklärung):

Dreigliedrige Grundsatzerklärung über multinationale Unternehmen und Sozialpolitik. 6. Aufl. Genf: Internationale Arbeitsorganisation, 2022.

ifaa (Nachhaltigkeitsmanagement):

Nachhaltigkeitsmanagement - Handbuch für die Unternehmenspraxis. Gestaltung und Umsetzung von Nachhaltigkeit in kleinen und mittleren Betrieben. (Reihe: ifaa-Edition. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2021.

ifo Institut (Materialknappheit):

Materialknappheit wieder leicht verschärft. Pressemitteilung - 30. September 2022. ifo Institut. 2022.

IHK Rhein-Neckar (Steigende Rohstoffpreise):

Wie Lieferengpässe und steigende Rohstoffpreise deutsche Unternehmen belasten. Mitteilung Nr. 5218724. IHK Rhein-Neckar. Mannheim: 2020.

IIRC (International intergrated reporting framework):

International Intergrated Reporting Framework. International Integrated Reporting Council. 2021.

Ijaz, T.; Qazalbash, A. H. R.; Razzaq, A. A.; Rafique, M. Z.; Khan, M. A.; Jamshaid, S. H. (Development of a green manufacturing):

Development of green manufacturing implementation framework based on life-cycle assessment. In: Sustainable Environment Research. 34. Jg., 2024, Nr. 1.

Inaba, A.; Chevassus, S.; Cumberlge, T.; Hong, E.; Lohsomboon, P.; Kataoka, A.; Mercadie, C.; Mungcharoen, T.; Radunsky, K. (Carbon footprint of products):

Carbon footprint of products. In: Finkbeiner, M. (Hrsg.) Special Types of Life Cycle Assessment. 1st ed. 2016 Dordrecht: Springer, 2016, S. 11–71.

Index Mundi (United Kingdom vs. Germany):

United Kingdom vs. Germany - Country Comparison, 2024. <https://indexmundi.com/factbook/compare/united-kingdom.germany>, Stand: 14.01.2025.

IPCC (Climate Change 2021):

Climate Change 2021. The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel in Climate Change. Cambridge, New York: Cambridge University Pres, 2021.

IPCC (Climate Change 2022):

Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2022.

ISO (ISO 14064-1, Greenhouse gases):

ISO 14064-1:2018. Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. Berlin: Beuth, 2019.

ISO/TC207 (Greenhouse gases):

Greenhouse gases - Quantification and reporting of greenhouse gas emissions for organizations. Guidance for the application of ISO 14064-1. ISO,

Jackson, T. (Jackson 2017):

Wohlstand ohne Wachstum - das Update: Grundlagen für eine zukunftsfähige Wirtschaft. Deutsche Erstausgabe. München: oekom Verlag, 2017.

Jung, H. (Controlling):

Controlling. 4., akt. Aufl. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2014.

Kaldas, O.; Shihata, L. A.; Kiefer, J. (An index-based sustainability assessment framework):

An index-based sustainability assessment framework for manufacturing organizations. In: Procedia CIRP. 97. Jg., 2021, S. 235–240.

Kalverkamp, M.; Helmers, E.; Pehlken, A. (Impacts of life cycle):

Impacts of life cycle inventory databases on life cycle assessments: A review by means of a drivetrain case study. In: Journal of Cleaner Production. 269. Jg., 2020.

Kausche, M. (Wirtschaftlich-technische Untersuchungen und Kostensenkungspotenziale):

Wirtschaftlichkeit schwimmender Offshore Windenergieanlagen. Wirtschaftlich-technische Untersuchungen und Kostensenkungspotenziale. (Reihe: Baubetriebswirtschaftslehre und Infrastrukturmanagement. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2017.

Kelzenberg, C. (Datenstrukturmodell von Werkzeugbaubetrieben):

Datenstrukturmodell für den digitalen Schatten der Auftragsabwicklung von Werkzeugbaubetrieben. Dissertation, RWTH Aachen Univ. (Reihe: Ergebnisse aus der Produktionstechnik). 1. Aufl. Aachen: Apprimus, 2019.

Kelzenberg, C. (Nachhaltigkeit im Werkzeugbau):

Nachhaltigkeit im Werkzeugbau. ein Themenimpuls, 2021. <https://werkzeugbau-akademie.de/aktuelles/nachhaltigkeit-im-werkzeugbau-ein-themenimpuls/>, Stand: 20.11.2024.

Kersting, M.; Werbeck, N.; Ebben, T. (Angewandte Nutzwertanalyse):

Angewandte Nutzwertanalyse in Planung und Verwaltung. In: dynaklim-Kompakt. 2014, Nr. 16.

Kett, I.; Schewe, G. (Management Skills):

Management Skills. Beziehungen nutzen, Probleme lösen, effektiv kommunizieren. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler, 2010.

Klocke, F.; Schuh, G.; Zohm, F.; Fricker, I.; Sauer, A.; Wegehaupt, P. (Zukunftsstudie Werkzeug- und Formenbau):

Zukunftsstudie Werkzeug- und Formenbau. Aachen: WZL der RWTH Aachen University, 2005.

Klotzbach, C. (Industrieller Werkzeugbau):

Gestaltungsmodell für den industriellen Werkzeugbau. Dissertation, RWTH Aachen Univ. (Reihe: Berichte aus der Produktionstechnik). 1. Aufl. Aachen: Shaker, 2007.

Komorek, N. J. (Wertschöpfung im Werkzeugbau):

Gestaltungsmodell für kollaborative Wertschöpfung im industriellen Werkzeugbau. Dissertation, RWTH Aachen Univ. (Reihe: Ergebnisse aus der Produktionstechnik). 1. Aufl. Aachen: Apprimus, 2014.

Kozielski, S. A. (Integratives Kennzahlensystem):

Integratives Kennzahlensystem für den Werkzeugbau. Dissertation, RWTH Aachen

University. (Reihe: Ergebnisse aus der Produktionstechnik). 1. Aufl. Aachen: Apprimus, 2013.

Kubicek, H. (Konstruktionsstrategie empirischer Forschung):

Heuristische Bezugsrahmen und heuristisch angelegte Forschungsdesign als Elemente einer Konstruktionsstrategie empirischer Forschung. (Reihe: Arbeitspapier/ Institut für Unternehmensführung im Fachbereich Wirtschaftswissenschaften der Freien Universität Berlin. Berlin: Inst. für Unternehmensführung, 1976.

Kuhlmann, T. (Corporate Tooling):

Corporate Tooling. Modularer Werkzeugbau als Befähiger internationaler Produktionsnetzwerke. Dissertation, RWTH Aachen Univ. (Reihe: Ergebnisse aus der Produktionstechnik). 1. Aufl. Aachen: Apprimus, 2016.

Kuhn, T. S. (Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen):

Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. (Reihe: Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft). 9. Auflage. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1988.

Kühn, T. (Leistungssysteme im Werkzeugbau):

Lebenszyklusorientierte Leistungssysteme im Werkzeugbau. Dissertation, RWTH Aachen Univ. (Reihe: Ergebnisse aus der Produktionstechnik). 1. Aufl. Aachen: Apprimus, 2016.

Kunststoff-Cluster (Kunststoffstandort Österreich):

Kunststoffstandort Österreich. Positions- und Transformationspapier des Kunststoff-Cluster-Beirats. Linz: 2023.

Lachnit, L. (Systemorientierte Jahresabschlußanalyse):

Systemorientierte Jahresabschlußanalyse. Weiterentwicklung der externen Jahresabschlußanalyse mit Kennzahlensystemen, EDV und mathematisch-statistischen Methoden. (Reihe: Neue betriebswirtschaftliche Forschung. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 1979.

Lackes, R. (Bewegungsdaten):

Bewegungsdaten. Gabler Wirtschaftslexikon, 2018. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/bewegungsdaten-30812/version-254388>, Stand: 20.11.2024.

Lackes, R.; Siepermann, M. (Stammdaten):

Stammdaten. Gabler Wirtschaftslexikon, 2018. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/stammdaten-43248/version-266579>, Stand: 20.11.2024.

Lawn, P. A. (Toward sustainable development):

Toward sustainable development. An ecological economics approach. (Reihe: Ecological Economics Series). CRC PRESS, 2020.

Lawrence, Rick L and Wright, Andrea (Rule-based classification systems):

Rule-based classification systems using classification and regression tree (CART)

analysis. In: Photogrammetric engineering and remote sensing. 67. Jg., 2001, Nr. 10, S. 1137–1142.

Lehner, F.; Wildner, S.; Scholz, M. (Wirtschaftsinformatik):

Wirtschaftsinformatik. Eine Einführung. 2. Aufl. München, Wien: Hanser, 2008.

Lewandowski, S.; Ullrich, A.; Gronau, N. (Berechnung des CO₂-Fußabdrucks):

Normen zur Berechnung des CO₂-Fußabdrucks. Ein Vergleich von PAS 2050, GHG Protocol und ISO 14067. In: Industrie 4.0 Management. 37. Jg., 2021, Nr. 4, S. 17–20.

Likert, R. (Measurement of Attitudes):

Measurement of Attitudes. A Technique for the Measurement of Attitudes. New York: Archives of Psychology, 1932.

Lühr, Dörendahl; Hagedorn (Impact Klimaanpassung):

Impact Klimaanpassung. Düsseldorf: Prognos AG, 2018.

Maaß, Frank; Chlosta; Simone; Icks; Annette; Welter; Friederike (Nachhaltigen Unternehmenertums):

Konzepte und Wirkungen nachhaltigen Unternehmertums. (Reihe: IfM-Materialien Nr. 227. Bonn: Institut für Mittelstandsforschung Bonn, 2024.

Meise, V. (Ordnungsrahmen zur Organisationsgestaltung):

Ordnungsrahmen zur prozessorientierten Organisationsgestaltung. Modelle für das Management komplexer Reorganisationsprojekte. Dissertation, Univ. Münster (Westfalen). (Reihe: Schriftenreihe Studien zur Wirtschaftsinformatik). 1. Aufl. Hamburg: Kovač, 2001.

Mellerowicz, K. (Allgemeine Betriebswirtschaftslehre):

Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Band 4. (Reihe: Sammlung Göschen). 11. Aufl. Reprint 2019. Berlin, Boston: DE GRUYTER, 1963.

Meusburger; WBA Werkzeugbau Akademie (Marktbarometer):

Marktbarometer – Herausforderungen für 2025. 2025.

Meyer, H.; Reher, H.-J. (Projektmanagement):

Projektmanagement. Von der Definition über die Projektplanung zum erfolgreichen Abschluss. (Reihe: Lehrbuch). 2., überarbeitete Auflage. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Gabler, 2020.

Michelsen, G.; Adomßent, M. (Nachhaltige Entwicklung):

Nachhaltige Entwicklung. Hintergründe und Zusammenhänge. In: Heinrichs, H.; Michelsen, G. (Hrsg.) Nachhaltigkeitswissenschaften. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 2014, S. 3–61.

Mio, A.; Fermeglia, M. (Multiscale modelling techniques):

Multiscale modelling techniques in Life Cycle Assessment. application to product design. In: Procedia CIRP. 105. Jg., 2022, S. 688–693.

Müller-Stewens, G. (Unternehmensleitbild):

Unternehmensleitbild. Gabler Wirtschaftslexikon, 2018. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/unternehmensleitbild-50248/version-273470>, Stand: 20.11.2024.

Nagel, M.; Mieke, C.; Teuber, S. (Methodenhandbuch der Betriebswirtschaft):

Methodenhandbuch der Betriebswirtschaft. (Reihe: UTB Betriebswirtschaftslehre). 2., vollst. überarb. und erweit. Aufl. München, Tübingen: UVK Verlag; Narr Francke Attempto Verlag GmbH & Co. KG, 2020.

Natural Capital Coalition (Natural capital protocol):

Natural capital protocol. 2016.

Neukom, R.; Barboza, L. A.; Erb, M. P.; Shi, F.; Emile-Geay, J.; Evans, M. N.; Franke, J.; Kaufman, D. S.; Lücke, L.; Rehfeld, K.; Schurer, A.; Zhu, F.; Brönnimann, S.; Hakim, G. J.; Henley, B. J.; Ljungqvist, F. C.; McKay, N.; Valler, V.; Gunten, L. von (Variability in global temperature):

Consistent multidecadal variability in global temperature reconstructions and simulations over the Common Era. In: Nature Geoscience. 12. Jg., 2019, Nr. 8, S. 643–649.

Neukom, R.; Steiger, N.; Gómez-Navarro, J. J.; Wang, J.; Werner, J. P. (No coherent warm and cold periods):

No evidence for globally coherent warm and cold periods over the preindustrial Common Era. In: Nature. 571. Jg., 2019, Nr. 7766, S. 550–554.

Nowak, P. (Betriebswirtschaftliche Kennzahlen):

Betriebswirtschaftliche Kennzahlen. In: Hax, K.; Wessels, T. (Hrsg.) Handbuch der Wirtschaftswissenschaften. 2., überarb. u. erw. Aufl. Köln: Westdt., 1966.

Ochel, T. (Resilienzsteigerung im Werkzeugbau):

Prognostik zur Resilienzsteigerung im Werkzeugbau. Dissertation, RWTH Aachen Univ. (Reihe: Ergebnisse aus der Produktionstechnik). 1. Aufl. Aachen: Apprimus, 2023.

OECD (OECD-Leitsätze für multinationale Unternehmen):

OECD-Leitsätze für multinationale Unternehmen. Neufassung 2011. Paris: OECD Publishing, 2011.

OECD (OECD-Leitfaden Sorgfaltspflichten):

OECD-Leitfaden für die Erfüllung der Sorgfaltspflicht für verantwortungsvolles unternehmerisches Handeln. 2018.

OECD/FAO (Leitfaden Lieferketten):

OECD/FAO-Leitfaden für verantwortungsvolle landwirtschaftliche Lieferketten. Organization for Economic Co-operation and Development/ Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016.

Oliver Wyman; CDP (Running hot):

Running hot. Accelerating Europe's path to Paris. CDP. 2021.

Otto Schulz-Mehrin (Betriebswirtschaftliche Kennzahlen):

Betriebswirtschaftliche Kennzahlen als Mittel zur Betriebskontrolle und Betriebsführung / bearb. von Otto Schulz-Mehrin. DE GRUYTER,

Owsianiak, M.; Bjørn, A.; Laurent, A.; Molin, C.; Ryberg, M. W. (LCA applications):

LCA applications. In: Hauschild, M. Z.; Rosenbaum, R. K.; Olsen, S. I. (Hrsg.) Life Cycle Assessment. Cham: Springer, 2018, S. 31–43.

PACT (Pathfinder framework):

Pathfinder framework. Guidance for the accounting and exchange of product life cycle emissions. 2023.

Patzak, G. (Systemtechnik):

Systemtechnik. Planung komplexer innovativer Systeme. Berlin, Heidelberg: Springer, 1982.

Pauer, E.; Wohner, B.; Tacker, M. (The influence of database):

The influence of database selection on environmental impact results. Life cycle assessment of packaging using GaBi, Ecoinvent 3.6, and the Environmental Footprint Database. In: Sustainability. 12. Jg., 2020, Nr. 23.

Pelletier, N.; Allacker, K.; Manfredi, S.; Chomkham, K.; Maia de Souza, D. (Organisation environmental footprint (OEF)):

Organisation environmental footprint (OEF) guide. Deliverable 3 and 4B to the Administrative Arrangement between DG Environment and Joint Research Centre No. N 070307/2009/552517, including Amendment No 1 from December 2010. European Commission. Ispra: 2012.

Pergler Media (Fachkräftemangel):

Tebis: Konkrete Maßnahmen gegen den Fachkräftemangel, 2022. <https://perglermedia.de/2022/12/12/tebis-konkrete-massnahmen-gegen-den-fachkraeftemangel/>, Stand: 20.11.2024.

Peverali, F.; Ullrich, A. (Umweltorientiertes Prozessmanagement):

Umweltorientiertes Prozessmanagement. Integration von Standards des Umweltmanagements und der Nachhaltigkeitsberichterstattung in eine betriebliche Prozessarchitektur. In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik. 58. Jg., 2021, Nr. 1, S. 181–196.

Pichler, C. (Leitbild Nachhaltiger Entwicklung):

Das Leitbild Nachhaltiger Entwicklung. In: Der öffentliche Sektor - The Public Sector. 46. Jg., 2020, Nr. 1, S. 93–99.

Polanyi, K. (The great transformation):

The great transformation. The Political & Economic Origins of our Time. New York, Toronto: Ferrar & Rinehart, 1944.

Pollack, A. (Planung des Werkzeugbaus):

Entwicklung eines Informationssystems zur strategischen Planung des Werkzeugbaus.

Ein Beitrag zur Strategiefindung auf Basis von Benchmarking-Ergebnissen. Dissertation, RWTH Aachen Univ. (Reihe: Berichte aus der Produktionstechnik). Als Ms. gedr. Aachen: Shaker, 1995.

Preißler, P. R. (Betriebswirtschaftliche Kennzahlen):

Betriebswirtschaftliche Kennzahlen. Formeln, Aussagekraft, Sollwerte, Ermittlungsintervalle. München: Oldenbourg, 2008.

Ranganathan, J.; Corbier, L.; Bhatia, P.; Schmitz, S.; Gage, P.; Oren, K. (The Greenhouse Gas Protocol):

The Greenhouse Gas Protocol. (Reihe: A Corporate Accounting and Reporting Standard). Rev. ed. Genf, Washington DC: wbcscd, WRI, 2004.

Reinhard Haberfellner; Olivier L. Weck; Ernst Fricke; Siegfried Vössner (Systems Engineering):

Systems Engineering. Grundlagen und Anwendung. 12., völlig neu bearb. und erw. Aufl. Zürich: Orell Füssli, 2012.

Repiská, R.; Grisáková, N.; Štetka, P. (Hierarchical clustering):

Hierarchical clustering based on international sustainability indices of EU Countries. In: Ekonomické rozhľady – Economic Review. 51. Jg., 2022, Nr. 2, S. 149–170.

Reschke, J. (Schlussbericht Carbon Footprinting):

Schlussbericht Carbon Footprinting. Ermittlung des Carbon Footprints unterschiedlicher Antriebsarten von Produktionsanlagen. FIR of RWTH Aachen; ifas of RWTH Aachen. Aachen: 2019.

Richard Y. Wang; Diane M. Strong (Beyond accuracy):

Beyond accuracy: What data quality means to data consumers. In: J. Manag. Inf. Syst. 12. Jg., 1996, S. 5–33.

Ritchey, T. (Morphologie and policy analysis):

Fritz Zwicky, Morphologie and policy analysis. 1998.

Rockström, J.; Sukhdev, P. (The SDGs Wedding Cake):

The SDGs Wedding Cake. Vortrag auf der Stockholm EAT Food Forum am 13 June 2016. Stockholm: Stockholm Resilience Centre, Stockholm Univ., 2016.

Ropohl, G. (Allgemeine Technologie):

Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik. 3., überarbeitete Auflage. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe, 2009.

Rosemann, M.; Schwegmann, A.; Delfmann, P. (Vorbereitung der Prozessmodellierung):

Vorbereitung der Prozessmodellierung. In: Becker, J.; Kugeler, M.; Rosemann, M. (Hrsg.) Prozessmanagement. 5., überarb. und erw. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, 2005, S. 45–103.

Rosenbaum, R. K.; Hauschild, M. Z.; Boulay, A.-M.; Fantke, P.; Laurent, A.; Núñez, M.; Vieira, M. (Life Cycle Impact Assessment):

Life Cycle Impact Assessment. In: Hauschild, M. Z.; Rosenbaum, R. K.; Olsen, S. I. (Hrsg.) Life Cycle Assessment. Cham: Springer, 2018, S. 167–271.

Rout, P.; Verma, A.; Bhunja, P.; Surampalli, R.; Zhang, T.; Tyagi, R.; Brar, R.; Goyal, M. (Introduction to sustainability):

Introduction to sustainability and sustainable development. In: Surampalli, R. Y.; Zhang, T. C.; Goyal, M. K.; Brar, S. K., et al. (Hrsg.) Sustainability. First edition Hoboken, NJ: Wiley, 2020, S. 1–19.

Rückle, H.; Behn, M. (Der Unternehmenserfolg):

Der Unternehmenserfolg. Werte, Visionen, Ziele. 2., überarbeitete Auflage. Tübingen: expert verlag GmbH, 2017.

Rüegg-Stürm, J.; Grand, S. (Das St. Galler Management-Modell):

Das St. Galler Management-Modell / Johannes Rüegg-Stürm & Simon Grand. 3., überarbeitete und weiterentwickelte Auflage. Bern: Haupt, 2017.

Saad, M. H.; Nazzal, M. A.; Darras, B. M. (A general framework for sustainability assessment):

A general framework for sustainability assessment of manufacturing processes. In: Ecological Indicators. 97. Jg., 2019, S. 211–224.

Saatweber, J. (Kundenorientierung durch Quality Function):

Kundenorientierung durch Quality Function Deployment: Produkte und Dienstleistungen mit QFD systematisch entwickeln. Symposium, 2011.

Sachverständigenrat für Umweltfragen (Umweltgutachten 1994):

Umweltgutachten 1994: Für eine dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung. Bonn: 1994.

Sala, S.; Farioli, F.; Zamagni, A. (Life cycle sustainability):

Life cycle sustainability assessment in the context of sustainability science progress (part 2). In: The International Journal of Life Cycle Assessment. 18. Jg., 2013, Nr. 9, S. 1686–1697.

Sala, S.; Farioli, F.; Zamagni, A. (Progress in sustainability science):

Progress in sustainability science: lessons learnt from current methodologies for sustainability assessment: Part 1. 2013.

Salmen, M. (Digital vernetzten Shopfloor im Werkzeugbau):

Gestaltungsmodell für den digital vernetzten Shopfloor im Werkzeugbau. Dissertation. (Reihe: Produktionssystematik). 1. Auflage 2016.

Sanjuan-Delmás, D.; Alvarenga, R. A. F.; Lindblom, M.; Kampmann, T. C.; van Oers, L.; Guinée, J. B.; Dewulf, J. (Environmental assessment of copper):

Environmental assessment of copper production in Europe: an LCA case study from

Sweden conducted using two conventional software-database setups. In: The International Journal of Life Cycle Assessment. 2022.

Saxena, P.; Stavropoulos, P.; Kechagias, J.; Saloniitis, K. (Sustainability Assessment for Manufacturing Operations):

Sustainability assessment for manufacturing operations. In: Energies. 13. Jg., 2020, Nr. 11, S. 2730.

Schanz G. (Wissenstheoretische Grundfragen der Führungsforschung):

Wissenstheoretische Grundfragen der Führungsforschung. In: Kieser, A.; Reber, G.; Wunderer, R. (Hrsg.) Handwörterbuch der Führung. Stuttgart: Poeschel, 1987, S. 2039–2058.

Schneidewind, U. (Die Große Transformation):

Die Große Transformation. Eine Einführung in die Kunst gesellschaftlichen Wandels. (Reihe: Forum für Verantwortung). 4 Aufl. Fischer Taschenbuch, 2018.

Schott, G. (Kennzahlen Kompaß des Unternehmens):

Kennzahlen Kompaß des Unternehmens. Stuttgart: Forkel, 1965.

Schott, G. (Kennzahlen):

Kennzahlen. Instrument der Unternehmensführung. 6., unveränd. Aufl. Wiesbaden: Forkel, 1991.

Schuh, G.; Lukas, G.; Haase, B.; Calchera, R. (Collaboration platform for the reuse of tools):

Elaboration of an operational methodology for the development of a collaboration platform for the reuse of tools and tool components. 2025Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, S. 352–359.

Schuh, G.; Mauß, W.; Potente, T.; Schmitz, S.; Adlon, T.; Maetschke, J.; Neumann, H.; Salzwedel, J.; Kozielski, S.; Luckert, M.; Reuter, C.; Schmidhuber, M.; Witthöft, J.; :unav (Grüne Re-Montage Upgrade-Fabrik):

Grüne Re-Montage Upgrade-Fabrik. In: Schmitt, R. H.; Bergs, T.; Brecher, C.; Schuh, G., et al. (Hrsg.) Empower Green Production. Tagungsband. Aachen: Fraunhofer-Gesellschaft, 2023, S. 335–360.

Schuh, G.; Pitsch, M.; Kühn, T. (Tool's life cycle):

Customer integration to gain cost efficiency alongside tool's life cycle. In: Procedia CIRP. 29. Jg., 2015, S. 275–280.

Schuh, G.; Schmitz, S.; Lukas, G.; Niwar, L.; Welsing, M.; Calchera, R. (Ordnungsrahmen zirkuläre Produktionswirtschaft):

Ordnungsrahmen für eine zirkuläre Produktionswirtschaft. In: Schmitt, R. H.; Bergs, T.; Brecher, C.; Schuh, G., et al. (Hrsg.) Empower Green Production. Tagungsband. Aachen: Fraunhofer-Gesellschaft, 2023, S. 304–334.

Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier J., ten Hompel, M., Wahlster, W. (Industrie 4.0 Maturity):

Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten. München: Herbert Utz Verlag, 2017.

Schuler GmbH (Handbuch der Umformtechnik):

Handbuch der Umformtechnik. Berlin, Heidelberg: Springer, 1996.

Schüller, K.; Mengen, A. (Nachhaltige Unternehmen):

Sind nachhaltige Unternehmen finanziell erfolgreicher? Implementierung eines Nachhaltigkeitsmanagements und finanzielle Auswirkungen. In: Wissenschaftliche Schriften des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften. 2023, Nr. 38, S. 1–41.

Schweins, J. (Nachhaltiger Werkzeuglebenszyklus):

Datengestützte Gestaltung des nachhaltigen Werkzeuglebenszyklus. Dissertation, RWTH Aachen Univ. (Reihe: Ergebnisse aus der Produktionstechnik). 1. Aufl. Aachen: Apprimus, 2023.

Searcy, C. (Corporate Sustainability):

Corporate sustainability performance measurement systems. A review and research agenda. In: Journal of Business Ethics. 107. Jg., 2012, Nr. 3, S. 239–253.

Sieewart, H. (Kennzahlen für die Unternehmensführung):

Kennzahlen für die Unternehmensführung. 5 Aufl. Bern: Paul Haupt, 1998.

Smith, C.; Nicholls, Z. R. J.; Armour, K.; Collins, W.; Forster, P.; Meinshausen, M.; Palmer, M. D.; Watanabe, M. (The Earth's Energy):

The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks and Climate Sensitivity. Supplementary Material. In: Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pirani, A.; Connors, S. L., et al. (Hrsg.) Climate Change 2021. 2021.

Soode, E.; Weber-Blaschke, G.; Richter, K. (Comparison of product carbon footprint):

Comparison of product carbon footprint standards with a case study on poinsettia (*Euphorbia pulcherrima*). In: The International Journal of Life Cycle Assessment. 18. Jg., 2013, Nr. 7, S. 1280–1290.

South, L.; Saffo, D.; Vitek, O.; Dunne, C.; Borkin, M. (Effective Use of Likert):

Effective Use of Likert Scales in Visualization Evaluations. A Systematic Review 2022.

Stachowiak, H. (Allgemeine Modelltheorie):

Allgemeine Modelltheorie. Wien, New York: Springer, 1973.

Staehle, W. H. (Kennzahlen und Kennzahlensysteme):

Kennzahlen und Kennzahlensysteme als Mittel der Organisation und Führung von Unternehmen. Wiesbaden: Gabler Verlag, 1969.

Stahl, D.; Sallis, H. (Model-based cluster analysis):

Model-based cluster analysis. In: WIREs Computational Statistics. 4. Jg., 2012, Nr. 4, S. 341–358.

Statistisches Bundesamt (Pressemitteilung Nr. 459):

Bis 2035 wird die Zahl der Menschen ab 67 Jahre um 22 % steigen. Pressemitteilung Nr. 459 vom 30. September 2021. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden: 2021.

Statistisches Bundesamt (Konjunkturindikatoren Preise):

Konjunkturindikatoren Preise. Index der Erzeugerpreise gewerblicher Produkte (Inlandsabsatz). Statistisches Bundesamt. 2023.

Staudt, E. (Kennzahlen und Kennzahlensysteme):

Kennzahlen und Kennzahlensysteme: Grundlagen zur Entwicklung und Anwendung, Bibliographie deutschsprachiger Veröffentlichungen, praxisorientierte Literaturlauswertung. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1985.

Sustainability Accounting Standards Board (Industriemaschinen und -güter: Sustainability):

Industriemaschinen und -güter: Sustainability Accounting Standards. 2018.

Sustainability Impact Metrics (IDEMAT Calculation Rules):

IDEMAT Calculation Rules. <https://ecocostsvalue.com/data/idemat-calculation-rules/>, Stand: 14.01.2025.

Sustainability Impact Metrics (Idemat):

Idemat by Joost Vogtländer. Excel files: Idemat and Ecoinvent, and eco-costs midpoint tables, 2024. <https://ecocostsvalue.com/data-tools-books/>, Stand: 14.01.2025.

Takano, A.; Winter, S.; Hughes, M.; Linkosalmi, L. (Comparison of life cycle):

Comparison of life cycle assessment databases: A case study on building assessment. In: Building and Environment. 79. Jg., 2014, S. 20–30.

Tan, H. X.; Yeo, Z.; Ng, R.; Tjandra, T. B.; Song, B. (A sustainability indicator framework):

A sustainability indicator framework for Singapore small and medium-sized manufacturing enterprises. In: Procedia CIRP. 29. Jg., 2015, S. 132–137.

Theuerkauf, R.; Daurer, S.; Hoseini, S.; Kaufmann, J.; Kühnel, S.; Schwade, F.; Alekozai, E. M.; Neuhaus, U.; Rohde, H.; Schulz, M. (Vorschlag eines morphologischen Kastens):

Vorschlag eines morphologischen Kastens zur Charakterisierung von Data-Science-Projekten. In: Informatik Spektrum. 45. Jg., 2022, Nr. 6, S. 395–401.

Thommen, J.-P. (Faktortheoretischer Ansatz):

Faktortheoretischer Ansatz. Gabler Wirtschaftslexikon, 2018. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/faktortheoretischer-ansatz-35695/version-259172>, Stand: 20.11.2024.

Tomczak, T. (Forschungsmethoden in der Marketingwissenschaft):

Forschungsmethoden in der Marketingwissenschaft. Ein Plädoyer für den qualitativen Forschungsansatz. In: Marketing: Zeitschrift Für Forschung Und Praxis. 14. Jg., 1992, Nr. 2, S. 77–87.

Tremmel, J. (Nachhaltigkeit als politische und analytische Kategorie):

Nachhaltigkeit als politische und analytische Kategorie. Der deutsche Diskurs um nachhaltige Entwicklung im Spiegel der Interessen der Akteure. Teilw zugl.: Frankfurt/Main, Univ., Diplomarbeit, 2003. (Reihe: Hochschulschriften zur Nachhaltigkeit. München: Ökom-Verl., 2003.

UK Government (Government conversion factors):

Government conversion factors for company reporting of greenhouse gas emissions, 2024. <https://gov.uk/government/collections/government-conversion-factors-for-company-reporting>, Stand: 14.01.2025.

Ulrich, H.; Dyllick, T.; Probst, G. J. B. (Management):

Management. (Reihe: Schriftenreihe Unternehmung und Unternehmungsführung. Bern, Stuttgart: Haupt, 1984.

Ulrich, P.; Hill, W. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen):

Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (Teil I). In: Wirtschaftswissenschaftliches Studium: Zeitschrift für Ausbildung und Hochschulkontakt. 1976, Nr. 7 und 8, S. 304–390.

Umweltbundesamt (The use of natural resources):

The use of natural resources. Report for Germany 2018. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2018.

UN SSE initiative (Model guidance on reporting):

Model guidance on reporting ESG information to investors. A voluntary tool for stock exchanges to guide issuers. 2015.

UNFCCC (United Nations Framework Convention):

United Nations Framework Convention on Climate Change. FCCC/INFORMAL/84. 1992.

Union for Conservation of Nature and Natural Ressources (World conservation strategy):

World conservation strategy. Living resource conservation for sustainable development. Gland: IUCN, 1980.

United Nations (Action plan for the human environment):

Action plan for the human environment. Programme development and priorities : report of the executive director. 1973.

United Nations (Kyoto protocol):

Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change. United Nations (UN). 1998.

United Nations (Transforming our world):

Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2015.

United Nations (Doha amendment):

Doha amendment to the Kyoto Protocol. United Nations (UN). 2022.

United Nations Global Copact (Strategy 2021-2023):

UN Global Compact Strategy 2021-2023. United Nations Global Copact. New York: 2021.

Val, E. (Regulatory tsunami):

Get ready for the regulatory tsunami, 2021. <https://sustainable-business.guide/2021/11/06/get-ready-for-the-regulatory-tsunami/>, Stand: 06.03.2025.

VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI 2815 Blatt 5, Begriffe):

VDI 2815 Blatt 5:1978-05. Begriffe für die Produktionsplanung und -steuerung - Betriebsmittel. Berlin: Beuth, 1978.

VDMA (VDMA 2022):

VDMA-Guideline. Berechnung des PCF im Maschinen- und Anlagenbau. VDMA. 2022.

VDWF (VDWF-WBA-Praxisforum Werkzeugbau 2024):

Das VDWF-WBA-Praxisforum Werkzeugbau 2024. Der Mensch steht im Mittelpunkt, 2024. <https://vdwf.de/aktuelles/detail/das-vdwf-wba-praxisforum-werkzeugbau-2024-der-mensch-steht-im-mittelpunkt.html>, Stand: 05.03.2025.

VDWF (Kompendium für die Bewertung):

Kompendium für die Bewertung und Gestaltung nachhaltigen Wirtschaftens im Werkzeug- und Formenbau. 2. Auflage 2024.

VDWF (VDWF-Selbstverpflichtung nachhaltiges Wirtschaften):

VDWF-Selbstverpflichtung nachhaltiges Wirtschaften. 2024.

Vereinte Nationen (Agenda 21):

Agenda 21. Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung. Rio de Janeiro: 1992.

Vereinte Nationen (Agenda 2030):

Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung. Resolution der Generalversammlung, verabschiedet am 25. September 2015 (A/RES/70/1). Generalversammlung der Vereinten Nationen. 2015.

Vereinte Nationen (Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte):

Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte. Umsetzung des Rahmens der Vereinten Nationen "Schutz, Achtung und Abhilfe". Geschäftsstelle Deutsches Global

Compact Netzwerk (DGCN) c/o Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Berlin: 2020.

Vollmar, B. H. (Controlling und Nachhaltigkeit):

Controlling und Nachhaltigkeit. In: Becker, W.; Ulrich, P. (Hrsg.) Handbuch Controlling. 2. Aufl. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Gabler, 2022, S. 1095–1133.

Warnecke, H.-J. (Der Produktionsbetrieb 1):

Der Produktionsbetrieb 1. Organisation, Produkt, Planung. Berlin Heidelberg: Springer, 1993.

WBA (Intensivkurs Planung und Steuerung):

Intensivkurs Planung und Steuerung im Werkzeugbau. 2023.

Weber, J.; Schäffer, U. (Einführung in das Controlling):

Einführung in das Controlling. 16., überarb. und akt. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, Mai 2020.

Weber, Prof. Dr. Dr. h.c. Jürgen (Bezugsgröße):

Bezugsgröße. Gabler Wirtschaftslexikon, 2023. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/bezugsgroesse-29747/version-388411>, Stand: 20.11.2024.

Weiß, D.; Müller, R.; Lössl, S. (Umweltkennzahlen in der Praxis):

Umweltkennzahlen in der Praxis. Ein Leitfaden zur Anwendung von Umweltkennzahlen in Umweltmanagementsystemen mit dem Schwerpunkt auf EMAS. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Referat Öffentlichkeitsarbeit. Berlin: 2013.

Werkzeugbau Ehlenbröcker GmbH (Die neuesten Entwicklungen):

Die neuesten Entwicklungen in der Werkzeug- und Formenbaubranche, 2024. <https://wzb-ehlenbroecker.de/die-neuesten-entwicklungen-in-der-werkzeug-und-formenbau-branche>, Stand: 29.07.2025.

Wohltmann, H.-W. (Bestandsgrößen):

Bestandsgrößen. Gabler Wirtschaftslexikon, 2018. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/bestandsgroessen-31825/version-255376>, Stand: 20.11.2024.

Wu, P.; Xia, B.; Wang, X. (Evolution of global greenhouse gas standards):

The contribution of ISO 14067 to the evolution of global greenhouse gas standards—A review. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews. 47. Jg., 2015, S. 142–150.

Wühle, M. (Making sustainability measurable):

Making sustainability measurable. A practical book for sustainable living and working. Berlin, Heidelberg: Springer, 2023.

Wühle, M. (Making Sustainability Measurable):

Making Sustainability Measurable. A Practical Book for Sustainable Living and Working. 1 Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, 2023.

Zangemeister, C. (Nutzwertanalyse in der Systemtechnik):

Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. 4. Aufl. München: Wittemann, 1976.

Zdrowomyslaw, N.; Kasch, R. (Betriebsvergleiche und Benchmarking):

Betriebsvergleiche und Benchmarking für die Managementpraxis. Unternehmensanalyse, Unternehmenstransparenz und Motivation durch Kenn- und Vergleichsgrößen. München, Wien, Oldenburg: R. Oldenbourg, 2002.

Zentralverband der Elektrotechnischen Industrie (ZVEI-Kennzahlensystem):

ZVEI-Kennzahlensystem. hrsg. vom betriebswirtschaftlichen Ausschuss des Zentralverbandes der Elektrotechnischen Industrie e.V. (Reihe: Betriebswirtschaftliche Schriftenreihe des ZVEI). 3. Aufl. Frankfurt a. M.: 1976.

Zerfaß, A., et al. (Handbuch Unternehmenskommunikation):

Handbuch Unternehmenskommunikation. Strategie - Management - Wertschöpfung. (Reihe: Springer Reference). 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Gabler, 2022.

Zwicky, F. (Morphologische Forschung):

Morphologische Forschung. Wesen und Wandel materieller und geistiger struktureller Zusammenhänge. (Reihe: Schriftenreihe der Fritz-Zwicky-Stiftung Band 4). 2. Aufl. Glarus: Baeschlin, 1989.

VIII Anhang

Tabelle 7.1: Überblick über ausgewählte Treibhausgase und ihre GWPs, die deren CO₂e darstellen

Name	Chem. Formel	Lebensdauer [J.]	GWP ₂₀	GWP ₁₀₀	GWP ₅₀₀
Carbon dioxide	CO ₂	multiple	1.000	1.000	1.000
Methane (fossil)	CH ₄ -fossil	11.8 ± 1.8	82.5 ± 25.8	29.8 ± 11	10.0 ± 3.8
Methane (non fossil)	CH ₄ -non fossil	11.8 ± 1.8	79.7 ± 25.8	27.0 ± 11	7.2 ± 3.8
Methane	CH ₄	11.8	81.2	27.9	7.95
Nitrous oxide	N ₂ O	109 ± 10	273 ± 118	273 ± 130	130 ± 64
Chlorofluorocarbons					
CFC-11	CCl ₃ F	52.0 ± 10.4	8321 ± 2419	6226 ± 2297	1093 ± 865
CFC-12	CCl ₂ F ₂	102	12700	12500	5700
CFC-13	CClF ₃	640	12400	16200	17500
[...]					
Hydrofluorochlorocarbons					
HCFC-21	CHCl ₂ F	1.7	575	160	45.6
HCFC-22	CHClF ₂	11.9	5690	1960	560
HCFC-31	CH ₂ ClF	1.2	286	79.4	22.6
[...]					
Hydrofluorocarbons (HFCs)					
HFC-23	CHF ₃	228	12400	14600	10500
HFC-32	CH ₂ F ₂	5.4 ± 1.1	2693 ± 842	771 ± 292	220 ± 87
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	14.0 ± 2.8	4144 ± 1160	1526 ± 577	426 ± 173
[...]					
Chlorocarbons and Hydrochlorocarbons					
Methyl chloroform	CH ₃ CCl ₃	5	567	161	46
Carbon tetra-chloride	CCl ₄	32	3810	2200	658
Methyl chloride	CH ₃ Cl	0.9	19.9	5.54	1.58
[...]					
Bromocarbons, Hydrobromocarbons and Hal- ons					
Methyl bromide	CH ₃ Br	0.8	8.74	2.43	0.692

Name	Chem. Formel	Lebensdauer [J.]	GWP ₂₀	GWP ₁₀₀	GWP ₅₀₀
Methylene bromide	CH ₂ Br ₂	0.411	5.45	1.51	0.431
Halon-1201	CHBrF ₂	4.9	1340	380	108
[...]					
Fully Fluorinated Species					
Nitrogen trifluoride	NF ₃	569	13400	17400	18200
Sulphur hexafluoride	SF ₆	1000	18200	24300	29000
PFC-14	CF ₄	50,000	5301 ± 1395	7380 ± 2430	10,587 ± 3692
[...]					
Halogenated Alcohols, Ethers, Furans, Aldehydes, and Ketones					
HFE-125	CHF ₂ OCF ₃	135	13500	14300	7680
HFE-134	CHF ₂ OCHF ₂	26.9	12700	6630	1940
HFE-143a	CH ₃ OCF ₃	4.9	2170	616	176
[...]					
Miscellaneous Compounds					
Allyl cyanide	CH ₂ =CHCH ₂ CN	0.002	0.002	0	0
Hexamethyl-disiloxane	C ₆ H ₁₈ OSi ₂	0.0025	1.72	0.476	0.136
Octamethyl-trisiloxane	C ₈ H ₂₄ O ₂ Si ₃	0.019	1.17	0.325	0.093
[...]					

Diese Werte entsprechen dem aktuellen sechsten Sachstandsbericht (engl. Assessment Report, AR6)⁶⁰¹ des IPCC und der ergänzenden Dokumentation seiner ersten Arbeitsgruppe⁶⁰². Die Tabelle erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, so sind weitere verfügbare Informationen über zusätzliche Gase und zugehörige Werte ausgelassen und durch „[...]“ gekennzeichnet. Kyoto-THG (inkl. Doha-Änderungszusatz) und GWP100-Werte sind durch Fettdruck hervorgehoben.

⁶⁰¹ Vgl. IPCC (Climate Change 2021): 2021, S. 1017.

⁶⁰² Vgl. Smith et al. (The Earth's Energy): 2021, S. 16–27.

Tabelle 7.2: Übersicht der ESRS (Unter)-Themen nach ESRS⁶⁰³

ESRS	(Unter-)Thema
ESRS E1	Klimawandel: ▪ Anpassung an den Klimawandel ▪ Klimaschutz ▪ Energie
ESRS E2	Umweltverschmutzung: ▪ Luftverschmutzung ▪ Wasserverschmutzung ▪ Bodenverschmutzung ▪ Verschmutzung von lebenden Organismen und Nahrungsressourcen ▪ Besorgniserregende Stoffe ▪ Besonders besorgniserregende Stoffe ▪ Mikroplastik
ESRS E3	Wasser- und Meeresressourcen: ▪ Wasser ▪ Wasserverbrauch ▪ Wasserentnahme ▪ Ableitung von Wasser ▪ Gewinnung und Nutzung von Meeresressourcen ▪ Meeresressourcen ○ Ableitung von Wasser in die Ozeane
ESRS E4	Biologische Vielfalt und Ökosysteme: ▪ Direkte Ursachen des Biodiversitätsverlusts ○ Klimawandel ○ Landnutzungsänderungen, Süßwasser- und Meeresnutzungsänderungen ○ Direkte Ausbeutung ○ Invasive gebietsfremde Arten ○ Umweltverschmutzung ○ Sonstiges ▪ Auswirkungen auf den Zustand der Arten - Beispiele: Populationsgröße von Arten, Globales Ausrottungsrisiko von Arten ▪ Auswirkungen auf den Umfang und den Zustand von Ökosystem - Beispiele: Landdegradation, Wüstenbildung, Bodenversiegelung ▪ Auswirkungen und Abhängigkeiten von Ökosystemdienstleistungen

⁶⁰³ Vgl. Europäischen Union (Ares (2023) 4009405): 2023, S. 25–27.

ESRS E5	Ressourcennutzung und Kreislaufwirtschaft: ▪ Ressourcenzuflüsse, einschließlich Ressourcennutzung ▪ Ressourcenabflüsse im Zusammenhang mit Produkten und Dienstleistungen ▪ Abfälle
ESRS S1	Eigene Belegschaft: ▪ Arbeitsbedingungen ○ Sichere Beschäftigung ○ Arbeitszeit ○ Angemessene Entlohnung ○ Sozialer Dialog ○ Vereinigungsfreiheit, Existenz von Betriebsräten und Rechte der Arbeitnehmer auf Information, Anhörung und Mitbestimmung ○ Tarifverhandlungen, einschließlich der Quote der durch Tarifverträge abgedeckten Arbeitskräften ○ Vereinbarkeit von Berufs- und Privatleben ○ Gesundheitsschutz und Sicherheit ▪ Gleichbehandlung und Chancengleichheit für alle ○ Gleichstellung der Geschlechter und gleicher Lohn für gleiche Arbeit ○ Schulungen und Kompetenzentwicklung ○ Beschäftigung und Inklusion von Menschen mit Behinderungen ○ Maßnahmen gegen Gewalt und Belästigung am Arbeitsplatz ○ Vielfalt ▪ Sonstige arbeitsbezogene Rechte ○ Kinderarbeit ○ Zwangsarbeit ○ Angemessene Unterbringung ▪ Datenschutz
ESRS S2	Arbeitskräfte in der Wertschöpfungskette: ▪ Hier finden dieselben (Unter)-Unterthemen wie für die eigene Belegschaft Anwendung (siehe ESRS S1)

ESRS S3	Betroffene Gemeinschaften: ▪ Wirtschaftliche, soziale und kulturelle Rechte von Gemeinschaften ○ Angemessene Unterbringung ○ Angemessene Ernährung ○ Wasser- und Sanitäreinrichtungen ○ Bodenbezogene Auswirkungen ○ Sicherheitsbezogene Auswirkungen ▪ Bürgerrechte und politische Rechte von Gemeinschaften ○ Meinungsfreiheit ○ Versammlungsfreiheit ○ Auswirkungen auf Menschenrechtsverteidiger ▪ Rechte indigener Völker ○ Freiwillige und in Kenntnis der Sachlage erteilte vorherige Zustimmung ○ Selbstbestimmung ▪ Kulturelle Rechte
ESRS S4	Verbraucher und Endnutzer: ▪ Informationsbezogene Auswirkungen für Verbraucher und/oder Endnutzer ○ Datenschutz ○ Meinungsfreiheit ○ Zugang zu (hochwertigen) Informationen ▪ Persönliche Sicherheit von Verbrauchern und/oder Endnutzern ○ Gesundheitsschutz und Sicherheit ○ Persönliche Sicherheit ○ Kinderschutz ▪ Soziale Inklusion von Verbrauchern und/oder Endnutzern ○ Nichtdiskriminierung ○ Zugang zu Produkten und Dienstleistungen ▪ Verantwortliche Vermarktungspraktiken
ESRS G1	Unternehmenspolitik: ▪ Unternehmenskultur ▪ Schutz von Hinweisgebern (Whistleblowers) ▪ Tierschutz ▪ Politisches Engagement und Lobbytätigkeiten ▪ Management der Beziehungen zu ▪ Lieferanten, einschließlich Zahlungspraktiken ▪ Korruption und Bestechung ○ Vermeidung und Aufdeckung einschließlich Schulung ▪ Vorkommnisse

Tabelle 7.3: Definition der strategischen Ziele, Teilziele, und Erfolgsfaktoren des Kennzahlen-systems des nachhaltigen Werkzeugbaus sowie die Kennzahlensteckbriefe

Strat. Ziel	Teil-ziel	Erfo-fakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Da-tengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
(E) Ökologische Integrität: Reduzierung des ökologischen Fußabdrucks durch effiziente Ressourcennutzung, Abfallminimierung und Einsatz erneuerbarer Energien in allen Berei-chen des Werkzeugbaus.			
	(E1) Klimaneutralität: Die Klimastrategie orientiert sich an den Zielen der Pariser Klimakonferenz (COP 21), insbesondere der Begrenzung der Erderwärmung auf maximal 1,5 °C. Nach ISO 14068 sollten Maßnahmen umgesetzt und in eine um-fassende Nachhaltigkeitsstrategie eingebettet werden, um einen aktiven Beitrag zu Netto-Null-Emissionen und den Zielen des Pariser Abkommens zu leisten.		
		(E1.1) Kompensation von CO₂e: Die Kompensation von unvermeidbaren CO₂e-Emissionen ist ein zentraler Bestandteil effektiver Klimaschutzmaß-nahmen. Durch den Einsatz hochwertiger Klimaschutzzertifikate wie Gold Standard oder Verified Carbon Standard (VCS) können Unternehmen ver-bleibende Emissionen ausgleichen und einen messbaren Beitrag leisten. Entscheidend ist, dass die Kompensation in eine glaubwürdige Reduktions-strategie eingebettet wird, um Greenwashing-Vorwürfe zu vermeiden. Pro-jekte und Zertifikate sollten regelmäßig geprüft werden, um Transparenz und Wirksamkeit sicherzustellen. Als Übergangslösung ergänzt die Kompensation langfristige Maßnahmen zur Emissionsminderung und schafft kurzfristig reale Klimaschutzwirkungen.	
			(E1.1.1) Kompensationsquote [%]: Anteil der Emissionen, die durch Kompensationsmaßnahmen ausgeglichen wurden. [COP21; VDWF 4.1.7] ▪ Anteil der Emissionen; Emissionen durch Kompensationsmaß-nahmen ausgeglichen Bezugsgrößen; Bewegungsdaten ▪ Nachhaltigkeitsmanagement, Werkzeugbauleitung Balkendia-gramm, Liniendiagramm [Quote] ▪ Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung (HF1)
	(E1.2) Vermeidung von CO₂e: Die Vermeidung von CO₂e-Emissionen ist der zentrale Ansatzpunkt für wirkungsvollen Klimaschutz. Unternehmen soll-ten ihre Prozesse, Produkte und Lieferketten systematisch analysieren, um Emissionen bereits an der Quelle zu reduzieren. Dieser präventive Ansatz		

Strat. Ziel	Teilziel	Erfakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			hat nicht nur direkte Umweltvorteile, sondern stärkt auch die Glaubwürdigkeit und Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens. Maßnahmen zur Vermeidung können durch die Optimierung von Energie- und Ressourceneffizienz, die Umstellung auf erneuerbare Energien und innovative Produktionsmethoden erreicht werden. Dabei sollten internationale Standards wie die ISO 14068 als Leitlinien dienen, um die Wirksamkeit der Maßnahmen zu gewährleisten. Die Vermeidung von CO₂e-Emissionen ist der erste und wichtigste Schritt in jeder Klimaschutzstrategie. Sie bildet die Grundlage für weiterführende Maßnahmen wie die Reduktion und Kompensation und signalisiert ein aktives Engagement für nachhaltiges Wirtschaften.
			(E1.2.1) Energieverbrauch [kWh/Werkzeug]: Gesamtenergieverbrauch [kWh] / Anz. Werkzeugen [VDWF 4.1.7] ▪ Gesamtenergieverbrauch [kWh]; Anz. Werkzeugen Bewegungsdaten; Bewegungsdaten ▪ Werkzeugentwicklung, Arbeitsplanung, Mechanische Fertigung, Montage, Try-out, Projektmanagement, Nachhaltigkeitsmanagement Balkendiagramm, Liniendiagramm [Anzahl] ▪ Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung (HF1)
			(E1.2.2) Werkzeugbau-Fußabdruck (CCF) [kg CO₂e/MA]: CCF [kg CO₂e] / Anz. MA [WBA] ▪ CCF [kg CO₂e]; Anz. Mitarbeitenden Externe Daten; Stammdaten ▪ Werkzeugentwicklung, Projektmanagement Balkendiagramm [Anzahl] ▪ Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung (HF1)
			(E1.2.3) CO₂e-Werkzeugpass (PCF) [kg CO₂e/Werkzeug]: Gesamtemission Luftschadstoffe [kg] /Werkzeug [WBA] ▪ Gesamtemission Luftschadstoffe [kg]; Anz. Werkzeuge Externe Daten; Bewegungsdaten ▪ Werkzeugentwicklung, Projektmanagement Balkendiagramm [Anzahl]

Strat. Ziel	Teilziel	Erfakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung (HF1)
			(E1.2.4) Erneuerbare-Energien-Quote = (Erneuerbare Energie [kWh] / Gesamtenergieverbrauch [kWh]) x 100 - Erneuerbare Energie [kWh]; Gesamtenergieverbrauch [kWh] Externe Daten; Externe Daten - Nachhaltigkeitsmanagement Kreisdiagramm [Quote] - Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung (HF1)
			(E2) Ressourcenschonung: Ressourcen sind entweder nicht erneuerbare oder erneuerbare Materialien. Zu schonen sind besonders nicht erneuerbare Materialien. Nicht erneuerbare Ressourcen: Ressourcen, die sich nicht in einem kurzen Zeitraum erneuern (z.B.: Kohle, Gas, Metalle, Mineralien, Öl) Erneuerbare Ressourcen: Materialien, die von umfangreichen Ressourcen stammen, welche schnell durch ökologische Kreisläufe oder landwirtschaftliche Prozesse erneuert werden können, so dass die durch diese Ressourcen oder durch andere damit verbundene Ressourcen bereitgestellten Dienstleistungen nicht in Gefahr sind und der nächsten Generation zur Verfügung stehen
			(E2.1) Exnovation: Exnovation bezeichnet den gezielten Prozess der Entfernung oder Abschaffung veralteter, ineffizienter oder schädlicher Technologien, Produkte oder Prozesse aus einem Unternehmen. Dieser Erfolgsfaktor fördert die kontinuierliche Weiterentwicklung und Anpassung an aktuelle Marktanforderungen sowie an nachhaltige, zukunftsfähige Lösungen. Durch Exnovation können Unternehmen Ressourcen freisetzen, Innovationen vorantreiben und gleichzeitig ihre ökologischen und sozialen Auswirkungen minimieren, indem sie schädliche Praktiken oder Technologien eliminieren und durch effizientere, nachhaltigere Alternativen ersetzen.
			(E2.1.1) Exnovationsquote = 1 - (Anteil "rückbaubedürftiger" Prozessschritte (die ökologisch fragwürdig sind) zu gesamter Prozesskette des Werkzeugbaus)

Strat. Ziel	Teilziel	Erfakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			Rückbaubedürftige Prozessschritte sind welche, die hinsichtlich einer ökologischen Bewertung als nicht tragfähig erscheinen. Betrachtet wird die Anz. gleichwertiger - in Breite und Tiefe - Prozessschritte. [GRI (Ziel)] - Anz. "rückbaubedürftiger" Prozessschritte; Anz. gesamter Prozessschritte in der Prozesskette Bewegungsdaten; Bewegungsdaten - Arbeitsplanung, mechanische Fertigung, Nachhaltigkeitsmanagement Kreisdiagramm [Quote] - Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung (HF1)
			(E2.2) Ressourcenoptimierung: Ein wesentlicher Erfolgsfaktor ist die kontinuierliche Verbesserung der Ressourceneffizienz und die nachhaltige Nutzung von Ressourcen. Unternehmen sollten die Erschöpfung nicht erneuerbarer Ressourcen vermeiden und gleichzeitig die Beschaffung sowie Nutzung erneuerbarer Ressourcen optimieren. Dies fördert eine nachhaltige Ressourcennutzung und stärkt die langfristige Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens.
			(E2.2.1) Optimierung der Materialeffizienz [%] = $[(\text{Output (aktuelles Jahr)} / \text{Materialinput (aktuelles Jahr)}) - (\text{Output (Vorjahr)} / \text{Materialinput (Vorjahr)})] * 100 \%$; Materialeffizienz = Materialinput / Produkt [ESRS Anhang E5 1] - Output aktuelles Jahr; Materialinput aktuelles Jahr; Output Vorjahr; Materialinput Vorjahr; Materialinput pro Produkt Bewegungsdaten; Bewegungsdaten; Bewegungsdaten; Bewegungsdaten; Bezugsgrößen - Werkzeugentwicklung, mechanische Fertigung, Serienbetreuung, Facharbeitende Liniendiagramm [Verhältnis] - Wirtschaftliche Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit (HF4)
			(E2.2.2) Materialverhältnis [1/kg] = hergestellte Artikel / Summe (Masse jedes Teils [kg] inkl. Ersatzteile) [GRI] - hergestellte Artikel; Masse jedes Teils [kg] inkl. Ersatzteile Bewegungsdaten; Bewegungsdaten - Werkzeugentwicklung, mechanische Fertigung, Montage Kreisdiagramm [Verhältnis]

Strat. Ziel	Teilziel	Erfo- fakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung (HF1)
			(E2.2.2.Spritzguss) Schusszahl-Materialverhältnis [1/kg] = Schusszahl / Summe (Masse jedes Teils [kg] inkl. Ersatzteile) [GRI] - Schusszahl; Masse jedes Teils [kg] inkl. Ersatzteile Bewegungsdaten; Bewegungsdaten - Werkzeugentwicklung, mechanische Fertigung, Montage Kreisdiagramm [Verhältnis] - Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung (HF1)
			(E2.2.2.Blech) Stanzzahl-Materialverhältnis [1/kg] = Stanzzahl / Summe (Masse jedes Teils [kg] inkl. Ersatzteile) [GRI] - Stanzzahl; Masse jedes Teils [kg] inkl. Ersatzteile Bewegungsdaten; Bewegungsdaten - Werkzeugentwicklung, mechanische Fertigung, Montage Kreisdiagramm [Verhältnis] - Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung (HF1)
			(E2.3) Kreislaufwirtschaft: Ergriffene Maßnahmen zur Erhaltung des Werts von Produkten, Materialien und Ressourcen und zur Weiterleitung dieser zurück zur möglichst langen Wiederverwendung mit dem geringstmöglichen Fußabdruck im Hinblick auf CO₂e und Ressourcen, damit weniger Rohstoffe und Ressourcen abgebaut werden und Abfall verhindert wird.
			(E2.3.1) Recyclingquote [%] = (Recyceltes Material [t] / Gesamtabfälle [t]) x 100 [GRI] - Recyceltes Material [t]; Gesamtabfälle [t] Bewegungsdaten; Bewegungsdaten - Werkzeugentwicklung, mechanische Fertigung, Projektmanagement Kreisdiagramm [Quote] - Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung (HF1)
			(E2.3.2.verlustfrei) ReUse-Quote (verlustfrei) [%] = (Wiederverwendete Komponenten/Normalien [t] / Gesamtmaterialeinsatz [t]) x 100 [GRI]

Strat. Ziel	Teilziel	Erfo- fakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			Anm.: Es werden hier nur genuine Kreisläufe betrachtet, also welche bei denen das Werkzeug in der Wiederverwendung denselben (Qualitäts-) Zustand wie vor der Wiederverwendung aufweist. - Wiederverwendete Materialien [t]; Gesamtmaterialeinsatz [t] Bewegungsdaten; Bewegungsdaten - Werkzeugentwicklung, Arbeitsplanung, mechanische Fertigung, Montage, Serienbetreuung Kreisdiagramm [Quote] - Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung (HF1)
			(E2.3.2.verlustbehaftet) ReUse-Quote (verlustbehaftet) [%] = (Wiederverwendete Komponenten/Normalien [t] / Gesamtmaterialeinsatz [t]) x 100 [GRI] Anm.: Es werden hier nur Kreisläufe betrachtet, bei denen das Werkzeug in der Wiederverwendung einen geringeren (Qualitäts-) Zustand wie vor der Wiederverwendung aufweist. - Wiederverwendete Materialien [t]; Gesamtmaterialeinsatz [t] Bewegungsdaten; Bewegungsdaten - Werkzeugentwicklung, Arbeitsplanung, mechanische Fertigung, Montage, Serienbetreuung Kreisdiagramm [Quote] - Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung (HF1)
			(E3) Biodiversität: Möglichst beste Unversehrtheit geografischer Gebiete oder der Regionen, die zu einer substanziellen Veränderung der ökologischen Eigenschaften, Strukturen und Funktionen im gesamten Gebiet führt; langfristig können sonst Lebensraum, Populationsdichte und die besonderen Arten, die den Wert des Lebensraums ausmachen, dadurch nicht bewahrt werden.
			(E3.1) Sauberes Wasser: Verbrauch von sauberem Wasser sowie die Einleitung von verschmutztem Wasser in die Umwelt
			(E3.1.1) Abwasserverschmutzungsgrad: Konzentration aller Schadstoffe im Wasser [mg/L] / Anz. der Schadstoffe Anm.: Schadstoffe wie Kühlschmierstoff, Elektrolyt [GRI] - Konzentration aller Schadstoffe im Wasser [mg/L]; Anz. der Schadstoffe Bewegungsdaten; Bewegungsdaten - Mechanische Fertigung Balkendiagramm [Rate]

Strat. Ziel	Teilziel	Erfo- fakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			▪ Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung (HF1)
			(E3.1.2) Abwasser-MA-Verhältnis [I/MA]: Volumen Abwasser [I] / Anz. MA [GRI] ▪ Volumen Abwasser [I]; Anz. MA Bewegungsdaten; Stammdaten ▪ Mechanische Fertigung, Facharbeitende Kreisdiagramm [Verhältnis] ▪ Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung (HF1) und Mensch und Gesellschaft (HF2)
			(E3.2) Saubere Luft/Luftemissionen: Die Luftemissionen, die gemäß internationalen Konventionen und/oder nationalen Gesetzen oder Verordnungen reguliert sind.
			(E3.2.1) Schadstoffkonzentration (Luft): Konzentration aller Schadstoffe in der Luft [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] / Anz. der Schadstoffe [GRI] ▪ Konzentration aller Schadstoffe in der Luft [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]; Anz. der Schadstoffe Bewegungsdaten; Bewegungsdaten ▪ Mechanische Fertigung Balkendiagramm [Rate] ▪ Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung (HF1) und Mensch und Gesellschaft (HF2)
			(E3.3) Weniger Landnutzung: Wenig versiegelte Fläche kann zu einer Unversehrtheit von Biodiversität beitragen.
			(E3.3.1) Landnutzungsquote: (Nicht versiegelte Fläche [m^2] / Gesamtfläche des Werkzeugbaus [m^2]) [GRI] ▪ Nicht versiegelte Fläche [m^2]; Gesamtfläche des Unternehmens [m^2] Stammdaten; Stammdaten ▪ Nachhaltigkeitsmanagement, Werkzeugbauleitung Kreisdiagramm [Quote] ▪ Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung (HF1) und Mensch und Gesellschaft (HF2)

Strat. Ziel	Teilziel	Erfo- fakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			(E3.2.1) historische Landnutzungsquote [%]: $[(\text{Landfläche Basisjahr} - \text{Landfläche aktuelles Jahr}) / \text{Landfläche Basisjahr}] \times 100\%$ Anm.: Das Basisjahr ist das Jahr, in dem Messung der Landnutzung aufgenommen werden konnte. Dies gilt also auch rückwirkend, sofern möglich. [GRI (Ziel)] ▪ Landfläche Basisjahr; Landfläche aktuelles Jahr Bezugsgrößen; Bezugsgrößen ▪ Werkzeugbauleitung Kreisdiagramm [Quote] ▪ Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung (HF1) und Mensch und Gesellschaft (HF2)
(F) Wirtschaftliche Resilienz: Sicherstellung der wirtschaftlichen Rentabilität und Langlebigkeit des Werkzeugbaus durch Investitionen in nachhaltige Technologien und Praktiken, die sowohl den aktuellen als auch zukünftigen Marktbedürfnissen gerecht werden.			
	Nachhaltiges Wachstum (F1):		
		(F1.1) Innovationskultur:	
			(F1.1.1) Innovationsrate [%] = $\text{Umsatzanteil der Innovationen} / \text{Gesamtumsatz} \times 100\%$ ▪ Umsatzanteil der Innovationen; Gesamtumsatz Bestandsdaten; Bestandsdaten ▪ Werkzeugentwicklung, Nachhaltigkeitsmanagement Kreisdiagramm, Balkendiagramm [Rate] ▪ Digitalisierung und Innovation (HF3)
		(F1.2) Kundengewinnung:	
			(F1.2.1) Neukundenquote [%] = $(\text{Anz. neuer Kunden} / \text{Gesamtkundenanzahl im Berichtszeitraum}) \times 100\%$ ▪ Anz. neuer Kunden; Gesamtkundenanzahl Bewegungsdaten; Stammdaten ▪ Auftragsakquise, Projektmanagement Kreisdiagramm [Quote] ▪ Wirtschaftliche Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit (HF5)

Strat. Ziel	Teilziel	Erfakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			(F1.3) Umsatzsteigerung:
			(F1.3.1) Umsatzquote Neukunden [%] = (Umsatz mit neuen Kunden / Gesamtumsatz) * 100% - Umsatz mit neuen Kunden; Gesamtumsatz Bewegungsdaten; Stammdaten - Auftragsakquise Kreisdiagramm [Quote] - Wirtschaftliche Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit (HF5)
			(F1.4) Erschließung neuer Märkte (Branchen):
			(F1.4.1) Umsatzquote neue Märkte [%] = (Umsatz in neuen Märkten / Gesamtumsatz) * 100% - Umsatz in neuen Märkten; Gesamtumsatz Bewegungsdaten; Stammdaten - Auftragsakquise Kreisdiagramm [Quote] - Wirtschaftliche Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit (HF5)
			(F1.5) Finanzielle Solidität:
			(F1.5.1) Eigenkapitalquote [%] = [Eigenkapital / Gesamtkapital] * 100% - Eigenkapital; Gesamtkapital Stammdaten; Stammdaten - Werkzeugbauleitung Kreisdiagramm [Quote] - Wirtschaftliche Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit (HF5)
			(F1.6) Diversifiziertes Werkzeugspektrum:
			(F1.6.1) Anzahl verschiedener Werkzeuge Anm.: Ermöglichung von Vergleichbarkeit: Anteilhaftes Produktspektrum = Anz. Produkte / Anz. MA - Anz. verschiedener Werkzeuge; Anz. MA Stammdaten; Stammdaten - Serienbetreuung, Projektmanagement Balkendiagramm [Anzahl] - Lieferketten und Resilienz (HF4)

Strat. Ziel	Teilziel	Erfakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			(F1.7) Kontinuierliche Verbesserung:
			(F1.7.1) Maßnahmenumsetzungsquote [%] = (Anz. Verbesserungsmaßnahmen / Anz. positiv bewerteter Vorschläge) * 100% - Anz. Verbesserungsmaßnahmen; Anz. positiv bewerteter Vorschläge Bewegungsdaten; Bestandsdaten - Try-out, Serienbetreuung Kreisdiagramm [Quote] - Digitalisierung und Innovation (HF3)
			(F2) Rentabilität:
			(F2.1) Umsatzsteigerung:
			(F2.1.1) Umsatzwachstum [%] = [(Umsatz aktuelles Jahr - Umsatz Vorjahr) / Umsatz Vorjahr] * 100% - Umsatz aktuelles Jahr; Umsatz Vorjahr Bestandsdaten; Bezugsgrößen - Werkzeugbauleitung, Projektmanagement Kreisdiagramm, Liniendiagramm [Verhältnis] - Wirtschaftliche Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit (HF5)
			(F2.2) Kostenoptimierung:
			(F2.2.1) Kostenoptimierung [%] = [(Gesamtkosten aktuelles Jahr / Umsatz aktuelles Jahr) - (Gesamtkosten Vorjahr / Umsatz (Vorjahr))] * 100% - Gesamtkosten aktuelles Jahr; Umsatz aktuelles Jahr; Gesamtkosten Vorjahr; Umsatz Vorjahr Bewegungsdaten; Bewegungsdaten; Bewegungsdaten; Bezugsgrößen - Werkzeugbauleitung Kreisdiagramm, Liniendiagramm [Verhältnis] - Wirtschaftliche Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit (HF5)
			(F2.3) Effiziente Arbeitsprozesse:
			(F2.3.1) Arbeitsproduktivität [€/h] = Umsatz / Arbeitsstunden

Strat. Ziel	Teilziel	Erfo- fakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			▪ Gesamte Bearbeitungszeit; Anz. der bearbeiteten Einheiten Bewegungsdaten; Bewegungsdaten ▪ Arbeitsplanung, Projektmanagement Kreisdiagramm, Liniendiagramm [Verhältnis] ▪ Wirtschaftliche Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit (HF5)
			(F2.4) Leistungsbewertung:
			(F2.4.1) Gesamtkapitalrentabilität [%] = $(\text{EBIT} / \text{Gesamtkapital}) * 100\%$ ▪ EBIT; Gesamtkapital Bewegungsdaten; Stammdaten ▪ Werkzeugbauleitung Kreisdiagramm [Verhältnis] ▪ Wirtschaftliche Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit (HF5)
			(F3) Finanzielle Teilhabe:
			(F3.1) Beteiligungsmodelle der MA / Gewinnverteilungspolitik:
			(F3.1.1) Mitarbeitendenbeteiligungsquote [%] = $[\text{Anz. der beteiligten MA} / \text{Gesamtanzahl der MA}] * 100\%$ ▪ Anz. der beteiligten MA; Gesamtanzahl der MA Bewegungsdaten; Stammdaten ▪ Nachhaltigkeitsmanagement Kreisdiagramm [Quote] ▪ Wirtschaftliche Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit (HF5) und Mensch und Gesellschaft (HF2)
			(F4) Positiver Beitrag zum Gemeinwesen: Unter Gemeinwesen sind insgesamt alle staatlichen und zivilgesellschaftlichen Einrichtungen und zu verstehen. Neben den gesetzlich vorgeschriebenen Steuern und Abgaben gibt es eine breite Palette materieller oder immaterieller Leistungen, die Organisationen erbringen und damit das Gemeinwesen entweder fördern oder auch schädigen.
			(F4.1) Finanzielle Abgaben an das Gemeinwesen (Steuern): Die tatsächliche Abgabe von Steuern an das Gemeinwesen. Dazu zählen direkte materielle Beiträge und indirekte Beiträge, wie die Schaffung und Erhaltung von Arbeitsplätzen.

Strat. Ziel	Teilziel	Erfakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			(F4.1.1) Steuern [€/MA] = Abgabe an das Gemeinwesen [€] / Anz. MA Abgabe = Steuerquote * Gewinn vor Steuer [€] [GWÖ E2] ▪ Abgabe an das Gemeinwesen [€]; Anz. MA Bestandsdaten; Bezugsgröße ▪ Werkzeugbauleitung Kreisdiagramm [Quote] ▪ Mensch und Gesellschaft (HF2)
			(F4.2) Teilhabe der Gesellschaft: Verbesserung der Infrastruktur Die Produkte unserer Kunden leisten einen Beitrag zur Erfüllung grundlegender menschlicher Bedürfnisse: Erhaltung des Lebens, Gesundheit und Wohlbefinden. Dazu zählen die Mobilität von Gütern und Menschen sowie die Bereitstellung von Infrastruktur.
			(F4.2.1) Infrastrukturinvestitionen [€] = Gesamtbetrag der in Infrastruktur investierten Mittel [€] [GWÖ E1.1] ▪ Gesamtbetrag der in Infrastruktur investierten Mittel [€] Bestandsdaten ▪ Werkzeugbauleitung Balkendiagramm [Anzahl] ▪ Mensch und Gesellschaft (HF2)
(S) Soziale Verantwortung: Schaffung eines positiven Arbeitsumfelds, das Sicherheit, Weiterbildung und Wachstumsmöglichkeiten für alle Mitarbeitenden bietet und gleichzeitig einen wertvollen Beitrag zur lokalen Gemeinschaft leistet.			
			(S1) Achtung der Menschenwürde: Produkte und Dienstleistungen sind mit gesellschaftlichen Auswirkungen verbunden und haben damit positive wie negative Auswirkungen. Hier sind besonders gute Arbeitsbedingungen aller Mitarbeitenden in der gesamten Zulieferkette und im eigenen Unternehmen entscheidend. Gelebte Menschenwürde zeigt sich in einer mitarbeitendenorientierten Unternehmenskultur, die auf Respekt, Wertschätzung und Vertrauen aufbaut.
			(S1.1) Mitgestaltung: Teilhabe als Teil würdiger Arbeit / Keine Verletzung der Menschenwürde in Zulieferkette Anmerkung: Teilhabe und aktive Mitwirkung für alle Mitarbeitenden bezieht das Einbringen von Idee, Anregungen und Impulsen, Mitverantwortung und

Strat. Ziel	Teilziel	Erfakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			dem Beitragen zum Wohl des Unternehmens mit ein. Echte Teilhabe bedeutet auch, dass Mitarbeitende rechtlich beteiligt sind mitzuentcheiden.
			(S1.1.1) Verstöße: Anz. der festgestellten Verstöße [GWÖ A1] - Anz. der festgestellten Verstöße Bestandsgröße - Werkzeugbauleitung Balkendiagramm [Anzahl] - Mensch und Gesellschaft (HF2)
			(S1.2) Vielfalt/Diversität: Vielfalt in jeglicher Hinsicht kann als Chance gesehen werden. Dazu zählt auch geschlechtliche und ethnische Vielfalt.
			(S1.2.1) Diversity-Quote [%]: Anteil (Frauen, Männer, Diverse) / Anz. MA sowie Gender-Diversity * 100%, Inklusion etc. [GWÖ] - Quoten Bezugsgrößen - Nachhaltigkeitsmanagement, Werkzeugbauleitung Kreisdiagramm [Quote] - Mensch und Gesellschaft (HF2)
			(S1.3) Gleichberechtigung: Gleiche/faire Bezahlung: Eine individuelle Ausgestaltung der Arbeitsverträge bei gleichzeitiger und weitgehender Selbstbestimmung der Mitarbeitenden ist erklärtes Ziel.
			(S1.3.1) Entgeltdifferenzfaktor: höchstes Gehalt; Lohn; Auszahlung pro Jahr / geringstes Gehalt; Lohn; Auszahlung pro Jahr Anm.: Entgeltdifferenzfaktor im Unternehmen und in der Lieferkette nach A2, und A4 sowie Standardabweichung des Lohns (plus Trend) einmal für Abteilung und einmal für ganzes Unternehmen [GWÖ] - Standardabweichung des Lohns pro Abteilung; Standardabweichung des Lohns im gesamten Unternehmen; Durchschnittslohn pro Abteilung; Durchschnittslohn im gesamten Unternehmen Bezugsgrößen; Bezugsgrößen; Bezugsgrößen; Bezugsgrößen - Werkzeugbauleitung Balkendiagramm, Kreisdiagramm [Verhältnis] - Mensch und Gesellschaft (HF2)
			(S1.4) Gute Arbeitsbedingungen: Arbeitsbedingungen/Arbeitszeit

Strat. Ziel	Teilziel	Erfo- fakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			Anmerkung: Modelle für eine möglichst selbstbestimmte Arbeitszeitgestaltung und die Möglichkeit von Work-Life-Balance
			(S1.4.1.intern) Arbeitsbedingungen: Vergleich von Arbeitszeit und Lohn (Als Standardabweichung über die Abteilung / das Unternehmen) [GWÖ A1, A2, A4] ▪ Geleistete Stunden pro MA; Soll-Arbeitszeiten pro MA; Überstunden pro MA; Bruttolohn pro MA; Variable Lohnbestandteile (Boni, Prämien); Abteilungszugehörigkeit der MA Bewegungsdaten; Stammdaten; Bewegungsdaten; Stammdaten; Bewegungsdaten; Stammdaten; Externe Daten; Externe Daten; Externe Daten; Externe Daten; Externe Daten ▪ Nachhaltigkeitsmanagement, Werkzeugbauleitung Kreisdiagramm [Verhältnis] ▪ Mensch und Gesellschaft (HF2)
			(S1.4.1.extern) Arbeitsbedingungen: nach GWÖ-Bilanz A1, A2 und A4 [GWÖ A1, A2, A4] ▪ Branchen-Benchmarks (z. B. Durchschnittslöhne, Arbeitszeiten); GWÖ-Bilanz Kriterien (A1, A2, A4); Tarifverträge oder branchenübliche Standards; Externe Nachhaltigkeitsberichte (z. B. Lohntransparenz, Arbeitszeitregelungen); Vergleichsdaten zu Gehältern und Arbeitszeiten aus anderen Unternehmen Bewegungsdaten; Stammdaten; Bewegungsdaten; Stammdaten; Bewegungsdaten; Stammdaten; Externe Daten; Externe Daten; Externe Daten; Externe Daten; Externe Daten ▪ Nachhaltigkeitsmanagement, Werkzeugbauleitung Kreisdiagramm [Verhältnis] ▪ Mensch und Gesellschaft (HF2)
			(S2) Mitarbeitendenzufriedenheit: Qualitativ: Förderung des Wohlergehens der Mitarbeitenden; Quantitativ: Messung der Mitarbeitendenzufrieden anhand einer Skala
			(S2.1) Krankenstand/Förderung der Gesundheit: Verringerung des Krankenstandes. Der Krankenstand ist Indikator für die Gesundheit und Zufriedenheit der Mitarbeitenden.

Strat. Ziel	Teilziel	Erfo- fakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			(S2.1.1) Krankenquote: Anz. Krankheitstage / Gesamtanzahl Arbeitstage [GWÖ] - Anz. Krankheitstage; Gesamtanzahl Arbeitstage Bewegungsdaten; Bezugsgrößen - Nachhaltigkeitsmanagement, alle Abteilungen, Werkzeugbauleitung Kreisdiagramm, Liniendiagramm [Quote] - Wirtschaftliche Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit (HF5) und Mensch und Gesellschaft (HF2)
			(S2.2) Betriebszugehörigkeit: Fluktuationsrate Anmerkung: Eine geringe Fluktation, also die Rate von ausscheidenden zu neu eingestellten Mitarbeitenden, spricht für eine bessere Mitarbeitendenzufriedenheit
			(S2.2.1) Fluktuationsrate: Abgänge / Gesamtbelegschaft [GWÖ] - Anz. Abgänge; Gesamtbelegschaft Bewegungsdaten; Stammdaten - Nachhaltigkeitsmanagement, alle Abteilungen Kreisdiagramm, Liniendiagramm [Rate] - Mensch und Gesellschaft (HF2)
			(S2.3) Betriebszugehörigkeit / Interne Besetzung von Positionen: durchschnittliche Betriebszugehörigkeit Anmerkung: Eine hohe Betriebszugehörigkeit, ist ein guter Indikator für eine hohe Mitarbeitendenzufriedenheit.
			(S2.3.1) „Vitamin B“: Anz. intern besetzter Positionen (durch Weiterbildung) / alle Positionen [GWÖ] - Anz. intern besetzter Positionen (durch Weiterbildung); Anz. aller Positionen Bewegungsdaten; Stammdaten - Werkzeugbauleitung, alle Abteilungen Balkendiagramm, Liniendiagramm [Verhältnis] - Wirtschaftliche Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit (HF5)

Strat. Ziel	Teilziel	Erfakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			(S3) Arbeitssicherheit: Ausrichtung miteinander verbundener oder aufeinander bezogener Aspekte zur Erstellung von einer Richtlinie und Zielen für die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz sowie zur Erreichung dieser Ziele zur Reduktion von Verletzungen oder Krankheiten
			(S3.1) Sichere Prozesse: Prozesse sind erfolgreich, wenn sie das Ziel einer Reduktion von Verletzungen oder Krankheiten verfolgt und einer Wirksamkeit führen.
			(S3.1.1) Anzahl Arbeitsunfälle pro Jahr [GRI] - Anz. Arbeitsunfälle Bestandsdaten - Werkzeugbauleitung, alle Abteilungen, Werkzeugbauleitung Balkendiagramm, Liniendiagramm [Anzahl] - Wirtschaftliche Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit (HF5)
			(S3.3) Gesundheitsprogramme: Angebotene Gesundheitsleistungen die sich positiv auf das Wohlbefinden der Mitarbeitenden auswirkt
			(S3.3.1) Einhaltung von Arbeitsplatzrichtlinien = Barrierefrei zugängliche Fläche (m ²) / Gesamtfläche des Werkzeugbaus [BFSG] - Barrierefrei zugängliche Fläche; Gesamtfläche Bestandsgröße; Bezugsgröße - Nachhaltigkeitsmanagement Kreisdiagramm [Quote] - Mensch und Gesellschaft (HF2)
			(S3.3.2) Anzahl angebotener und wahrgenommenen Gesundheitsprogramme [BFSG] - Anz. angebotener Gesundheitsprogramme; Anz. wahrgenommener Gesundheitsprogramme Bewegungsdaten; Bewegungsdaten - Nachhaltigkeitsmanagement, alle Abteilungen, Facharbeitende, Werkzeugbauleitung Balkendiagramm [Anzahl] - Mensch und Gesellschaft (HF2)
			(S4) Entwicklung der Mitarbeitenden:

Strat. Ziel	Teilziel	Erfakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			(S4.1) Weiterbildung/Fortbildungen: Ökologische und soziale Themen haben zunehmenden Einfluss auf Unternehmen. Welche und wie viele Weiterbildungen zu ökologischen und sozialen Themen angeboten?
			(S4.1.1) Fortbildungsanteil (freiwillig) = $[\text{Anz. MA mit nichtverpflichteten Fortbildungen in einem Jahr} / \text{Gesamtanzahl MA}] * 100\%$; alternativ: Fortbildungsausgaben pro MA = Gesamtausgaben für Fortbildung / Anz. MA - Anz. MA mit nichtverpflichteten Fortbildungen in einem Jahr; Gesamtanzahl MA Bestandsdaten; Stammdaten - Nachhaltigkeitsmanagement, Facharbeitende Kreisdiagramm [Quote] - Mensch und Gesellschaft (HF2)
			(S4.1.2) Fortbildungsanteil (rechtlich verpflichtet) = $[\text{Anz. MA mit rechtlich verpflichteten Fortbildungen in einem Jahr} / \text{Gesamtanzahl MA}] * 100\%$; alternativ: Fortbildungsausgaben pro MA = Gesamtausgaben für Fortbildung / Anz. MA - Anz. MA mit rechtlich verpflichteten Fortbildungen in einem Jahr; Gesamtanzahl MA Bestandsdaten; Stammdaten - Nachhaltigkeitsmanagement, Facharbeitende Kreisdiagramm [Quote] - Mensch und Gesellschaft (HF2)
(G) Vorbildliche Unternehmenskultur: Etablierung als Branchenführer, der durch ethisches Verhalten neue Maßstäbe in Bezug auf Solidarität, Gerechtigkeit und Teilhabe setzt, sowie durch Transparenz hervortritt.			
			(G1) Solidarität und Gerechtigkeit: Unternehmen sollten einen fairen und solidaren Umgang im Wirtschaftsleben fördern. Sie tragen Verantwortung, in ihren Beziehungen zu direkten Lieferanten gerechte und partnerschaftliche Geschäftsbedingungen zu schaffen. Darüber hinaus sollten sie im Rahmen ihrer Einflussmöglichkeiten entlang globaler Lieferketten dazu beitragen, ausbeuterische Praktiken zu verhindern und eine faire Zusammenarbeit aller Beteiligten zu gewährleisten.
			(G1.1) Rechtzeitige Zahlung: Ziel ist eine faire und solidarische Geschäftsbeziehung zu direkten Lieferanten. Bedeuten sind die Ausgestaltung

Strat. Ziel	Teilziel	Erfo- fakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			der Preis-, Zahlungs- und Lieferbedingungen als auch das operative Geschäft.
			(G1.1.1) Zahlungstreue [Tage]: Durchschnittliche Anz. der Tage bis zur Bezahlung der Rechnung ab dem Datum, an dem die Berechnung der vertraglichen oder gesetzlichen Zahlungsfrist beginnt. [GWÖ A2] ▪ Anz. Tage Bestandsdaten ▪ Auftragsakquise Balkendiagramm [Anzahl] ▪ Lieferketten und Resilienz (HF4)
			(G1.2) Aufsichtsstrukturen: Zielsetzung und Leistungsmanagement Anmerkung: Die klare Darstellung der wichtigsten ergriffenen und geplanten Maßnahmen, die zur Erreichung der strategischen Zielsetzungen in den Bereichen biologische Vielfalt, Ökosysteme und soziale Verantwortung beitragen, fördert ein umfassendes Verständnis der Unternehmensstrategie. Sie unterstreicht das Engagement für den Schutz und die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen sowie für die Förderung sozialer Verantwortung.
			(G1.2.1) Zielerreichungsquote [%] = [Anz. erreichter Ziele / Anz. gesetzter Ziele] * 100% [ESRS/Anhang 26] ▪ Anz. erreichter Ziele; Anz. gesetzter Ziele; Anz. erreichter Nachhaltigkeitsziele; Anz. gesetzter Nachhaltigkeitsziele Bewegungsdaten; Bewegungsdaten; Bewegungsdaten; Bewegungsdaten ▪ Projektmanagement, Nachhaltigkeitsmanagement, Werkzeugbauleitung Kreisdiagramm [Quote] ▪ Wirtschaftliche Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit (HF5)
			(G2) Ethische Sinnhaftigkeit: Erfolgreiche Geschäftsbeziehungen beruhen auf Partnerschaft, Respekt und Verantwortung. Kunden werden auf Augenhöhe behandelt, mit dem Ziel, ihre Bedürfnisse optimal zu erfüllen. Ethisches Handeln bedeutet, auf Umsatz oder Gewinn zu verzichten, wenn es im Interesse der Kunden liegt, und unlautere Praktiken wie irreführende Werbung, Verschleierungen oder Kaufdruck zu vermeiden.

Strat. Ziel	Teilziel	Erfakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			Nachhaltigkeit und Verantwortung werden durch aktives Umweltmanagement, ressourcenschonende Prozesse sowie transparente Spenden- und Lobbyarbeit sichergestellt, die gesellschaftlichen Nutzen fördern. In kundengetriebenen Märkten sind Flexibilität und Zuverlässigkeit entscheidend, um langfristige, vertrauensvolle Beziehungen aufzubauen.
			(G2.1) Ethische Partnerschaften: Ethische Lieferanten- und Kundenbeziehungen Anmerkung: Ethische Beziehungen zu Lieferanten und Kunden sind essenziell für nachhaltiges Beschaffungsmanagement. Lieferant*innen werden als gleichberechtigte Partner eingebunden, was Vertrauen und Fairness fördert. Diese Zusammenarbeit basiert auf Mitbestimmung und gemeinsamen ethischen Standards. Gegenüber Kunden, die ausschließlich Unternehmen sind, wird ein Kontakt auf Augenhöhe gepflegt. Ihre Bedürfnisse stehen im Mittelpunkt, auch wenn dies Verzicht auf Umsatz oder Gewinn bedeutet. Unlautere Werbung, Verschleierung oder Kaufdruck werden konsequent vermieden. Die ethische und transparente Zusammenarbeit stärkt langfristige Partnerschaften in einem marktmachtgeprägten Umfeld.
			(G2.1.1) Verlässlichkeit: Ausschuss- und Reklamationsquote, Angebotsquote und Lieferquote [GWÖ A4, D1] ▪ Anz. produzierter Werkzeuge; Anz. Ausschusseinheiten; Anz. Reklamationen Bestandsdaten; Bestandsdaten; Bestandsdaten ▪ Auftragsakquise, Serienbetreuung Kreisdiagramm, Liniendiagramm [Quote] ▪ Lieferketten und Resilienz (HF4)
			(G2.2) Aufsichtsstrukturen: Umweltmanagement & -richtlinien Anmerkung: Die Nutzung standardisierter Umweltmanagement-Systeme ermöglicht eine konsistente und transparente Erfassung sowie Berichterstattung von Umweltauswirkungen. Durch die Integration von Umweltdaten in eine eigene Nachhaltigkeitserklärung (z. B. nach Verordnung (EU) Nr. 1221/2009) können Unternehmen den Anforderungen an einheitliche Berichtstandards entsprechen, indem sie Konsolidierungskreis und Wert-

Strat. Ziel	Teilziel	Erfo- fakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			schöpfungskette einheitlich berücksichtigen. Dies stärkt die Glaubwürdigkeit und Effizienz der Nachhaltigkeitsberichterstattung und unterstützt eine nachhaltige Unternehmensführung.
			(G2.1.2) Anzahl Gesetzesverstöße (Urteile) und laufender Verfahren in allen Bereichen: [ESRS/Anhang 121] ▪ Anz. Gesetzesverstöße (Urteile); Anz. laufender Verfahren Bewegungsdaten; Bewegungsdaten ▪ Werkzeugbauleitung Balkendiagramm [Anzahl] ▪ Kreislaufwirtschaft und Umweltverantwortung (HF1)
			(G2.3) Spenden und Lobbyarbeit: Unternehmensführung & Engagement Anmerkung: Ein entscheidender Erfolgsfaktor ist die Orientierung an ESRS G1, der Transparenz und ethisch verantwortungsbewusste Unternehmensführung fördert. Dies umfasst: Unternehmensethik und Kultur: Bekämpfung von Korruption, Schutz von Hinweisgebern und Tierschutz. Lieferantenmanagement: Faire Zahlungspraktiken, insbesondere gegenüber kleinen und mittleren Unternehmen. Politische Einflussnahme: Transparente Darstellung der Lobbytätigkeiten des Unternehmens. Diese Prinzipien ermöglichen eine klare Darstellung der Unternehmensstrategie und unterstützen nachhaltige Geschäftsprozesse.
			(G2.3.1) Ausgaben für Engagement, politische Themen und Lobbying: [ESRS G1] ▪ Ausgaben für Engagement, politische Themen und Lobbying [€] Bestandsgrößen ▪ Werkzeugbauleitung Balkendiagramm [Anzahl] ▪ Wirtschaftliche Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit (HF5)
			(G3) Teilhabe an Entscheidungen: Ziel ist es, das Unternehmen als einen Ort der aktiven Teilhabe und Mitwirkung für alle Mitarbeitenden zu gestalten. Jede*r Mitarbeitende soll die Möglichkeit haben, Ideen, Anregungen und Impulse einzu-

Strat. Ziel	Teilziel	Erfakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			bringen, Mitverantwortung zu übernehmen und zum Erfolg des Unternehmens beizutragen. Dadurch wird die Identifikation der Mitarbeitenden mit dem Unternehmen gestärkt und die kollektive Intelligenz optimal genutzt.
			(G3.1) Einbindung der Mitarbeitenden: Ziel ist die Teilhabe in Bereichen und Entscheidungen der Mitarbeitenden. An Entscheidungen sollen sie mitentscheiden können (z. B. mehrheits-demokratisch oder konsensual). Was wird aus dem getan, damit Mitarbeitende mehr Verantwortung und Entscheidungen übernehmen können? Wie werden Führungskräfte ausgewählt? Ist eine Mitunternehmerschaft möglich?
			(G3.1.1) Beteiligungsquote: Anteil von Entscheidungen mit Beteiligung des Betriebsrats an Anz. aller Entscheidungen [GWÖ C4.2, 4.3] - Anz. Entscheidungen mit Beteiligung/Betriebsrat; Gesamtanzahl aller Entscheidungen Bewegungsdaten; Bezugsgrößen - Nachhaltigkeitsmanagement, Facharbeitende Kreisdiagramm [Quote] - Mensch und Gesellschaft (HF2)
			(G4) Transparenz: Ziel ist es, Transparenz im Unternehmen zu fördern, indem alle Mitarbeitenden aktiv in Entscheidungs- und Gestaltungsprozesse einbezogen werden. Jede*r Mitarbeitende soll die Möglichkeit haben, Ideen, Anregungen und Impulse offen einzubringen, wodurch ein Klima der Offenheit entsteht. Dies stärkt die Mitverantwortung, erhöht die Identifikation mit dem Unternehmen und fördert eine breite Nutzung der Perspektiven aller Beteiligten.
			(G4.1) Transparenz des Zahlungsverkehrs (der Zulieferkette): Transparenz in der Zulieferkette, insbesondere im Zahlungsverkehr, ist essenziell für ein ethisches Beschaffungsmanagement. Durch klare und nachvollziehbare Zahlungsströme wird sichergestellt, dass alle finanziellen Transaktionen offengelegt und aktiv gesteuert werden können. Transparente Informationen ermöglichen die Rückverfolgbarkeit für alle relevanten Stakeholder und schaffen die Grundlage für das Vertrauen der Lieferant*innen sowie deren Mitentscheidung bei finanziellen Themen, die sie betreffen.

Strat. Ziel	Teilziel	Erfakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			(G4.1.1) Zahlungsverkehr [€]: Höhe des innerhalb des Unternehmens bekannten Zahlungsverkehrs [€] zur gesamten Unternehmenskapital [€] [GWÖ: A4] ▪ Höhe des innerhalb des Unternehmens bekannten Zahlungsverkehrs [€]; Gesamte Höhe des Zahlungsverkehrs [€] Bewegungsdaten; Bezugsgrößen ▪ Werkzeugbauleitung, Nachhaltigkeitsmanagement Balkendiagramm [Anzahl] ▪ Lieferketten und Resilienz (HF4)
			(G4.2) Transparenz bzgl. Eigentum und Mitentscheidung: Ein Unternehmen wird durch einen gemeinsam getragenen Sinn, ein geteiltes Zukunftsbild und gute Zusammenarbeit gestärkt. Dies wird gefördert durch gemeinsame Entscheidungsfindung, Mitgestaltung und Mitverantwortung, idealerweise im Rahmen echter Mitunternehmerschaft. Eine passende Rechtsform, die das Übernehmen oder Übertragen von Eigentumsanteilen erleichtert, unterstützt diesen Prozess. Die Einbindung weiterer Interessengruppen stärkt die Gemeinschaft und erhöht die Widerstandsfähigkeit des Unternehmens gegenüber zukünftigen Herausforderungen.
			(G4.2.1) Mitentscheidungsquote an Eigentum: Anteil der Entscheidungen, über die MA/ Betriebsrat unterrichtet ist zu allen Entscheidungen; Anteil der MA am Unternehmen beteiligten - im Sinne einer Mitunternehmerschaft [GWÖ B4] ▪ Anz. Entscheidungen mit Beteiligung/Betriebsrat; Gesamtanzahl aller Entscheidungen Bewegungsdaten; Bezugsgrößen ▪ Nachhaltigkeitsmanagement Kreisdiagramm [Quote] ▪ Mensch und Gesellschaft (HF2)
			(G4.3) (Transparenz der Kundenmitwirkung und) Werkzeugtransparenz (Produkt = WKZ): Die Mitwirkung der Kund*innen bietet wertvolle Hinweise auf öko-soziale und nachhaltige Produktverbesserungen sowie auf potenzielle Innovationen in Produkten und Dienstleistungen. Zudem trägt sie zur Einschätzung der künftigen Entwicklung des Absatzmarktes bei. Kund*innen können ihre Erfahrungen direkt mit dem Unternehmen teilen

Strat. Ziel	Teilziel	Erfo- fakt.	Kennzahl [Einheit]: Definition [Quelle] / Eingangsgrößen Datengruppen / Anspruchsgruppen Darstellungsarten [Art] / Handlungsfelder (HF#)
			oder untereinander austauschen, wodurch ihr Einfluss auf die Unternehmensentwicklung und Innovationen gestärkt wird.
			(G4.3.1) Werkzeugtransparenzquote: Anteil der Werkzeuge, für die entlang des Werkzeuglebenszyklus alle verfügbaren Informationen für MA frei zugänglich sind / alle hergestellten Werkzeuge [GWÖ D4] ▪ Anz. der Werkzeuge, für die alle Informationen frei zugänglich sind; Gesamtanzahl aller hergestellten Werkzeuge Bewegungsdaten; Bezugsgrößen ▪ Serienbetreuung, Facharbeitende Kreisdiagramm [Quote] ▪ Digitalisierung und Innovation (HF3)
			(G4.4) Transparenz im Betrieb: Zugänglichkeit relevanter Daten: Mitarbeitende haben Zugang zu allen Daten und Informationen, die sie für ihre Aufgaben benötigen, um effektiv arbeiten und fundierte Entscheidungen treffen zu können. Benutzerfreundliche Gestaltung des Datenzugriffs: Die Zugänglichkeit zu Daten ist klar strukturiert, intuitiv und ohne unnötige Hürden gestaltet. Systeme und Prozesse zur Datenbereitstellung sind transparent und leicht verständlich. Klare Abgrenzung nicht zugänglicher Daten: Es ist eindeutig definiert, welche Daten aufgrund von rechtlichen, sicherheitsrelevanten oder vertraulichen Gründen nicht zugänglich sind, und diese Einschränkungen werden klar kommuniziert.
			(G4.4.1) Betriebstransparenzquote: Anteil für alle MA zugängliche Informationen zu allen Informationen [GWÖ C4.1] ▪ Anz. der Informationen, die für alle MA zugänglich sind; Gesamtanzahl relevanter Informationen Bewegungsdaten; Bezugsgrößen ▪ Nachhaltigkeitsmanagement, Werkzeugbauleitung, Facharbeitend Kreisdiagramm [Quote] ▪ Mensch und Gesellschaft (HF2)

1	Themen verstehen	2	Bestehende Richtlinien	3	Relevante Stakeholder		
4	Begründung Risiken	5	Begründung Chancen	6	Ziele, Maßnahmen		
7	Impact bewerten						
Kategorie*	1	2	3	4	5		
Impact Ausmaß der Auswirkungen	Minimal	Beeinträchtigung spürbar	Beeinflussung der Geschäftstätigkeit	Hohe finanzielle Einbußen	Gefährdung des Betriebs		
Probability Wahrscheinlichkeit des Eintritts	Sehr Unwahrscheinlich / langfristig (20%)	Eher Unwahrscheinlich / mittel- bis langfristig (40%)	Eher Wahrscheinlich / mittel- bis langfristig (60%)	Wahrscheinlich / kurz- bis mittelfristig (80%)	Sicherer Eintritt (100%)		
8	Impact * Probability	Ergebnis =	≥ 25 kritisch	19 signifikant	13 wichtig	7 informativ	< 1 minimal

Abbildung 7.2: Vorgehen für die Bewertung ökologischer, sozialer und governance Ziele aus der Perspektive der finanziellen Wesentlichkeit⁶⁰⁴

1	Themen verstehen	2	Bestehende Richtlinien	3	Relevante Stakeholder			
4	Begründung Risiken	5	Begründung Chancen	6	Ziele, Maßnahmen			
7	Impact bewerten							
Kategorie*	1	2	3	4	5			
Impact Ausmaß der Auswirkungen	Geringer finanzieller Nutzen	Moderater finanzieller Nutzen	Bedeutender finanzieller Nutzen	Hoher finanzieller Nutzen	Sehr hoher finanzieller Nutzen			
Probability Wahrscheinlich- keit des Eintritts	Sehr Unwahrscheinlich / langfristig (20%)	Eher Unwahrscheinlich / mittel- bis langfristig (40%)	Eher Wahrscheinlich / mittel- bis langfristig (60%)	Wahrscheinlich / kurz- bis mittelfristig (80%)	Sicherer Eintritt (100%)			
8	Impact * Probability	Ergebnis =		≥ 5 kritisch	4 signifikant	3 wichtig	2 informativ	< 1 minimal

Abbildung 7.3: Vorgehen für die Bewertung ökonomischer Ziele aus der Perspektive der finanziellen Wesentlichkeit⁶⁰⁵

⁶⁰⁴ Eigene Darstellung

⁶⁰⁵ Eigene Darstellung

[illegible]

Abbildung 7.5: Analyse der Abhängigkeiten der Kennzahlen zu den Erfolgsfaktoren des Kennzahlensystems⁶⁰⁷

607 Eigene Darstellung

Tabelle 7.4: Alphabetische Liste der untersuchten kommerziellen Datenbanken

Datenbank Name	Beschreibung	Quelle
A		
<i>Agri-footprint</i>	Focus on agriculture and food sector; ~5000 products and processes; documentation available	https://www.blonksustainability.nl/tools/agri-footprint
B		
<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM)</i>	Assessment of the sustainability of real estate based on 9 categories; based on <i>ecoinvent v3.2</i> ; requires <i>SimaPro</i> software	https://bregroup.com/products/breeam/
C		
<i>cm.chemicals database</i>	Database for chemicals and plastics by Carbon Minds; incorporated by BASF in their PCF; comprehensive documentation available	https://www.carbonminds.com/lca-database-for-chemicals-and-plastics/
<i>CEDA Database</i>	Provided by VITALMETRICS GROUP; <i>ecoinvent</i> -compatible EEIO and <i>Multi-Regional Input-Output</i> (MRIO) based data; 2700+ processes in 400 categories in ~150 countries	https://vitalmetrics.com/environmental-databases
E		
<i>ecoinvent</i>	Largest LCA data provider; widely used; yearly updated; comprehensive meta-data and methodology documentation; 18,000 datasets with ~70,000 entries	https://ecoinvent.org/
<i>Emission Factors Bundle</i>	Built on <i>FactorAI</i> , ECOMETRICA's emission factor database	https://www.emissionfactors.com/
<i>Environmental Improvements Made Easy (EIME)</i>	LCA software by French LCIE Department CODDE; EU25 data until 2009; 4060 Datasets	https://codde.fr/en/our-software/eime-presentation
<i>EN15804 Add-on</i>	Available in <i>OpenLCA</i> for EPDs in the construction sector	https://www.openlca.org/public-release-of-the-en15804-add-on/
<i>ESU-Services LCI data</i>	~1000 of 4000 <i>ecoinvent</i> unit processes available; update of <i>ecoinvent v2.2</i> data	https://esu-services.ch/data/

Datenbank Name	Beschreibung	Quelle
	available in <i>SimaPro</i> ; data until ~2010; transparent documentation available; also public data available free of charge, however, under CC BY-NC-SA 4.0 (CREATIVE COMMONS, Attribution-NonCommercial-ShareAlike)	
<i>ESU World Food</i>	Over 2100 LCIs related to agriculture, food processing and consumption activities; documentation available	https://esu-services.ch/data/fooddata/
<i>EuGeos' 15804+A2_IA v4.1 System Processes</i>	Version of <i>ecoinvent</i> v3.6 for EPD in the construction industry; outdated; new data: <i>EN15804 Add-on</i>	http://www.eugeos.co.uk/lifecycle_assessment/openlca.html
<i>Evah Pigments Database</i>	Includes 55 color pigments by THE EVAH INSTITUTE (Australia)	https://nexus.openlca.org/database/The%20Evah%20Pigments%20Database%20
F		
<i>Footprint Expert</i>	Provided by CARBON TRUST; data available only in combination with accompanying software	https://www.carbontrust.com/our-work-and-impact/guides-reports-and-tools/carbon-footprinting-software
G		
<i>GaBi Databases</i>	Provided by SPHERA; <i>GaBi professional database</i> and its 20 <i>extension databases</i> are widely used; covers over 15,000 processes; data on-demand or integrated into softwares	https://sphaera.com/life-cycle-assessment-lca-database/
I		
<i>Inventory Database for Environmental Analysis (IDEA)</i>	Japanese database developed by the NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST) and the JAPAN ENVIRONMENTAL MANAGEMENT ASSOCIATION FOR INDUSTRY (JEMAI); extended to cover 12 countries; Germany is not included; ~3800 processes and 180 elementary flows; for free in <i>MiLCA</i> software	https://idea-lca.com/en/

Datenbank Name	Beschreibung	Quelle
N		
<i>NegaOcted</i>	Provided by French LCIE Department CODDE; focus on digital services with 500 datasets and 1600 LCIs	https://codde.fr/en/our-software/negaocetted/database
P		
<i>Product Footprint Engine (PFE)</i>	ISO 14064-3 certified CO ₂ e database by SUSTAMIZE GMBH; energy, materials, logis- tics, and production database	https://www.sustamize.com/data
<i>PSILCA</i>	Provided by GREENDELTA for social LCA based on 69 qualitative and quantitative indi- cators	https://psilca.net/
S		
<i>Soca</i>	Provided by GREENDELTA; add-on for <i>ecoin-</i> <i>vent</i> for social LCA based on <i>PSILCA</i>	https://www.openlca.org/soca-v2-new-version/
<i>social hotspots da-</i> <i>tabase (SHDB)</i>	Social LCA with supply chain models	http://www.socialhotspot.org/
U		
<i>UVEK.2018,</i> <i>KBOB:2016 LCI</i> <i>Data</i>	Provided by LC-INVENTORIES.CH; focus on construction industry; update of selected <i>ecoinvent</i> v2.2 data; requires an <i>ecoinvent</i> li- cense	http://www.lc-inventories.ch/

Tabelle 7.5: Alphabetische Liste der untersuchten kostenfreien Datenbanken

Datenbank Name	Beschreibung	Quelle
A		
<i>Agribalyse</i>	French database by ADEME; 2500 food products	https://agribalyse.ademe.fr/
AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE (AISI)	Singular industry association data on iron and steel available	https://www.steel.org/sustainability/
<i>Amaru</i>	Ecuador-specific datasets	https://amaru.io/#datasets
<i>ARVI</i>	Finnish research project together with CLIC INNOVATION LTD on material value chains with focus on recycling; requires <i>ecoinvent</i> in <i>OpenLCA</i> ; free Excel available	http://arvifinalreport.fi/
ATHENA SUSTAINABLE MATERIALS INSTITUTE	Over 300 LCI of construction materials and products available	http://www.athenasmi.org/our-software-data/lca-databases/
<i>AusLCI</i>	600+ datasets with a focus on Australia available	https://www.auslci.com.au/index.php/Datasets
B		
<i>BAFA Factors</i>	Provided by the German FEDERAL OFFICE FOR ECONOMIC AFFAIRS AND EXPORT CONTROL; small but official and German-specific dataset	https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2022.html
<i>Base Carbone</i>	French database by ADEME with over 15,300 data points	https://data.ademe.fr/datasets/base-carboner
<i>Bilan GES</i>	French GHG reports by ADEME	https://bilans-ges.ademe.fr/
<i>BioEnergieDat</i>	Processes for bioenergy supply chains with German background provided by the WUPPERTAL INSTITUTE; data from 2010-2012	https://nexus.openlca.org/database/bio-energiadat
<i>Biomass Environmental Assessment Tool (BEAT₂)</i>	Provided by DEFRA, the BIOMASS ENERGY CENTRE and the ENVIRONMENT AGENCY as an aid to assessing the likely environmental impact of a biomass energy project	https://www.forestresearch.gov.uk/tools-and-resources/fthr/biomass-energy-resources/reference-biomass/documents-downloads/beat/
BUNDESAMT FÜR UMWELT (BAFU) database	Provided by the SWISS FEDERAL ENVIRONMENTAL AGENCY (BAFU - former BUWAL)	https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/zustand/daten/umweltdaten.html

C		
<i>Canadian Raw Materials Database</i>	Provided by the UNIVERSITY OF WATERLOO; data from 1998-2000	https://uwaterloo.ca/canadian-raw-materials-database/
<i>Global Carbon Atlas</i>	Visualization of carbon emission on a country-level	http://globalcarbonatlas.org/en/content/welcome-carbon-atlas
<i>CCa/C2 Tool</i>	Provided by the UNIVERSITY OF MANCHESTER; over 6000 datasets (2000 in CCa/C database; 4000 from <i>ecoinvent</i>) until 2010; only non-profit use allowed	http://www.ccalc.org.uk/
<i>Chinese Core Life Cycle Database (CLCD)</i>	Focus on China's basic industry system; currently the only publicly available Chinese database; over 600 datasets; free in <i>eBalance</i> software	https://www.ike-global.com/#!/products-2/chinese-lca-database-clcd
<i>CML-IA Characterisation Factors</i>	Provided by the LEIDEN UNIVERSITY in combination with the <i>CMLCA</i> software	https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors
COBALT INSTITUTE	Singular industry association data on cobalt available	https://www.cobaltinstitute.org/sustainability/life-cycle-assessment/
D		
<i>DEFRA & BEIS GHG Conversion Factors</i>	Official national GHG conversion factors provided by the UK's DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, FOOD & RURAL AFFAIRS (DEFRA) and the DEPARTMENT FOR BUSINESS, ENERGY AND INDUSTRIAL STRATEGY (BEIS); annually updated; well aggregated and categorized information; comprehensive methodology documentation available	https://www.gov.uk/government/collections/government-conversion-factors-for-company-reporting
E		
<i>Embodied Energy and Emission Intensity Data (3EID)</i>	Japanese data on embodied environmental intensity until 2005	https://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/eng/page/data_file.htm
<i>ECOSYSTEM LCI Database</i>	Database for EoL of household Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), lamps, professional WEEE, small fire extinguishers, and production of recycled WEEE	https://www.ecosystem.eco/en
<i>EDGAR - Emissions Database for Global Atmospheric Research</i>	EU's global database for anthropogenic emissions of greenhouse gases and air pollution on Earth; methodology documentation available	https://edgar.jrc.ec.europa.eu/

<i>EIO-LCA</i>	Economic input/output LCA by CARNEGIE MELLON UNIVERSITY; data until 2002	http://www.eiolca.net/
<i>ELCD</i>	Provided by the EU COMMISSION's JOINT RESEARCH CENTRE; discontinued in 2018; now: <i>European Life Cycle Data Network</i> (LCDN), i.e., <i>European Platform on LCA</i> (EPLCA)	https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/
<i>EPD</i>	Environmental product declarations of various sectors	https://www.environdec.com/home
<i>EPLCA European Platform on LCA</i>	EU's platform for environmental footprints and guidance	https://eplca.jrc.ec.europa.eu/index.html#menu1
<i>EstiMol</i>	Provided by IFU HAMBURG and IPOINT SYSTEMS; focus on chemicals; compatible with <i>Umberto</i> software	http://estimol-search.ifu.com/en/
EUROPEAN ALUMINIUM ASSOCIATION (EAA)	Singular industry association data on aluminum available	https://european-aluminium.eu/our-work/standards-life-cycle-assessment/
EUROPEAN CONTAINER GLASS FEDERATION (FEVE)	Singular industry association data on glass available; data until 2007	https://feve.org/glass-industry-positions/life-cycle-assessment/
EUROPEAN COPPER INSTITUTE (ECI)	Singular industry association data on copper available focused on Europe	https://copperalliance.org/regional-hubs/europe/
EUROPEAN FEDERATION OF CORRUGATED BOARD MANUFACTURERS (FEFCO)	Singular industry association data on corrugated board available	https://www.fefco.org/lca/
<i>European Life Cycle Data Network</i> (LCDN)	EU provides assured data of organization in individual nodes; no aggregated form available	https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/index.xhtml
EUROPEAN SOLVENTS INDUSTRY GROUP (ESIG)	Environmental Footprint compliant data; provided in its own LCDN node or via GLAD	https://www.esig.org/green-deal/environmental-footprint-compliant-secondary-datasets/
EUROPEAN STEEL ASSOCIATION (EUROFER)	Singular industry association data on steel available; for carbon steel see WORLDSTEEL	https://www.eurofer.eu/issues/environment/lifecycle-assessment-lca/life-cycle-inventory-lci-data/
<i>Exiobase</i>	Global, detailed <i>Multi-Regional Environmentally Extended Supply-Use Table</i> (MR-SUT) and <i>Input-Output Table</i> (MR-IOT); EE-MRIO	https://www.exiobase.eu/

	Daten until 2011; usage only under CC BY-SA 4.0 license	
F		
<i>Franklin US LCI</i>	Singular reports available; data requires <i>SimaPro</i> software	https://fal.com/lifecycle-services.html
G		
<i>Global Emission Model for Integrated Systems (GEMIS)</i>	Provided by the INTERNATIONAL INSTITUTE FOR SUSTAINABILITY ANALYSIS AND STRATEGY (IINAS), developed by the ÖKO INSTITUT E.V.; most data until ~2010 (some 2013, 2016, 2018); access also via <i>ProBas</i> possible	https://iinas.org/downloads/gemis-downloads/
<i>Global LCA Data Access Network (GLAD)</i>	Meta search engine to find freely and commercially available datasets from various providers	https://www.globalcadataaccess.org
<i>Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation (GREET)</i>	Analytical tool modeling GHGs with US focus	https://greet.es.anl.gov/
I		
<i>IDEMAT</i>	Provided by SUSTAINABLE IMPACT METRICS FOUNDATION (SIMF), a non-profit spin-off of the DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY; enhances material, electrical, and transport data of <i>ecoinvent</i> based on 472 peer reviewed papers and measured data (652); background documentation available; compliant with ISO 14040/14044; under CC BY 4.0 (CREATIVE COMMONS, Attribution) available, thus, usable in the context of this work	https://www.eco-costsvalue.com/data-tools-books/
INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE (IAI)	Robust data on aluminum stocks and flows in a global cycle	https://alucycle.international-aluminium.org/
INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION (ICA)	Singular industry association data on copper available	https://copperalliance.org/trends-and-data/resource-library/
INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA)	GHG energy datasets (e.g., energy balances for countries from 1990) available; parts are only commercially available	https://www.iea.org/data-and-statistics/data-sets
INTERNATIONAL ZINC ASSOCIATION (IZA)	Singular industry association data on zinc available	https://www.zinc.org/life-cycle-assessment/
<i>IPCC Data Distribution Centre</i>	Repository providing a transparent and traceable archive for the climate, socio-economic	https://www.ipcc-data.org/

	and environmental data and scenarios used in the reports and key figures produced by the IPCC	
<i>IPCC Emission Factor Database (EFDB)</i>	Library of over 18,890 data records for processes used by the IPCC with background documentation, however, as supplementary material not subject to formal IPCC review processes; currently only contains default data from the 1996 and 2006 guidelines (+ 2013 supplement on wetlands); data is not aggregated to CO ₂ e factors but available for individual GHG	https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php
<i>Inventory of Carbon and Energy (ICE)</i>	Embodied carbon database for buildings by CIRCULAR ECOLOGY; developed by the UNIVERSITY OF BATH	https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html#.VN4yPmdyZYc
J		
JAPAN IRON AND STEEL FEDERATION (JISF)	Singular industry association data on steel available focused on Japan	https://www.jisf.or.jp/en/activity/climate/index.html
JLCA (LCA Society of Japan)	Gate-to-gate inventories of 54 Japanese industry associations; impact assessment of ~1000 substances in <i>LIME</i> datasets	https://www.lca-forum.org/database/
K		
KEITI	Korean CO ₂ emission factors on raw materials, energy, fuels, chemical reactions, transportation, and waste treatment	https://www.green-product.go.kr/epd/eng/lci/lciCo200.do
N		
NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (NREL)	Repository for descriptive information (i.e., metadata) about public data resulting from federally funded research conducted by NREL researchers and analysts; US focus	https://data.nrel.gov/
<i>New Energy Externalities Developments for Sustainability (NEEDS)</i>	Information on LCAs of energy technologies to evaluate the full costs and benefits (i.e., direct and external) of energy policies and of future energy systems	https://cordis.europa.eu/project/id/502687/reporting/de
NICKEL INSTITUTE	Singular industry association data on nickel available	https://nickelinstitute.org/en/policy/nickel-life-cycle-management/nickel-life-cycle-data/

<i>NorEnviro</i>	Norwegian center for LCA data with ~20 datasets in 7 sectors	https://norenviro.no/en/
O		
<i>Ökobaudat</i>	Uniform database for LCAs of building; not intended for PCFs; based on <i>GaBi</i> data	https://www.oekobaudat.de/
<i>Open IO</i>	MRIO for Canada; operating at the provincial level	https://zenodo.org/record/5553377
<i>openLCA LCIA methods</i>	Compilation of other datasets to be used in <i>OpenLCA</i>	https://www.openlca.org/lcia-methods-databases/
<i>OzLCI2019</i>	Covers Australasian regional supply including imports; developed by THE EVAH INSTITUTE	https://nexus.openlca.org/database/OzLCI2019
P		
<i>PLASTICSEUROPE Eco-profiles</i>	Detailed LCI and EPD information on plastics and chemicals; methodology documentation available	https://legacy.plasticseurope.org/en/resources/eco-profiles
<i>ProBas</i>	The German FEDERAL ENVIRONMENT AGENCY (UBA) and IINAS provide over 8000 data entries, however, most data not newer than 2010 (last partial update 2015); integrates <i>GEMIS</i> data	https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php
<i>PerúLCA</i>	LCA data provided by the PERUVIAN ENVIRONMENTAL MINISTRY; also <i>GLAD</i> access	https://perulca.com/
S		
<i>SIVC Brasil</i>	National LCA data for Brasil; accessible via own node	https://acv.ibict.br/banco-nacional/oque-e-sicv/
<i>SPINE@CPM</i>	Provided by the Swedish LIFE CYCLE CENTER and CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY; data mostly from ~2000-2013	http://cpmdata-base.cpm.chalmers.se/Start.asp
<i>Swiss Agricultural Life Cycle Assessment (SALCA)</i>	Contains over 700 modules relating to agriculture with agricultural and non-agricultural inputs, outputs, and processes	https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/umwelt-ressourcen/oekobilanzen/oekobilanzmethoden/oekobilanzmethode-salca.html
U		
<i>UK National Atmospheric Emissions Inventory (NAEI)</i>	Air quality data of the UK; methodology documentation available	https://naei.beis.gov.uk/data/

UN OZONE SECRETARIAT	Provision of a data center regarding Ozone, HFCs, CFCs, etc.	https://ozone.unep.org/countries
UN STATISTICS DIVISION	Provision of energy statistics in a non-aggregated form	https://unstats.un.org/unsd/energystats/
<i>US EPA Data Catalog</i>	Over 2750 datasets on environmental issues and GHG available	https://catalog.data.gov/dataset?publisher=U.S.%20EPA%20Office%20of%20Research%20and%20Development%20(ORD)
<i>US EPA GHG Emission Factors Hub</i>	Emission factor database with focus on the US; yearly updated; principle comparable to DEFRA database, however, quality and content inferior	https://www.epa.gov/climate-leadership/ghg-emission-factors-hub
<i>US EPA Supply Chain Greenhouse Gas Emissions Factors for U.S. Commodities and Industries v1.1.1</i>	Supply chain GHG emissions based on US EEIO data	https://catalog.data.gov/dataset/supply-chain-ghg-emission-factors-for-us-commodities-and-industries-v1-1-1
<i>US Federal LCA Commons</i>	Repository of Federal Agencies' LCA data; documentation/submission rules available; no aggregated form available	https://www.lcacommons.gov/
W		
WORLDSTAINLESS	Singular industry association data on stainless steel available	https://www.worldstainless.org/sustainability/environment/
WORLDSTEEL	Singular industry association data on steel available	https://worldsteel.org/steel-topics/life-cycle-thinking/