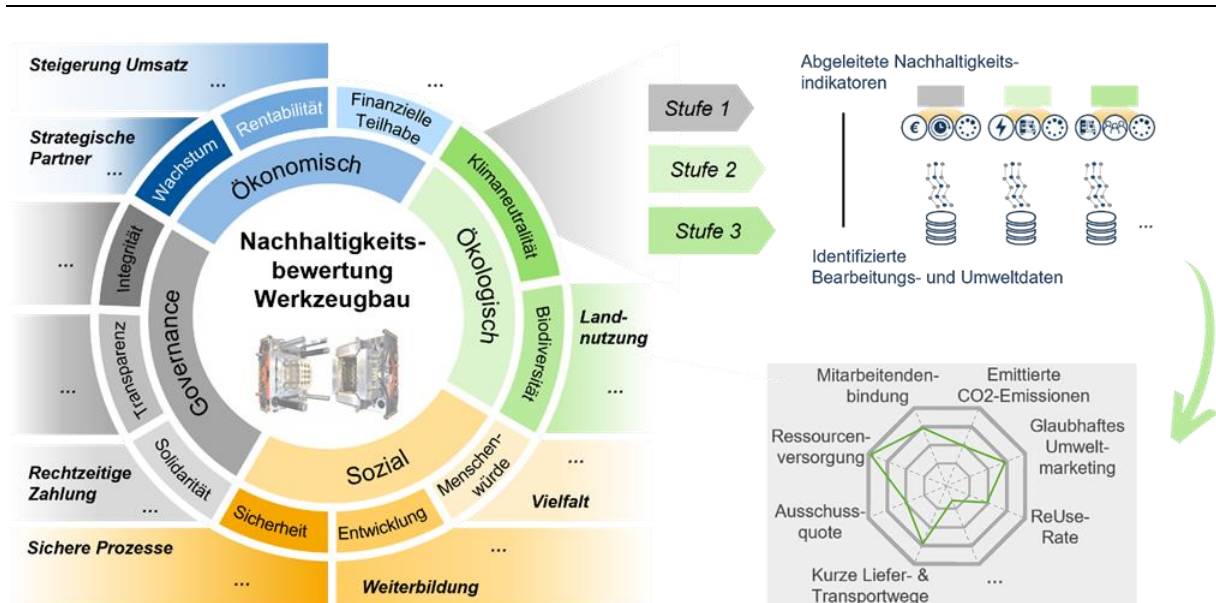


# Fachlicher Abschlussbericht



## Projekttitle

Suskey – Sustainability KPIs zur Messung und Steuerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau

## Aktenzeichen

39370/01

## Zuwendungsempfänger

Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University

WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH

## Verfasser

WZL: Jannik Schreiber

WBA: Björn Härtel

## Berichtszeitraum

01.01.2024 bis 31.12.2025

## Ort

Aachen



# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	1
Tabellenverzeichnis .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Abkürzungen .....	2
1. Zusammenfassung .....	4
2. Anlass und Zielsetzung des Projekts .....	4
3. Projektplan .....	5
4. Darstellung der Arbeitsschritte und angewandten Methoden .....	6
4.1. Arbeitspaket 1: Definition des Zielbilds eines nachhaltigen Werkzeugbaus in der Kreislaufwirtschaft .....	6
4.2. Arbeitspaket 2: Identifikation von Erfolgsfaktoren für die Kreislaufwirtschaft im Werkzeugbau ...	7
4.3. Arbeitspaket 3: Entwicklung eines Nachhaltigkeitskennzahlensystems für die Transformation hin zur Kreislaufwirtschaft .....	7
4.4. Arbeitspaket 4: Definition relevanter Daten und Qualität zur Messung der Kreislauffähigkeit ...	10
4.5. Arbeitspaket 5: Ableitung bedarfsgerechter Informationsbereitstellung aus dem Kennzahlensystem .....	12
4.6. Arbeitspaket 6: Definition von Handlungsfeldern mit Fokus auf das Handlungsfeld Kreislaufwirtschaft .....	12
4.7. Arbeitspaket 7: Validierung und Bewertung der Priorität des Handlungsfelds der Kreislaufwirtschaft für den nachhaltigen Werkzeugbau .....	13
5. Projektergebnisse .....	14
5.1. Arbeitspaket 1: Definition des Zielbilds eines nachhaltigen Werkzeugbaus in der Kreislaufwirtschaft .....	14
5.2. Arbeitspaket 2: Identifikation von Erfolgsfaktoren für die Kreislaufwirtschaft im Werkzeugbau .	16
5.3. Arbeitspaket 3: Entwicklung eines Nachhaltigkeitskennzahlensystems für die Transformation hin zur Kreislaufwirtschaft .....	18
5.4. Arbeitspaket 4: Definition relevanter Daten und Qualität zur Messung der Kreislauffähigkeit ...	19
5.5. Arbeitspaket 5: Ableitung bedarfsgerechter Informationsbereitstellung aus dem Kennzahlensystem .....	22
5.6. Arbeitspaket 6: Definition von Handlungsfeldern mit Fokus auf das Handlungsfeld Kreislaufwirtschaft .....	23
5.7. Arbeitspaket 7: Validierung und Bewertung der Priorität des Handlungsfelds der Kreislaufwirtschaft für den nachhaltigen Werkzeugbau .....	24
6. Diskussion und Bewertung der Zielerreichung .....	25
7. Öffentlichkeitsarbeit .....	26
8. Fazit und Ausblick .....	27
9. Literaturangaben .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
10. Anlagen und Anhang .....	30

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Tabellarische Darstellung der zeitlichen Abfolge der Arbeitspakete .....	6
Abbildung 2: Schematische Darstellung zur Bewertung von Erfolgsfaktoren auf Basis der Kennzahlen (angelehnt an den QFD-Ansatz) .....	10
Abbildung 3: Strategische Ziele für die FESG-Dimensionen .....	15
Abbildung 4: Erfolgsfaktorenuordnung gemäß den FESG-Dimensionen.....	16
Abbildung 5: Zuordnung der Eingangsdaten zu den Systemarten und Datenklassen .....	20
Abbildung 6: Übersicht über die relevanten identifizierten Systemarten.....	20
Abbildung 7: Ausschnitt aus der Eingangsdaten-Kennzahlen-Matrix .....	21

## Abkürzungen

<b>Abkürzung</b>	<b>Beschreibung</b>
AP	Arbeitspaket
CAD	Computer-Aided Design
CAFM	Computer-Aided Facility Management
CAQ	Computer-Aided Quality
CCF	Corporate Carbon Footprint
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CSRD	Corporate Sustainability Reporting Directive
DATEV	Buchhaltungs- und Rechnungswesensoftware
EMS	Energiemanagementsystem
ERP	Enterprise Resource Planning
ESG	Environment, Social, Governance
ESRS	European Sustainability Reporting Standards
EU	Europäische Union
FESG	Finanzen, Umwelt, Soziales, Governance
HCM	Human Capital Management
IIoT	Industrial Internet of Things
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
MES	Manufacturing Execution System
QFD	Quality Function Deployment
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule

<b>Abkürzung</b>	<b>Beschreibung</b>
WBA	WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH
WZL	Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen University

## **1. Zusammenfassung**

Das Forschungsvorhaben Suskey zielt darauf ab, die Nachhaltigkeit von KMU im Werkzeugbau systematisch messbar, bewertbar und steuerbar zu machen. Zu diesem Zweck wurde zunächst ein FESG-orientiertes Zielbild entwickelt, das die vier Dimensionen Finanzen, Umwelt, Soziales und Governance integriert und die Kreislaufwirtschaft als zentralen Hebel für die nachhaltige Transformation des Werkzeugbaus berücksichtigt. Auf dieser Grundlage wurden 13 strategische Ziele, 47 Erfolgsfaktoren sowie zugehörige Einflussfaktoren identifiziert, die den Erfolg eines nachhaltigen und kreislaforientierten Werkzeugbaus maßgeblich bestimmen.

Darauf aufbauend wurde ein branchenspezifisches Nachhaltigkeitskennzahlensystem entwickelt, das die Erfolgs- und Einflussfaktoren in messbare Größen überführt. Ergänzend wurden die Zusammenhänge zwischen Zielen, Erfolgsfaktoren und Kennzahlen über eine erweiterte Wesentlichkeitslogik, Relationsmatrizen und ein QFD-basiertes Bewertungsmodell systematisch strukturiert. Für die Anwendung des Systems wurden anschließend 84 erforderliche Eingangsdaten identifiziert, in Datenklassen gegliedert und potenziellen betrieblichen Datenquellen zugeordnet. Eine Bewertungslogik zur Berücksichtigung der Datenqualität stellt sicher, dass die Qualität der verwendeten Daten systematisch in die Bewertung einfließt.

Zusätzlich wurden Ansätze für eine bedarfsgerechte Informationsbereitstellung entwickelt, damit die Ergebnisse des Kennzahlensystems für unterschiedliche betriebliche Nutzergruppen verständlich und handlungsorientiert aufbereitet werden können. Darauf aufbauend wurden Handlungsfelder und abteilungsspezifische Maßnahmenketten abgeleitet, insbesondere für das Handlungsfeld Kreislaufwirtschaft. Die fortlaufende Validierung mit Unternehmenspartnern zeigte, dass das entwickelte System fachlich plausibel, betrieblich anschlussfähig und für die Praxis im Werkzeugbau grundsätzlich nutzbar ist. Insgesamt schafft Suskey damit eine belastbare Grundlage, um Nachhaltigkeitsleistung im Werkzeugbau ganzheitlich zu bewerten, betriebliche Handlungsfelder gezielt zu priorisieren und Verbesserungsmaßnahmen strukturiert abzuleiten.

## **2. Anlass und Zielsetzung des Projekts**

Der vorliegende Abschlussbericht zeigt den Stand des Forschungsvorhabens Suskey, dessen übergeordnetes Ziel in der Erfassung, Steuerung und kontinuierlichen Verbesserung der Nachhaltigkeit von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) liegt, mit besonderem Fokus auf die Branche Werkzeugbau. Vor dem Hintergrund zunehmender internationaler Wettbewerbsdynamik sowie steigender regulatorischer und gesellschaftlicher Anforderungen gewinnt Nachhaltigkeit zunehmend an strategischer Bedeutung. Was von vielen Unternehmen

zunächst als zusätzlicher Aufwand wahrgenommen wird, entwickelt sich zunehmend zu einem Wettbewerbsvorteil, da insbesondere im Kontext der Serienfertigung ganzheitlich nachhaltige Lösungen gefordert werden. Neben den traditionellen Zielgrößen Zeit, Qualität und Kosten wird Nachhaltigkeit somit zu einem Differenzierungsmerkmal und entscheidenden Hebel für die langfristige Wettbewerbsfähigkeit.

Das Projekt Suskey verfolgt daher das Ziel, Nachhaltigkeit im Werkzeugbau messbar, steuerbar und wirtschaftlich nutzbar zu machen. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung eines praxisorientierten Kennzahlensystems, das Fortschritte transparent darstellt, die Ableitung und Steuerung von Maßnahmen unterstützt und zugleich kompatibel mit relevanten gesetzlichen Vorgaben ist. Dies betrifft insbesondere die EU-Taxonomie [1], das Lieferkettengesetz [2], die Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) [3] sowie die European Sustainability Reporting Standards (ESRS) [4]. Durch diese Anschlussfähigkeit soll der zusätzliche Umsetzungsaufwand für Werkzeugbaubetriebe minimiert werden, wodurch sowohl die interne Unternehmenssteuerung als auch die Erfüllung externer Berichtspflichten erleichtert werden. Im Projekt wurde ein Bewertungssystem für die Nachhaltigkeitsleistung von Werkzeugbaubetrieben entwickelt. Dieses basiert auf einem FESG-basierten Zielbild. Die vier Dimensionen Finanzen, Umwelt, Soziales und Governance bilden dabei den Bezugsrahmen für die Bewertung. Die Ergänzung um die Dimension Governance ist notwendig, da die nachhaltige Transformation im Werkzeugbau nicht nur von ökologischen, sozialen und ökonomischen Faktoren abhängt, sondern auch von transparenten Entscheidungswegen, klaren Verantwortlichkeiten und einer nachvollziehbaren Unternehmensführung. Der FESG-Ansatz schafft somit eine ganzheitliche Grundlage für die Bewertung und Steuerung von Nachhaltigkeit und den Übergang zu einer kreislauforientierten Wertschöpfung.

Der Suskey-Ansatz umfasst den gesamten Lebenszyklus von der Entwicklung über die Fertigung und Nutzung bis hin zur Wiederverwendung von Materialien und Komponenten. Es werden Potenziale zur Effizienzsteigerung beim Energie- und Materialeinsatz identifiziert und der Beitrag einzelner Betriebe sichtbar gemacht.

### **3. Projektplan**

Das Forschungsvorhaben Suskey gliederte sich in sieben Projektbausteine bzw. Arbeitspakete. Abbildung 1 zeigt die zeitliche Abfolge der sieben Arbeitspakete. Das erste Arbeitspaket zielte darauf ab, ein Zielbild für einen nachhaltigen Werkzeugbau, insbesondere in Bezug auf die Kreislaufwirtschaft zu definieren. Im zweiten Arbeitspaket wurden Erfolgsfaktoren für einen nachhaltigen Werkzeugbau, im speziellen zur Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft in der Branche, identifiziert. Mithilfe der Erfolgsfaktoren wurde in Arbeitspaket drei ein Kennzahlensystem speziell für die Branche erarbeitet, bevor in Arbeitspaket vier notwendige Daten und deren Erfassungsmethoden zur Erfassung der

Nachhaltigkeit und Kreislauffähigkeit von Werkzeugbaubetrieben bestimmt wurden. Im Anschluss adressierte das Projekt die Ableitung einer bedarfsgerechten Informationsbereitstellung, sodass sich hieraus Handlungsfelder zur Verbesserung der Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft ergaben (siehe Arbeitspaket fünf bzw. sechs). Abschließend wurde das erarbeitete Kennzahlensystem mithilfe von werkzeugauspezifischen (Eingangs-)Daten validiert.

		Projektmonat																									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Arbeitspaket	AP1: Definition des Zielbildes nachhaltigen Werkzeugbau in der Kreislaufwirtschaft	■	■	■	■																						
	AP2: Identifikation von Erfolgsfaktoren für die Kreislaufwirtschaft im Werkzeugbau			■	■	■	■																				
	AP3: Entwicklung eines Nachhaltigkeitskennzahlensystems für die Branche Werkzeugbau für die Transformation hi zur Kreislaufwirtschaft							■	■	■	■	■	■														
	AP4: Definition relevanter Daten und Qualität zur Messung der Kreislaufwirtschaft										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■							
	AP5: Ableitung bedarfsgerechter Informationsbereitstellung aus dem Kennzahlensystem zur Bewertung der Kreislauffähigkeit											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
	AP6: Definition von Handlungsfeldern mit Fokus auf das Handlungsfeld Kreislaufwirtschaft																				■	■	■	■			
	AP7: Validierung und Bewertung der Priorität des Handlungsfelds der Kreislaufwirtschaft für den nachhaltigen Werkzeugbau																					■	■	■	■	■	■

Abbildung 1: Tabellarische Darstellung der zeitlichen Abfolge der Arbeitspakete

## 4. Darstellung der Arbeitsschritte und angewandten Methoden

### 4.1. Arbeitspaket 1: Definition des Zielbildes eines nachhaltigen Werkzeugbaus in der Kreislaufwirtschaft

Das erste Arbeitspaket verfolgte das Ziel, ein Zielbild für einen nachhaltigen Werkzeugbau zu entwickeln. Dabei wurde die Kreislaufwirtschaft als zentraler Ansatz zur Steigerung der Nachhaltigkeitsleistung herangezogen. Ausgangspunkt war die systematische Erfassung relevanter Anforderungen aus dem Unternehmensumfeld, insbesondere von Kunden, Kapitalgebern und regulatorischen Akteuren. Ergänzend dazu wurde eine Analyse bestehender Nachhaltigkeitsprinzipien und ökonomischer Modelle durchgeführt, um deren Übertragbarkeit auf den Werkzeugbau zu prüfen. Auf dieser Grundlage wurde ein Zielbild entwickelt, das einem ingenieurwissenschaftlich-wirtschaftlichen Verständnis folgt und sich an einem FESG-basierten Bezugsrahmen orientiert. In diesem werden ökologische, soziale und Governance-bezogene Aspekte um eine ökonomische Dimension ergänzt. Alternative Modelle, die stärker generisch oder makroökonomisch ausgerichtet sind, wie bspw. die Doughnut-Ökonomie [5], wurden dabei bewusst nicht übernommen, da im Projekt die betriebliche Anschlussfähigkeit und die Berücksichtigung unternehmensspezifischer Rahmenbedingungen im Werkzeugbau im Vordergrund standen. Es wurden geeignete Inhalte wie bspw. die gleichberechtigte Betrachtung aller Dimensionen übernommen und um branchenspezifische Kriterien ergänzt, um die Besonderheiten der Werkzeugbaubranche angemessen abzubilden.

Die Erhebung und Auswertung der Anforderungen erfolgte arbeitsteilig. Während die WBA vor allem Kundenanforderungen einbrachte, analysierte das WZL die für den Werkzeugbau relevanten normativen und regulatorischen Rahmenbedingungen. Dabei wurden unter anderem die EU-Taxonomie [1], das Lieferkettengesetz [2] und die CSRD [3] berücksichtigt. Die gewonnenen Anforderungen wurden anschließend konsolidiert, sprachlich vereinheitlicht und als Grundlage für die Formulierung des Zielbilds dokumentiert. Letzteres dient als strategischer Ordnungsrahmen für die weiteren Arbeitspakete des Projekts. Aufbauend darauf wird das Zielbild für die Ableitung von Erfolgsfaktoren und Kennzahlen im Arbeitspaket 2 genutzt.

#### **4.2. Arbeitspaket 2: Identifikation von Erfolgsfaktoren für die Kreislaufwirtschaft im Werkzeugbau**

Im zweiten Arbeitspaket wurde ein branchenbezogenes Arbeitstreffen durchgeführt, um praxisnahe Einschätzungen aus der Werkzeugbaubranche in die Entwicklung der Erfolgsfaktoren einzubeziehen. Ausgangspunkt war das in Arbeitspaket 1 entwickelte Zielbild. In einem Workshop wurden zunächst die wesentlichen Voraussetzungen erarbeitet, die Werkzeugbaubetriebe bei der Umsetzung von Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft unterstützen. Dabei wurden sowohl zentrale Erfolgsfaktoren als auch betriebliche Rahmenbedingungen identifiziert, die eine erfolgreiche Umsetzung begünstigen. Aufbauend darauf wurden in einem weiteren Schritt Einflussfaktoren definiert, die den Erfolg dieser Erfolgsfaktoren und somit den Grad der Zielerreichung im Werkzeugbau maßgeblich beeinflussen.

Darüber hinaus wurde im Workshop eine konkrete Zielsetzung für die Nachhaltigkeitsorientierung von Werkzeugbaubetrieben sowie deren Beitrag zur Kreislaufwirtschaft definiert. Diese Zielsetzung dient als strategische Leitlinie zur Verbesserung der Nachhaltigkeitsleistung innerhalb der Branche. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Analyse der geltenden und künftigen rechtlichen Anforderungen. Dabei ging es vor allem um Nachhaltigkeitsberichterstattung, Nachhaltigkeitsfinanzierung, Lieferkettensorgfaltspflicht und die finanzielle Dimension. Die identifizierten Erfolgsfaktoren wurden anschließend systematisiert, schriftlich dokumentiert und bildeten die Grundlage für die Entwicklung eines branchenbezogenen Kennzahlensystems im weiteren Projektverlauf.

#### **4.3. Arbeitspaket 3: Entwicklung eines Nachhaltigkeitskennzahlensystems für die Transformation hin zur Kreislaufwirtschaft**

Im dritten Arbeitspaket wurden zunächst die Zusammenhänge zwischen den Erfolgsfaktoren analysiert und diese anschließend mithilfe einer erweiterten doppelten Wesentlichkeitsanalyse gewichtet. Darauf aufbauend wurden geeignete Kennzahlen zur Messung der Einflussfaktoren abgeleitet, ihre systemischen Relationen über Matrizen erfasst und schließlich gemeinsam mit

Zielen und Erfolgsfaktoren im QFD-Haus zu einer durchgängigen Kennzahlensystematik zusammengeführt. Das hier angewandte Vorgehen wird in der Abbildung 2 visualisiert.

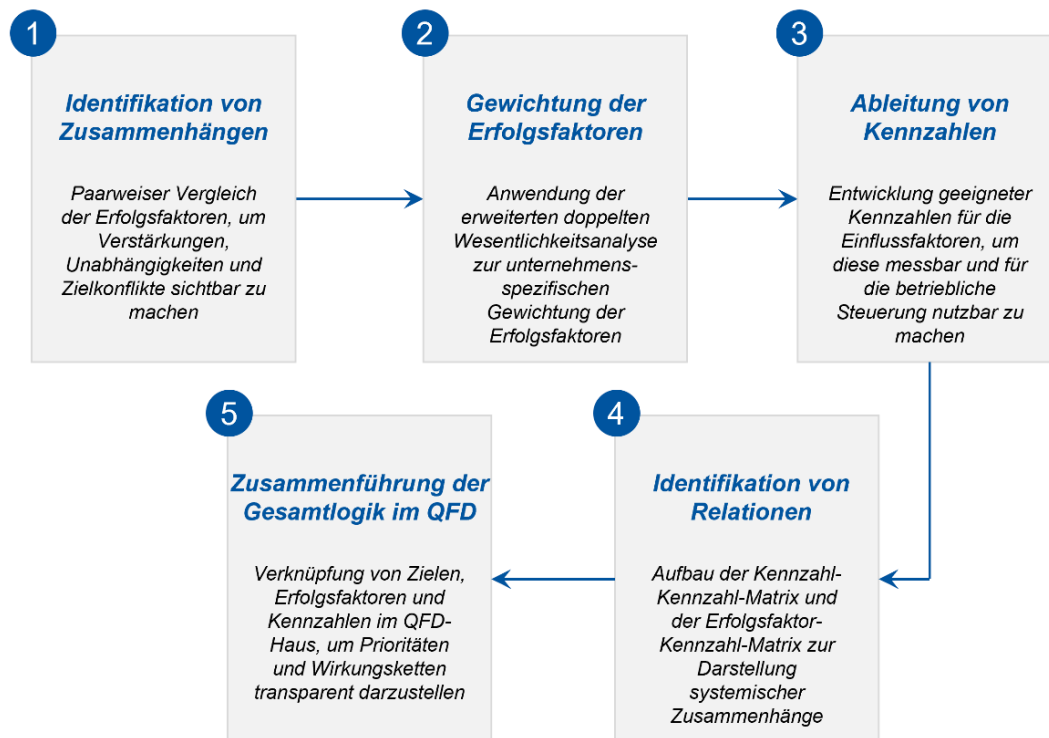


Abbildung 2: Vorgehen zur Ausarbeitung des Kennzahlensystems

Ausgangspunkt waren die in den vorangegangenen Arbeitspaketen erarbeiteten Erfolgsfaktoren sowie die dazugehörigen Einflussfaktoren. Das Ziel dieses Arbeitspakets bestand darin, diese in eine systematische und bewertbare Struktur zu überführen, sodass Unternehmen die für sie besonders relevanten Nachhaltigkeitsthemen priorisieren und später über Kennzahlen messen können. Hierzu wurde zunächst untersucht, welche Erfolgsfaktoren inhaltlich miteinander zusammenhängen und in welcher Form sie sich gegenseitig beeinflussen. Dafür wurden die Erfolgsfaktoren paarweise miteinander verglichen. Auf diese Weise wurden Zusammenhänge aufgezeigt, wo sich Faktoren gegenseitig verstärken, wo sie unabhängig voneinander wirken und wo mögliche Zielkonflikte bestehen. Diese Betrachtung bildete die Grundlage, um die spätere Kennzahlenlogik nicht isoliert, sondern als zusammenhängendes System aufzubauen.

Im nächsten Schritt wurde eine methodische Vorgehensweise entwickelt, mit der sich die identifizierten Erfolgsfaktoren unternehmensspezifisch gewichten lassen. Hierzu wurde das Konzept der doppelten Wesentlichkeitsanalyse herangezogen und an die Anforderungen des Projekts angepasst. Während bestehende Ansätze in der Regel ökologische, soziale und Governance-bezogene Aspekte berücksichtigen, wurde die Methodik im Projekt um eine ökonomische bzw. finanzielle Dimension erweitert. Dies ermöglicht eine ganzheitliche Betrachtung der Erfolgsfaktoren im Sinne der FESG-Logik. In dieser Methodik wird jeder Erfolgsfaktor aus zwei Perspektiven betrachtet. Zum einen wird Umwelt- und soziale

Wesentlichkeit bewertet. Diese ergibt sich aus dem Ausmaß, dem Umfang einer Wirkung und der Frage, wie gut negative Auswirkungen behoben werden können. Andererseits wird die finanzielle Wesentlichkeit bewertet. Sie wird über das potenzielle Ausmaß finanzieller Auswirkungen und deren Eintrittswahrscheinlichkeit beschrieben.

Auf Basis der ermittelten Einflusswerte erfolgt die Zuordnung der Erfolgsfaktoren zu einem spezifischen Quadranten innerhalb der doppelten Wesentlichkeitsanalyse, wodurch eine entsprechende Gewichtung ermöglicht wird. Dieses Vorgehen unterscheidet sich insbesondere in der Bewertung der ökologischen, sozialen und Governance-Dimensionen von der Bewertung ökonomischer Erfolgsfaktoren, insbesondere im Hinblick auf die Operationalisierung und Beschreibung der jeweiligen Ausprägungen (vgl. Anhang 1). Die Methodik bietet den anwendenden Werkzeugbaubetrieben somit die Möglichkeit einer unternehmensspezifischen und flexibel anpassbaren Gewichtung der Erfolgsfaktoren, wodurch eine präzisere sowie kontextabhängige Steuerung von Nachhaltigkeitsstrategien im Werkzeugbau ermöglicht wird.

Im nächsten Schritt wurden für die identifizierten Einflussfaktoren geeignete Kennzahlen abgeleitet, um diese systematisch messbar zu machen und für die betriebliche Steuerung nutzbar zu nutzen. Die Kennzahlen bilden somit die quantitative Operationalisierung der Einflussfaktoren und stellen die Verbindung zwischen den qualitativ beschriebenen Erfolgsfaktoren und ihrer späteren Bewertung im Kennzahlensystem her. Die Herleitung der Kennzahlen erfolgte zunächst eigenständig im Projektteam auf Basis der zuvor definierten Erfolgs- und Einflussfaktoren. Anschließend wurden die entwickelten Kennzahlen im Austausch mit den Unternehmenspartnern geprüft und validiert, um ihre betriebliche Relevanz, Verständlichkeit und Anwendbarkeit im Werkzeugbau sicherzustellen.

Zur Untersuchung der wechselseitigen Beeinflussung verschiedener Kennzahlen wurde eine Kennzahlen-Kennzahlen-Matrix erstellt. In dieser wurden die Kennzahlen paarweise bewertet. Dabei kam ein Bewertungssystem zum Einsatz, das zwischen keiner Beeinflussung (0), geringer Beeinflussung (0,5) und sehr hoher Beeinflussung (0,9) unterscheidet. Ein analoges Vorgehen erfolgte bei der Bewertung des Einflusses zwischen Erfolgsfaktoren und Kennzahlen. Die Erfolgsfaktoren-Kennzahlen-Matrix erfasst den Einfluss der Kennzahlen auf die Erfolgsfaktoren. Auch hierbei wurde die genannte Bewertungsskala angewandt.

Für die strukturierte Analyse und Priorisierung der Beziehungen zwischen den definierten Zielen, Erfolgsfaktoren und Kennzahlen wurde ein Bewertungsmodell nach dem Vorbild des Quality Function Deployment (QFD) entwickelt. Dieses Modell wird auch als QFD-Haus bezeichnet. Diese ursprünglich aus dem Qualitätsmanagement stammende Methode dient der systematischen Analyse und Bewertung von Abhängigkeiten zwischen Einflussgrößen. Im Projektvorhaben wurde das QFD-Haus genutzt, um die Wechselwirkungen und Prioritäten zwischen Zielen, Erfolgsfaktoren und Kennzahlen transparent darzustellen. Dabei werden den

Erfolgsfaktoren zunächst auf Basis der doppelten Wesentlichkeitsanalyse normierte Gewichtungen zugeordnet. Anschließend werden diese Gewichtungen mit den Korrelationen der einzelnen Kennzahlen zu den jeweiligen Erfolgsfaktoren verknüpft. So lässt sich die Bedeutung jeder Kennzahl für die Erreichung der übergeordneten Ziele sowohl absolut als auch relativ bestimmen. Durch die Anwendung des QFD-Ansatzes werden alle relevanten Einflussgrößen entlang der Wirkungskette von Kennzahlen über Erfolgsfaktoren bis hin zu den Zielen berücksichtigt (vgl. Abbildung 2). So entsteht eine fundierte Entscheidungsgrundlage für die Entwicklung und Optimierung des Kennzahlensystems. Das strukturierte Vorgehen ermöglicht zudem die gezielte Ableitung geeigneter Maßnahmen, da das QFD-Haus-Bewertungsschema aufzeigt, welche Maßnahmen welche Kennzahlen beeinflussen.

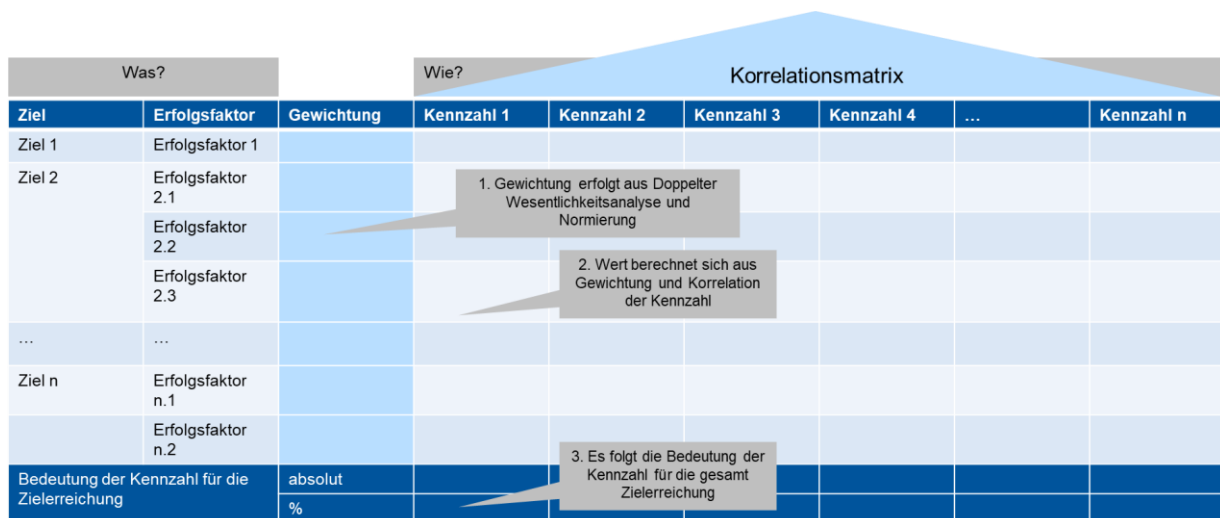


Abbildung 3: Schematische Darstellung zur Bewertung von Erfolgsfaktoren auf Basis der Kennzahlen (angelehnt an den QFD-Ansatz)

Für das dritte Arbeitspaket war gemäß Projektplan keine Validierung des Bewertungssystems vorgesehen. Diese war für das letzte Arbeitspaket (AP7) geplant. Das Projektteam hat jedoch, Teile der Validierungsphase vorgezogen, um frühzeitig potenzielle Anpassungsbedarfe zu identifizieren und entsprechende Optimierungen am Kennzahlensystem vorzunehmen. Es wurden in iterativen Schritten Verbesserungen am Kennzahlensystem vorgenommen.

#### 4.4. Arbeitspaket 4: Definition relevanter Daten und Qualität zur Messung der Kreislauffähigkeit

Im vierten Arbeitspaket wurde zunächst bestimmt, welche konkreten Eingangsdaten zur Berechnung der Kennzahlen erforderlich sind. Die Daten wurden den potenziellen unternehmensinternen Quellen Finanzen, Arbeitsplanung oder Personal zugeordnet. In Workshops mit Partnerunternehmen der WBA wurde der Status quo der in einem durchschnittlichen Werkzeugbau verfügbaren Daten und Datenquellen systematisch erfasst. Es wurde festgestellt, dass finanz- und personalbezogene Informationen in der Regel problemlos bereitgestellt werden können. Emissionsrelevante Daten, insbesondere mit Bezug

zu konkreten Kundenaufträgen, werden hingegen bislang nur eingeschränkt erfasst. Zur Optimierung der Datenlage ist insbesondere eine detaillierte Erfassung auftragsbezogener Maschinenlaufzeiten und der damit verbundenen Energieverbräuche erforderlich. Digitale Technologien wie IIoT-Plattformen oder der CO<sub>2</sub>-Werkzeugpass der WBA ermöglichen hierbei eine echtzeitnahe Erfassung von Maschinenzuständen und deren Verknüpfung mit Auftragsdaten, sodass auftragsbezogene Energieverbräuche und die daraus resultierenden Emissionen bestimmt werden können.

Parallel dazu wurden die Beziehungen zwischen den erforderlichen Eingangsgrößen und den jeweiligen Kennzahlen analysiert und in einer Matrix dokumentiert. In dieser wird jeder Eingangsgröße mindestens eine Kennzahl zugeordnet. Die Bewertung erfolgte binär, das heißt, es wurde ausschließlich erfasst, ob zwischen einer Eingangsgröße und einer Kennzahl eine Beziehung vorliegt oder nicht. Der vorliegende Text gibt Aufschluss darüber, welche Daten für die Berechnung einer Kennzahl zwingend benötigt werden und an welchen Stellen mehrere Kennzahlen auf dieselben Eingangsgrößen zurückgreifen. Die Matrix fungiert folglich als Instrument der systematischen Strukturierung der Datenanforderungen und bildet eine wesentliche Grundlage für die darauffolgende Datenerfassung.

Im weiteren Verlauf wurde eine Untersuchung durchgeführt, um zu ermitteln, welche IT-Systeme für die Bereitstellung der identifizierten Eingangsdaten geeignet sind. Im Rahmen der Untersuchung wurden verschiedene Systemarten analysiert, die unterschiedliche Datenkategorien abdecken und eine Nutzung der bestehenden IT-Infrastruktur in Werkzeugbaubetrieben ermöglichen.

Zur Gewährleistung der Datenqualität wurde ein Datenqualitätsrahmen implementiert, der eine Differenzierung zwischen den gemessenen und den geschätzten Eingangsdaten ermöglicht. Gemäß der vorliegenden Daten werden Messwerte aus technischen Messinstrumenten oder automatisierten Systemen mit einem Reliabilitäts-Multiplikator von 1,0 in die Berechnung einbezogen. Demgegenüber werden Schätzwerte, die auf Basis von Erfahrungswerten oder fachlichen Einschätzungen erstellt wurden, mit einem Gewicht von 0,5 berücksichtigt. Die Aggregation der Kennzahlen erfolgt als gewichtetes Mittel, um erwartete Abweichungen zu reduzieren und Fehlerfortpflanzungen in nachgelagerten Kennzahlen zu dämpfen. Gleichzeitig wird durch dieses Vorgehen ein Anreiz geschaffen, die Datenerfassung sukzessive von Schätzungen auf belastbare Messwerte umzustellen. Die Analyse ergab, dass finanz- und personalbezogene Daten in der Regel bereits automatisiert verfügbar sind. Hingegen werden emissionsrelevante Daten bislang noch nicht flächendeckend und vollständig erfasst.

#### **4.5. Arbeitspaket 5: Ableitung bedarfsgerechter Informationsbereitstellung aus dem Kennzahlensystem**

Im Rahmen des Arbeitspakets 5 wurde erarbeitet, wie Informationen aus dem Kennzahlensystem unterschiedlichen Abteilungen entsprechend ihrer Aufgaben, Verantwortlichkeiten und Entscheidungsbedarfe bereitgestellt werden können. Zunächst wurde in Zusammenarbeit mit relevanten Stakeholdern der Branche erhoben, welche Informationen die einzelnen Abteilungen benötigen, um Verbesserungsmaßnahmen ableiten und entsprechende Entscheidungen im betrieblichen Kontext treffen zu können. Die Relevanz dieser Informationsbedarfe wurde anschließend danach bewertet, welchen Einfluss sie auf den Werkzeugbaubetrieb und auf die Umsetzung kreislauffähiger Maßnahmen haben. Um den konkreten Informationsbedarf für die Bewertung der Kreislauffähigkeit präzise zu erfassen, erfolgte diese Bedarfsermittlung mittels Interviews und Workshops. Hierzu wurden strukturierte Interviews mit Vertretern aus der Werkzeugbaubranche geführt, die über tiefgehende Kenntnisse in den verschiedenen Abteilungen verfügen. Die identifizierten Kennzahlen und Informationsbedarfe wurden zunächst den jeweiligen Abteilungen zugeordnet. Anschließend wurde gemeinsam mit den Unternehmenspartnern geprüft, welche Inhalte für die jeweilige Tätigkeit relevant sind und in welcher Darstellungsform sie den größten Nutzen für die Steuerung innerhalb des Kennzahlensystems bieten.

Anschließend wurde das bestehende Kennzahlensystem einer detaillierten Analyse unterzogen, um seine Eignung zur Ableitung informationsrelevanter Aussagen zur Kreislauffähigkeit zu prüfen. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Identifizierung von Kennzahlen, die unmittelbar mit Aspekten der Kreislaufwirtschaft verknüpft sind. Ergänzend wurden spezifische Bewertungskriterien entwickelt, um die Relevanz der gesammelten Daten für die Kreislauffähigkeitsbewertung zu prüfen. Diese Kriterien dienen auch als Grundlage für die anschließende Auswahl und Aufbereitung der Informationen. Im nächsten Schritt wurde die strukturierte Aufbereitung dieser relevanten Daten in nutzerfreundlicher Form adressiert. Dies umfasst sowohl quantitative als auch qualitative Informationen zum aktuellen Status quo sowie zu Potenzialen zur Verbesserung der Kreislauffähigkeit im Werkzeugbau. Das Ziel besteht darin, die operative Nutzbarkeit des Kennzahlensystems zu verbessern, indem Informationen entsprechend den Anforderungen aller Abteilungen individuell bereitgestellt werden.

#### **4.6. Arbeitspaket 6: Definition von Handlungsfeldern mit Fokus auf das Handlungsfeld Kreislaufwirtschaft**

Auf Basis der zuvor entwickelten Erfolgsfaktoren, Kennzahlen und deren Zusammenhänge wurden im sechsten Arbeitspaket Handlungsfelder für einen nachhaltigen Werkzeugbau abgeleitet. Das Ziel bestand darin, die Inhalte des Kennzahlensystems in betrieblich nutzbare

thematische Felder zu überführen und somit eine Grundlage für die spätere Entwicklung und Priorisierung von Maßnahmen zu schaffen.

Methodisch wurden zunächst Kennzahlen mit inhaltlicher Nähe und ähnlichen Einflussbereichen zu thematischen Clustern zusammengeführt. Diese Cluster wurden anschließend zu Handlungsfeldern verdichtet, um die Vielzahl einzelner Kennzahlen in eine für Unternehmen handhabbare Struktur zu überführen. Für die Handlungsfelder wurden darauf aufbauend Maßnahmenketten entwickelt. Dabei wurde von den jeweiligen Kennzahlen und den ihnen zugeordneten Eingangsgrößen ausgegangen, um konkrete betriebliche Ansatzpunkte für Veränderungen abzuleiten. So konnte beschrieben werden, an welchen Stellen im Unternehmen auf die Entwicklung einer Kennzahl eingewirkt werden kann.

Ein zentrales Element war die abteilungsspezifische Strukturierung der Maßnahmen. Für jede Maßnahme wurde für jede beteiligte Abteilung festgelegt, ob sie die Umsetzung maßgeblich verantwortet, den Umsetzungsgrad beeinflusst, für die Bereitstellung erforderlicher Informationen zuständig ist oder die aus der Maßnahme entstehenden Informationen und Ergebnisse nutzt. Mithilfe dieses Rollenmodells wurden Zuständigkeiten und Informationsflüsse systematisch abgebildet und die spätere betriebliche Verankerung der Maßnahmen vorbereitet werden. Gleichzeitig wurde damit eine Grundlage geschaffen, um Maßnahmen, Kennzahlen und organisatorische Verantwortlichkeiten konsistent miteinander zu verknüpfen. Die beeinflussenden Handlungen und Handlungsmöglichkeiten der einzelnen Abteilungen wurden in moderierten Workshops gemeinsam mit den Unternehmenspartnern identifiziert. Dabei wurden die jeweiligen Einflussmöglichkeiten der Abteilungen berücksichtigt.

Das Handlungsfeld Kreislaufwirtschaft wurde innerhalb dieses Arbeitspakets vertieft betrachtet, da es im Projekt eine zentrale inhaltliche Rolle einnimmt. Im methodischen Mittelpunkt standen hierbei die Strukturierung kreislaufwirtschaftsrelevanter Themen, deren Zuordnung zu bestehenden Kennzahlen sowie die Vorbereitung einer späteren Priorisierungslogik. Die übrigen Handlungsfelder wurden in vergleichbarer Weise bearbeitet, jedoch mit geringerer Dichte. Damit entstand ein methodischer Rahmen, der es erlaubt, Nachhaltigkeitsanforderungen im Werkzeugbau nicht nur über Kennzahlen zu beschreiben, sondern auch in konkrete betriebliche Handlungsfelder und Maßnahmenlogiken zu überführen.

#### **4.7. Arbeitspaket 7: Validierung und Bewertung der Priorität des Handlungsfelds der Kreislaufwirtschaft für den nachhaltigen Werkzeugbau**

Die Validierung des Kennzahlensystems erfolgte begleitend zu den vorherigen Arbeitspaketen und wurde im siebten Arbeitspaket systematisch zusammengeführt. Das Ziel bestand darin, die Plausibilität, betriebliche Anschlussfähigkeit und praktische Anwendbarkeit der entwickelten Inhalte zu prüfen sowie die Priorität des Handlungsfelds Kreislaufwirtschaft

methodisch abzusichern. Grundlage hierfür war ein iteratives Vorgehen, bei dem die Ergebnisse in mehreren Schleifen vorgestellt, diskutiert, überarbeitet und erneut geprüft wurden.

Die Validierung umfasste sowohl externe Abstimmungen mit Unternehmenspartnern aus dem Werkzeugbau als auch interne Fachreviews im Projektteam. Für die externen Validierungsschritte kamen strukturierte Leitfäden zum Einsatz. Im ersten Schritt wurde das Zielbild hinsichtlich Relevanz, Vollständigkeit, Verständlichkeit und betrieblicher Anschlussfähigkeit geprüft. Anschließend wurden die Beziehungen zwischen Zielen, Erfolgsfaktoren und Kennzahlen im QFD-Haus gemeinsam mit den Unternehmenspartnern bewertet, fachlich diskutiert und im Konsens angepasst. Ergänzend wurde geprüft, ob die hierfür erforderlichen Daten grundsätzlich verfügbar sind oder mit vertretbarem Aufwand erfasst werden können.

Im nächsten Schritt wurde die aus den Kennzahlen abgeleitete Struktur der Handlungsfelder mit Fokus auf die Kreislaufwirtschaft validiert. Dabei wurde geprüft, ob die abgeleiteten Maßnahmen an betriebliche Prozesse anschlussfähig sind und ob die Zuordnung der verantwortlichen, beeinflussenden, informierenden und gebrauchenden Abteilungen nachvollziehbar und praktikabel ist.

Zwischen den externen Abstimmungen wurden interne Peer-Reviews durchgeführt. Diese dienten der Prüfung von Struktur, Konsistenz und Vollständigkeit des Systems. Ergänzend wurden Sensitivitätsanalysen und fallbezogene Betrachtungen genutzt, um die Robustheit der Bewertungslogik unter veränderten Annahmen zu prüfen. Alle Anpassungen wurden dokumentiert und versioniert, sodass die Weiterentwicklung des Kennzahlensystems jederzeit nachvollziehbar war.

## **5. Projektergebnisse**

### **5.1. Arbeitspaket 1: Definition des Zielbilds eines nachhaltigen Werkzeugbaus in der Kreislaufwirtschaft**

Im ersten Arbeitspaket wurde ein Zielbild für einen nachhaltigen und kreislaforientierten Werkzeugbau entwickelt. Dabei wurden die branchenspezifischen Rahmenbedingungen des Werkzeugbaus systematisch berücksichtigt. Ausgangspunkt war die Annahme, dass Nachhaltigkeit im Werkzeugbau nur dann wirksam steuerbar ist, wenn ökologische, soziale, Governance-bezogene und finanzielle Anforderungen gemeinsam betrachtet werden. Entsprechend wurde ein FESG-orientiertes Zielbild entwickelt, das die vier Dimensionen Finanzen, Umwelt, Soziales und Governance gleichwertig einbezieht und als strategischer Referenzrahmen für die weiteren Arbeitspakete dient.

<b>Finanzen</b>	<b>Umwelt</b>	<b>Soziales</b>	<b>Governance</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finanzielle Teilhabe</li> <li>• Rentabilität</li> <li>• Nachhaltiges Wachstum</li> <li>• Positiver Beitrag zum Gemeinwesen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimaneutralität</li> <li>• Ressourcenschonung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Achtung der Menschenwürde</li> <li>• Mitarbeitenden-zufriedenheit</li> <li>• Arbeitssicherheit</li> <li>• Entwicklung der Mitarbeitenden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solidarität und Gerechtigkeit</li> <li>• Ethische Sinnhaftigkeit</li> <li>• Teilhabe an Entscheidungen</li> <li>• Transparenz</li> </ul>

Abbildung 4: Strategische Ziele für die FESG-Dimensionen

Das zentrale Ergebnis dieses Arbeitspakets ist die Ableitung strategischer Ziele für die vier Dimensionen Finanzen, Umwelt, Soziales und Governance. In den Dimensionen Finanzen, Soziales und Governance wurden jeweils vier strategische Ziele formuliert, in der Umwelt-Dimension hingegen nur zwei. Es gibt weniger Ziele für die Umwelt, weil diese alle wichtigen ökologischen Wirkungen für den Werkzeugbau schon abdecken. Damit liegt ein Zielsystem vor, das die Anforderungen an einen nachhaltigen Werkzeugbau in fachlich klar unterscheidbare und zugleich miteinander verknüpfte Zielrichtungen überführt.

Die *Dimension Finanzen* umfasst die Ziele finanzielle Teilhabe, Rentabilität, nachhaltiges Wachstum und positiver Beitrag zum Gemeinwesen. Im Kontext des Zielbilds adressieren diese Ziele die langfristige wirtschaftliche Stabilität und Zukunftsfähigkeit eines Werkzeugbaubetriebs. Sie zielen darauf ab, Investitions- und Wettbewerbsfähigkeit zu sichern, Mitarbeitende angemessen an dem Unternehmenserfolg zu beteiligen und zugleich die wirtschaftliche Verantwortung gegenüber dem gesellschaftlichen Umfeld zu berücksichtigen.

Die *Dimension Umwelt* beinhaltet die Ziele Klimaneutralität und Ressourcenschonung. Im Rahmen des entwickelten Zielbilds stehen diese für die Reduktion von Emissionen sowie für einen material- und energieeffizienten Werkzeugbau, der Kreislaufprinzipien systematisch berücksichtigt. Damit zielt die Umwelt-Dimension auf die ökologische Leistungsfähigkeit von Produkten, Prozessen und Stoffströmen über den gesamten Lebenszyklus ab.

Die *Dimension Soziales* umfasst die Ziele Achtung der Menschenwürde, Mitarbeitendenzufriedenheit, Arbeitssicherheit und Entwicklung der Mitarbeitenden. Im Zielbild adressieren diese Ziele faire und sichere Arbeitsbedingungen, die langfristige Bindung und Motivation der Beschäftigten sowie den Erhalt und Ausbau von Kompetenzen. Somit wird die soziale Dimension als wesentliche Voraussetzung für Leistungsfähigkeit, Stabilität und Veränderungsfähigkeit im Werkzeugbau erachtet.

Die *Dimension Governance* inkludiert die Ziele Solidarität und Gerechtigkeit, ethische Sinnhaftigkeit der Unternehmenstätigkeiten, Teilhabe an Entscheidungen und Transparenz. Im Kontext des Zielbilds stehen diese Ziele für eine integre und nachvollziehbare

Unternehmensführung, faire Beziehungen zu internen und externen Anspruchsgruppen sowie die systematische Einbindung von Mitarbeitenden in betriebliche Entscheidungsprozesse. Damit schafft die Governance-Dimension die organisatorischen und normativen Voraussetzungen für eine glaubwürdige und wirksame Nachhaltigkeitssteuerung.

## 5.2. Arbeitspaket 2: Identifikation von Erfolgsfaktoren für die Kreislaufwirtschaft im Werkzeugbau

Im zweiten Arbeitspaket wurden auf Basis der in Arbeitspaket 1 definierten strategischen Ziele die für einen nachhaltigen und kreislauforientierten Werkzeugbau maßgeblichen Erfolgsfaktoren abgeleitet. Im Ergebnis entstand ein Katalog von 47 Erfolgsfaktoren, aufgeteilt in die vier Dimensionen Finanzen, Umwelt, Soziales und Governance (siehe Abbildung 4). Diese konkretisieren die strategischen Ziele des Zielbilds in den vier Zieldimensionen und beschreiben die zentralen betrieblichen Hebel, über die sich Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft im Werkzeugbau umsetzen und steuern lassen.

<b>Finanzen</b>	<b>Umwelt</b>	<b>Soziales</b>	<b>Governance</b>
<p><b>Nachhaltiges Wachstum</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Innovationskultur</li> <li>Kundengewinnung</li> <li>Erschließung neuer Märkte</li> <li>Diversifiziertes Werkzeugspektrum</li> <li>Rücklagenbildung</li> <li>Kontinuierliche Verbesserung</li> <li>Anpassungsfähigkeit</li> </ul> <p><b>Rentabilität</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kostenoptimierung</li> <li>Umsatzsteigerung</li> <li>Effiziente Arbeitsprozesse</li> <li>Transparente Leistungsbewertung</li> </ul> <p><b>Finanzielle Teilhabe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gewinnverteilungspolitik</li> <li>Finanzielle Solidarität</li> <li>Leistungsbewertung</li> <li>Finanzielle Abgaben an das Gemeinwesen</li> <li>Teilhabe der Gesellschaft: Verbesserung der Infrastruktur</li> </ul>	<p><b>Klimaneutralität</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kompensation von CO<sub>2</sub></li> <li>Vermeidung von CO<sub>2</sub></li> </ul> <p><b>Ressourcenschonung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Exnovation</li> <li>Ressourcenoptimierung</li> <li>Kreislaufwirtschaft</li> <li>Sauberes Wasser</li> <li>Saubere Luft / Luftemissionen</li> <li>Weniger Landnutzung</li> </ul>	<p><b>Achtung der Menschenwürde</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mitgestaltung: Teilhabe als Teil würdiger Arbeit / Keine Verletzung der Menschenwürde in Zulieferkette</li> <li>Vielfalt / Diversität</li> <li>Gleichberechtigung</li> <li>Gute Arbeitsbedingungen</li> </ul> <p><b>Mitarbeitendenzufriedenheit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Interne Besetzung von Positionen</li> <li>Betriebszugehörigkeit: Fluktuationsrate</li> <li>Niedriger Krankenstand</li> </ul> <p><b>Arbeitsicherheit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sichere Prozesse</li> <li>Barrierefreiheit</li> <li>Gesundheitsprogramme</li> <li>Förderung der Gesundheit</li> </ul> <p><b>Entwicklung der Mitarbeitenden</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Weiterbildungsprogramme</li> </ul>	<p><b>Solidarität und Gerechtigkeit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rechtzeitige Zahlung</li> <li>Aufsichtsstrukturen: Zielsetzung &amp; Leistungsmanagement<sup>4</sup></li> </ul> <p><b>Ethische Sinnhaftigkeit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aufsichtsstrukturen: Umweltmanagement &amp; -richtlinien</li> <li>Ethische Partnerschaften zu Lieferanten &amp; Kunden</li> <li>Spenden und Lobbyarbeit: Unternehmensführung &amp; Engagement</li> </ul> <p><b>Teilhabe an Entscheidungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Einbindung der Mitarbeitenden</li> <li>Vorhandensein eines Betriebsrats</li> </ul> <p><b>Transparenz</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Transparenz des Zahlungsverkehrs</li> <li>Transparenz bzgl. Eigentum und Mitentscheidung</li> <li>Transparenz der Kundenmitwirkung und Werkzeugtransparenz</li> <li>Gesamttransparenz im Betrieb</li> </ul>

Abbildung 5: Erfolgsfaktorenzuordnung gemäß den FESG-Dimensionen

In der Dimension *Finanzielles* sind die Erfolgsfaktoren den strategischen Zielen nachhaltiges Wachstum, Rentabilität und finanzielle Teilhabe zugeordnet. Dem Ziel des nachhaltigen Wachstums dienen unter anderem Faktoren, die sich auf die Innovationsfähigkeit, Markterschließung, Diversifizierung und Anpassungsfähigkeit beziehen. Sie stärken die langfristige Entwicklungs- und Wettbewerbsfähigkeit des Werkzeugbaus. Das Ziel der Rentabilität wird vor allem durch Erfolgsfaktoren unterstützt, die auf Umsatzsteigerung,

Kostensenkung, effiziente Prozesse und eine transparente Leistungsbewertung abzielen. Diese Faktoren schaffen die wirtschaftliche Grundlage, um Investitionen in Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft zu ermöglichen. Finanzielle Teilhabe wird durch Beteiligungsmodelle und eine faire Verteilung der Wertschöpfung konkretisiert. Damit wird die finanzielle Dimension nicht nur als Frage der Ertragskraft, sondern auch als Frage der innerbetrieblichen Teilhabe verstanden.

In der *Dimension Umwelt* sind die Erfolgsfaktoren auf die beiden strategischen Ziele Klimaneutralität und Ressourcenschonung ausgerichtet. Klimaneutralität wird durch Erfolgsfaktoren konkretisiert, die auf die Vermeidung und Kompensation von Emissionen abzielen. Im Mittelpunkt stehen somit Hebel, die Emissionen an der Quelle reduzieren und die verbleibenden Restemissionen verringern. Das Ziel der Ressourcenschonung wird unter anderem durch Erfolgsfaktoren operationalisiert, die einen effizienten Einsatz von Material und Energie sowie die Kreislaufführung von Stoffströmen unterstützen. Dazu zählen insbesondere ressourcenoptimierte Prozesse, Kreislaufwirtschaft, der verantwortungsvolle Umgang mit Wasser und die Reduktion negativer Umweltauswirkungen durch Abwasser- und Flächenverbrauch. Die Erfolgsfaktoren im Bereich Umwelt beschreiben somit die zentralen ökologischen Stellhebel eines nachhaltigen Werkzeugbaus.

In der *Dimension Soziales* sind die Erfolgsfaktoren den strategischen Zielen Achtung der Menschenwürde, Mitarbeitendenzufriedenheit, Arbeitssicherheit und Entwicklung der Mitarbeitenden zugeordnet. Die Achtung der Menschenwürde wird durch Faktoren konkretisiert, die faire Arbeitsbedingungen, Mitgestaltung, Vielfalt und Gleichberechtigung fördern. Diese Faktoren schaffen die Grundlage für einen respektvollen und diskriminierungsfreien Arbeitsalltag. Die Zufriedenheit der Mitarbeitenden wird durch Erfolgsfaktoren gestützt, die eine stabile Bindung, geringe Fluktuation, Entwicklungsperspektiven und eine gesundheitsförderliche Arbeitsumgebung steigern. Arbeitssicherheit wird durch sichere Prozesse, Barrierefreiheit und gesundheitsbezogene Maßnahmen operationalisiert und adressiert damit die Vermeidung von Unfällen und gesundheitlichen Belastungen. Die Entwicklung der Mitarbeitenden wird vor allem durch strukturierte Weiterbildungs- und Qualifizierungsangebote unterstützt. Insgesamt zeigt sich: Insgesamt zeigt sich, dass die soziale Dimension im Werkzeugbau insbesondere die personellen Voraussetzungen nachhaltiger Wertschöpfung beschreibt, da Arbeitsbedingungen, Qualifizierung und Mitarbeiterbindung wesentlich zur Stabilität und Leistungsfähigkeit der Unternehmen beitragen.

Die *Dimension Governance* bündelt die Erfolgsfaktoren der strategischen Ziele Solidarität und Gerechtigkeit, ethische Sinnhaftigkeit sowie Teilhabe an Entscheidungen und Transparenz. Die Faktoren, die Solidarität und Gerechtigkeit konkretisieren, zielen auf faire Beziehungen zu Lieferanten, Kunden und Mitarbeitenden sowie auf verlässliche Regeln und rechtzeitige

Zahlungen ab. Ethische Sinnhaftigkeit wird insbesondere durch ein Umweltmanagement, faire Partnerschaften und transparente Formen unternehmerischen Engagements operationalisiert. Diese Faktoren beschreiben, wie sich verantwortungsvolle Unternehmensführung in betriebliche Routinen umsetzen lässt. Das Ziel der Teilhabe an Entscheidungen wird durch Mitwirkungs- und Mitbestimmungsstrukturen gestützt, welche die Akzeptanz und Qualität betrieblicher Entscheidungen erhöhen. Transparenz wird schließlich durch nachvollziehbare Informations- und Datenstrukturen konkretisiert und schafft damit die Grundlage für eine glaubwürdige Steuerung, Rechenschaft und Berichtsfähigkeit. Die Governance-Dimension beschreibt somit die organisatorischen und normativen Voraussetzungen für eine wirksame Nachhaltigkeitssteuerung im Werkzeugbau.

Insgesamt stellt der Katalog der 47 Erfolgsfaktoren, der im Rahmen des zweiten Arbeitspakets entwickelt wurde, ein zentrales Ergebnis des Arbeitspakets dar. Er übersetzt die strategischen Ziele des Zielbilds in konkrete, betrieblich beeinflussbare Wirkfelder und bildet somit die Grundlage für die anschließende Entwicklung des Kennzahlensystems.

### **5.3. Arbeitspaket 3: Entwicklung eines Nachhaltigkeitskennzahlensystems für die Transformation hin zur Kreislaufwirtschaft**

In dem dritten Arbeitspaket wurden das in den vorangegangenen Arbeitspaketen entwickelte Zielbild sowie die zugehörigen Erfolgsfaktoren in ein strukturiertes Nachhaltigkeitskennzahlensystem für den Werkzeugbau überführt. Zentrales Ergebnis ist die Entwicklung der Suskey-Methodik, mit der sich Erfolgsfaktoren und die ihnen zugrunde liegenden Einflussgrößen systematisch messen und für die betriebliche Steuerung nutzen lassen. Dadurch steht ein Kennzahlensystem zur Verfügung, das eine unternehmensspezifische Priorisierung relevanter Nachhaltigkeitsthemen und Nachhaltigkeitshandlungsfelder ermöglicht.

Ein wesentliches Teilergebnis ist auch die Erweiterung der doppelten Wesentlichkeitsanalyse um eine finanzielle Perspektive. Dadurch können ökologische, soziale und Governance-bezogene Aspekte gemeinsam mit ökonomischen Anforderungen in die Bewertung einbezogen werden. Konkrete allgemeingültige Bewertungsergebnisse werden hieraus bewusst nicht vorgegeben, da die erweiterte Wesentlichkeitsanalyse Unternehmen gerade dazu befähigen soll, eine eigene, unternehmensindividuelle Bewertung und Gewichtung ihrer Erfolgsfaktoren vorzunehmen.

Darüber hinaus wurden geeignete Kennzahlen zur Messung der identifizierten Einflussfaktoren abgeleitet. Diese operationalisieren die Erfolgsfaktoren quantitativ und schaffen die Verbindung zwischen dem entwickelten Zielbild und einer späteren datenbasierten Bewertung. Die Ergebnisse wurden so aufbereitet, dass die Zuordnung von Dimension, strategischem Ziel, Erfolgsfaktor und zugehöriger Kennzahl in einer

durchgängigen Struktur nachvollziehbar ist. Jedem Erfolgsfaktor ist mindestens eine Kennzahl zugeordnet und damit grundsätzlich messbar. In einer Vielzahl von Fällen werden Erfolgsfaktoren durch mehrere Kennzahlen beschrieben, um unterschiedliche Wirkdimensionen eines Erfolgsfaktors abzubilden.

Ein weiteres Teilergebnis der Suskey-Methodik ist die systematische Sichtbarmachung der Zusammenhänge innerhalb des Kennzahlensystems. Hierzu wurden eine Kennzahlen-Kennzahlen-Matrix sowie eine Erfolgsfaktor-Kennzahlen-Matrix aufgebaut. Dadurch konnte transparent gemacht werden, dass Kennzahlen im Werkzeugbau nicht isoliert wirken, sondern in vielfältigen Abhängigkeiten zueinanderstehen. Diese Systemlogik ist wesentlich, um Auswirkungen von Maßnahmen nachvollziehen und wirksame Hebel im Kennzahlensystem identifizieren zu können.

Zudem wurde mit dem QFD-Haus ein Bewertungsmodell entwickelt, das Ziele, Erfolgsfaktoren und Kennzahlen entlang einer durchgängigen Wirkungskette miteinander verknüpft. Dadurch wurde eine strukturierte Grundlage geschaffen, um die relative Bedeutung einzelner Kennzahlen für die Zielerreichung transparent zu machen und das Kennzahlensystem systematisch weiterzuentwickeln.

Insgesamt wurde mit Arbeitspaket 3 ein Kennzahlensystem geschaffen, das Nachhaltigkeit im Werkzeugbau ganzheitlich erfassbar macht und zugleich die Priorisierung von Themen, Chancen, Risiken und Handlungsfeldern unterstützt. Es bildet damit einen wesentlichen Baustein für die nachfolgenden Arbeitspakete, insbesondere für die Definition der benötigten Datenbasis, die bedarfsgerechte Informationsbereitstellung und die Ableitung betrieblicher Handlungsfelder.

#### **5.4. Arbeitspaket 4: Definition relevanter Daten und Qualität zur Messung der Kreislauffähigkeit**

In Arbeitspaket vier wurden die für das entwickelte Kennzahlensystem erforderlichen Eingangsdaten systematisch identifiziert und potenziellen betrieblichen Datenquellen zugeordnet. Ein zentrales Ergebnis ist, dass zur vollständigen Berechnung der Kennzahlen insgesamt 84 Eingangsdaten erforderlich sind. Diese wurden in 16 inhaltsbezogene Datenklassen gegliedert: Politik, Ausgaben, Emissionen, Energie, Flächennutzung, Gesundheit, Kunden, Material, Mitarbeitende, Prozesse, Qualität, Recht und Richtlinien, Süßwasserbelastung, Weiterbildung, Werkzeuge sowie wirtschaftliche Leistung. Ein Ausschnitt der identifizierten Eingangsdaten mit den zugehörigen Datenklassen ist in Abbildung 5 dargestellt.

	<i>Eingangsdaten</i>	<i>Systemart</i>	<i>Datenklasse</i>
1	Emissionen (gesamt) [kg CO <sub>2</sub> ]	EMS	Emissionen
2	Kompensierte Emissionen [kg CO <sub>2</sub> ]	EMS / DATEV	Emissionen
3	Gesamtenergieverbrauch [kWh]	EMS / ERP	Energie
4	Anzahl Werkzeuge [Anzahl]	ERP	Werkzeug
5	CCF [kg CO <sub>2</sub> ]	EMS	Emissionen
6	Anzahl Mitarbeitende (gesamt) [Anzahl]	HCM	Mitarbeitende
7	Höhe des Zahlungsverkehrs innerhalb des Unternehmens [€]	Manuelle Erfassung / DATEV	Wirtschaftliche Leistung
8	Gesamtes Unternehmenskapital [€]	DATEV	Wirtschaftliche Leistung
9	Anzahl an Entscheidungen, über die Mitarbeitende unterrichtet werden [Anzahl]	Manuelle Erfassung	(Unternehmens-) Politik
10	Anzahl Werkzeuge, für die alle Informationen für die Mitarbeitenden frei zugänglich sind [Anzahl]	ERP	Werkzeug
...	...	...	...
85	Anzahl an für Mitarbeitende zugängliche Informationen [Anzahl]	Manuelle Erfassung	(Unternehmens-) Politik

Abbildung 6: Zuordnung der Eingangsdaten zu den Systemarten und Datenklassen

Zudem wurden die Eingangsdaten acht Systemarten bzw. Quellen zugeordnet, darunter EMS, ERP, CAFM, HCM, MES, DATEV, CAQ und CAD sowie manuelle Erfassungen (siehe Abbildung 6). Damit liegt erstmals eine systematische Übersicht darüber vor, welche Daten für die Nachhaltigkeitsbewertung im Werkzeugbau erforderlich sind und aus welchen betrieblichen Systemen diese grundsätzlich bereitgestellt werden können.

<b>Systemart</b>	<b>Eingangsdaten</b>
<b>EMS/ERP</b>	Gesamtenergieverbrauch [kWh], Verbrauch erneuerbare Energien [kWh], CCF [kg CO <sub>2</sub> e], Recyceltes Material [t], Gesamtabfälle [t], ...
<b>CAFM</b>	Versiegelte Fläche [m <sup>2</sup> ], Gesamtfläche des Werkzeugbaus [m <sup>2</sup> ], ...
<b>HCM</b>	Anzahl Mitarbeiter gesamt, Arbeitsstunden gesamt [h], Anzahl Frauen/Männer im Unternehmen, Krankheitstage gesamt [Vorjahr], Arbeitsunfälle pro Jahr, Fortbildungsausgaben pro Mitarbeiter, ...
<b>MES</b>	Schusszahl, Stanzzahl, Prozessschritte gesamt, Rückbaubedürftige Prozessschritte, Maschinenlaufzeiten, ...
<b>DATEV</b>	Gesamtkosten (aktuelles Jahr), Gesamtkosten (Vorjahr), Investitionen in Infrastruktur [Vorjahr], Steuern, Freiwillige Beiträge, ...
<b>CAQ</b>	Ausschuss- und Reklamationsquote, Anzahl umgesetzter Verbesserungsmaßnahmen, Anzahl positiv bewerteter Verbesserungsvorschläge, ...
<b>CAD</b>	Gesamtmaterialeinsatz Werkzeug [t], Summe Masse gesamte Werkzeugteile [kg], Material-Input-Daten pro Komponente, ...
<b>Manuelle Erfassung</b>	Gesamtanzahl an Informationen, Anzahl für MA zugängliche Informationen, Anzahl Entscheidungen mit Betriebsratsbeteiligung, Anzahl Gesetzesverstöße, Anzahl intern besetzter Positionen, ...

Abbildung 7: Übersicht über die relevanten identifizierten Systemarten

Ein weiteres Teilergebnis dieses Arbeitspakets ist die Entwicklung einer belastbaren Zuordnungslogik zwischen Eingangsdaten und Kennzahlen. Zu diesem Zweck wurde eine Matrix erstellt, die jede erforderliche Eingangsgröße mindestens einer Kennzahl zuordnet. Dadurch wurde die notwendige Datenbasis für die Berechnung einzelner Kennzahlen transparent gemacht und es wurde aufgezeigt, an welchen Stellen mehrere Kennzahlen auf dieselben Eingangsgrößen zurückgreifen. Diese Struktur bildet eine zentrale Grundlage für die spätere Automatisierung der Datenerfassung und Kennzahlenberechnung und erhöht zugleich die Nachvollziehbarkeit des Gesamtsystems. Ein Ausschnitt aus der Eingangsgrößen-Kennzahlen-Matrix ist in Abbildung 7 dargestellt.

		<i>Kennzahlen</i>				
		(E1.1.1) Kompensations- quote	(E1.2.1) Energiever- brauch	(E1.2.1) Company- Carbon-Footprint	(...) ...	(G4.2.1) Mitentschei- dungsquote
<i>Eingangsdaten</i>	Emissionen	1	0	0	...	0
	Kompensierte Emissionen	1	0	0	...	0
	Gesamtenergieverbrauch	0	1	0	...	0
	Anzahl Werkzeuge	0	1	0	...	0
	Anzahl Mitarbeitende	0	0	1	...	0
	...	...	...	...	...	...
	Anzahl zugänglicher Informationen	0	0	0	...	0

Abbildung 8: Ausschnitt aus der Eingangsdaten-Kennzahlen-Matrix

Eingangsdaten, die in der Matrix mit der Zahl eins gekennzeichnet sind, werden für die Berechnung der jeweiligen Kennzahl benötigt. Zusätzlich wurde ein Datenqualitätsrahmen entwickelt, der zwischen gemessenen und geschätzten Eingangsdaten unterscheidet. Gemessene Werte fließen mit voller Gewichtung in die Berechnung ein, da sie genauer sind. Geschätzte Werte werden hingegen mit reduzierter Gewichtung berücksichtigt. Auf diese Weise wird die Qualität der verfügbaren Daten systematisch in die Kennzahlenbewertung einbezogen.

Die Analyse zeigte deutliche Unterschiede in der Verfügbarkeit der benötigten Daten. Während finanz- und personalbezogene Informationen in Werkzeugbaubetrieben meist bereits gut verfügbar sind, werden emissions- und energierelevante Daten, insbesondere mit Bezug zu konkreten Kundenaufträgen, bislang häufig nur eingeschränkt erfasst. Für deren belastbare Bestimmung ist vor allem die detaillierte Erfassung auftragsbezogener Maschinenlaufzeiten und Energieverbräuche erforderlich. Digitale Technologien wie IIoT-Plattformen oder der CO<sub>2</sub>-Werkzeugpass der WBA können hierzu beitragen, indem sie Maschinenzustände mit Auftragsdaten verknüpfen. Insgesamt wurde mit Arbeitspaket 4 eine belastbare Grundlage

geschaffen, um die Datenanforderungen des Kennzahlensystems im Werkzeugbau transparent zu machen und diese perspektivisch an eine digitale Schnittstelle anzubinden.

### **5.5. Arbeitspaket 5: Ableitung bedarfsgerechter Informationsbereitstellung aus dem Kennzahlensystem**

Im fünften Arbeitspaket wurden die Voraussetzungen dafür geschaffen, die Ergebnisse des Kennzahlensystems für unterschiedliche betriebliche und externe Anforderungen nutzbar aufzubereiten. Ein zentrales Teilergebnis innerhalb des Arbeitspakets ist die gemeinsam mit Werkzeugbaubetrieben durchgeführte systematische Ermittlung des Informationsbedarfs. Dabei zeigte sich, dass Informationen zur Wiederverwendbarkeit von Komponenten, zur Recyclingfähigkeit eingesetzter Materialien sowie zu rückführungs- und lebenszyklusbezogenen Aspekten bislang häufig nicht systematisch erfasst oder ausgewertet werden, obwohl sie für die Bewertung der Kreislauffähigkeit von großer Bedeutung sind.

Darüber hinaus wurde analysiert, welche Kennzahlen des bestehenden Kennzahlensystems sich unmittelbar zur Bewertung der Kreislauffähigkeit eignen. Im Ergebnis konnten mehrere Kennzahlen als direkt nutzbar identifiziert und einer ersten Zuordnungslogik zu kreislaufwirtschaftsbezogenen Aspekten zugewiesen werden. Ergänzend wurden erste Bewertungskriterien zur Relevanzprüfung von Informationen formuliert, um verfügbare Datensätze gezielt im Hinblick auf ihre Aussagekraft für die Kreislauffähigkeit zu bewerten. Dabei wurde zwischen Kennzahlen mit direktem Bezug zur Kreislauffähigkeit und Kennzahlen mit eher indirektem Bezug über Ressourcenschonung und Emissionsreduktion unterschieden. Als Kennzahlen mit dem engsten Zusammenhang zur Kreislauffähigkeit wurden insbesondere die Recyclingquote und die Kreislaufquote identifiziert. Mit der Kreislaufquote ist hier der Anteil an Materialien oder Komponenten gemeint, die im Unternehmen oder im Werkzeugkontext wiederverwendet werden. Weitere Kennzahlen, wie z. B. die Schadstoffkonzentration in der Luft oder Landnutzungsquote, leisten vor allem einen ergänzenden Beitrag, indem sie die ressourcen- und emissionsbezogenen Wirkungen kreislauforientierter Maßnahmen abbilden. Ein weiteres Ergebnis ist die Konzeption einer nutzerorientierten Informationsaufbereitung. Hierzu wurde ein erster Prototyp entwickelt, der quantitative Kennzahlen (z. B. die Rücklaufquote von verwendeten Materialien) und qualitative Einschätzungen (z. B. Barrieren für die Wiederverwendung) in strukturierter Form zusammenführt. Für die einzelnen Kennzahlen wurden im Rahmen der Ausarbeitung zudem geeignete Darstellungsformen abgeleitet, darunter Kuchendiagramme, gestapelte Balkendiagramme, Säulen- und Liniendiagramme sowie Ampellogiken. Die Auswahl der Darstellungsform erfolgte nicht pauschal, sondern kontextbezogen anhand der Frage, welche Abteilung für die jeweilige Kennzahl verantwortlich ist und in welcher Form die Information für den jeweiligen Nutzungskontext am verständlichsten und handlungsrelevantesten aufbereitet werden kann.

Auf diese Weise entstand eine Zuordnungslogik zwischen Kennzahl, verantwortender Rolle und geeigneter Visualisierung. Zugleich zeigte sich, dass die Informationsdarstellung an die jeweilige Hierarchie- und Entscheidungsebene angepasst werden muss, da sich die Anforderungen von Geschäftsführung, mittlerem Management und operativen Bereichen deutlich unterscheiden.

Insgesamt wurde damit die Grundlage geschaffen, das Kennzahlensystem als Bewertungs- und Informationsinstrument in der gesamten Organisation des Werkzeugbaus nutzbar zu machen.

## **5.6. Arbeitspaket 6: Definition von Handlungsfeldern mit Fokus auf das Handlungsfeld Kreislaufwirtschaft**

Im sechsten Arbeitspaket wurden die zuvor entwickelten Kennzahlen in betriebliche Handlungsfelder überführt, um aus der Kennzahlenlogik konkrete Ansatzpunkte für Verbesserungen im Werkzeugbau abzuleiten. Das Ergebnis ist eine Struktur, in der Kennzahlen mit hoher inhaltlicher Nähe und ähnlichen Eingangsgrößen zu thematischen Handlungsfeldern gebündelt wurden. Dadurch wurde die Vielzahl einzelner Kennzahlen in eine für das Unternehmen handhabbare Form überführt und mit einer ersten Maßnahmenlogik verknüpft.

Ein zentrales Ergebnis ist die Entwicklung abteilungsspezifischer Maßnahmenketten für handlungsfeldrelevante Kennzahlen, die konkrete betriebliche Ansatzpunkte benennen. Für jede Maßnahme wurde festgelegt, welche Abteilungen ihre Umsetzung verantworten, beeinflussen, über sie informieren oder ihre Ergebnisse nutzen. Dadurch entstand ein Rollenmodell, das die Zuständigkeiten und Informationsflüsse transparent macht und die betriebliche Verankerung der Maßnahmen vorbereitet. Die beeinflussenden Handlungen und Handlungsmöglichkeiten der einzelnen Abteilungen wurden gemeinsam mit Unternehmenspartnern erarbeitet. Somit ist die Maßnahmenstruktur nicht nur theoretisch konsistent, sondern auch praxisnah anschlussfähig.

Das Handlungsfeld Kreislaufwirtschaft wurde innerhalb von AP 6 besonders vertieft. Im Ergebnis konzentriert es sich auf zwei zentrale Stoßrichtungen, nämlich die Reduktion des Primärmaterialeinsatzes durch Recycling und Wiederverwendung und die Senkung des Energieverbrauchs und der damit verbundenen Emissionen. Die hierzu entwickelten Maßnahmen sind jeweils mit zugehörigen Kennzahlen verknüpft, etwa Materialeffizienz, Kreislaufquote, Energieverbrauch und CCF, sodass ihre spätere Wirkung grundsätzlich messbar bleibt. Ein Auszug aus der Maßnahmenbeschreibung ist im Anhang 3 gegeben.

Für das Handlungsfeld Kreislaufwirtschaft wurde beispielhaft die Kennzahl Kreislaufquote konkretisiert. Zur Verbesserung dieser Kennzahl wurden abteilungsspezifische Maßnahmen abgeleitet. Verantwortlich ist das Engineering. Der Schwerpunkt liegt hier auf der Schaffung

von Standards für die Wiederverwendung (ReUse), insbesondere durch einen modularen Werkzeugaufbau, die Sicherstellung der Demontierbarkeit sowie die Standardisierung von Baugruppen. Die Konstruktion wirkt sich auf die Kennzahl aus, indem sie eine kreislaufgerechte Auslegung der Werkzeuge unterstützt und dabei insbesondere Standards sowie die Demontierbarkeit einzelner Komponenten berücksichtigt. Auch die Arbeitsvorbereitung hat einen Einfluss auf die Kennzahl: Sie wählt wiederverwendbare Komponenten aus und integriert sie in die Planung. Zudem stellt sie eine Übersicht über verfügbare Bauteile und deren Eigenschaften bereit. Die Refabrikation wirkt ebenfalls beeinflussend, indem sie die Rückführung, Aufbereitung und Bereitstellung geeigneter Komponenten für den erneuten Einsatz übernimmt. Insgesamt zeigt dieses Beispiel, dass eine Verbesserung der Kreislaufquote nur durch das abgestimmte Zusammenwirken mehrerer Abteilungen erreicht werden kann. Somit dient die Kennzahl als geeigneter Steuerungsindikator für das Handlungsfeld Kreislaufwirtschaft.

Neben dem Fokusfeld Kreislaufwirtschaft wurden weitere Handlungsfelder wie Prozessoptimierung und Innovation, Resilienz und Innovation, Kundenbindung und Partnerschaft, Betriebsklima und Weiterbildung, Transparenz und Digitalisierung sowie Gemeinwohl in vergleichbarer Grundlogik vorbereitet, jedoch mit geringerer Detailtiefe. Insgesamt wurde damit ein belastbarer Rahmen geschaffen, um die Ergebnisse des Kennzahlensystems in konkrete betriebliche Verbesserungsansätze zu überführen.

### **5.7. Arbeitspaket 7: Validierung und Bewertung der Priorität des Handlungsfelds der Kreislaufwirtschaft für den nachhaltigen Werkzeugbau**

Ein zentrales Ergebnis des siebten Arbeitspakets ist die fortlaufende Validierung des entwickelten Kennzahlensystems über den gesamten Projektverlauf hinweg. Diese erfolgte nicht nur punktuell am Projektende, sondern begleitete in mehreren Schleifen die Ausarbeitung von Zielbild, Erfolgsfaktoren, Kennzahlen und Handlungsfeldern gemeinsam mit den Unternehmenspartnern. Dadurch konnten fachliche Rückmeldungen frühzeitig in die Weiterentwicklung des Systems einfließen und schrittweise in eine konsistente Gesamtsystematik überführt werden.

Im Ergebnis führte dieser Validierungsprozess zu einer Schärfung der Definitionen, Relationen und Zuordnungen innerhalb des Kennzahlensystems. Insbesondere wurden die Zusammenhänge zwischen Zielen, Erfolgsfaktoren und Kennzahlen im QFD-Haus präzisiert, die Bewertungslogik in den Relationsmatrizen geschärft und die Anschlussfähigkeit der Kennzahlen an betriebliche Daten- und Prozessstrukturen verbessert. Gleichzeitig zeigte sich, dass die entwickelte Systematik grundsätzlich geeignet ist, die Nachhaltigkeitsleistung im Werkzeugbau strukturiert zu erfassen und betriebliche Prioritäten transparent abzubilden.

Ein weiterer wesentlicher Ergebnisaspekt betrifft die Validierung der Handlungsfelder mit Fokus auf die Kreislaufwirtschaft. Es wurde bestätigt, dass die abgeleiteten Maßnahmen fachlich nachvollziehbar mit den zugehörigen Kennzahlen verknüpft sind und die Zuordnung zu verantwortenden, beeinflussenden, informierenden und nutzenden Abteilungen eine praxisnahe betriebliche Verankerung ermöglicht. Dabei wurde die Kreislaufwirtschaft als besonders relevantes Handlungsfeld bestätigt, da sie mehrere ökologische, ökonomische und prozessbezogene Zielsetzungen gleichzeitig adressiert und somit einen zentralen Hebel für die nachhaltige Transformation des Werkzeugbaus darstellt.

Insgesamt hat sich durch Arbeitspaket 7 bestätigt, dass das entwickelte Kennzahlensystem eine plausible, anschlussfähige und iterativ geschärfte Grundlage für die Bewertung und Steuerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau präsentiert.

## **6. Diskussion und Bewertung der Zielerreichung**

Mit dem entwickelten FESG-Zielbild liegt ein branchenspezifischer Ordnungsrahmen vor, der die Aspekte Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft im Werkzeugbau um eine finanzielle Perspektive ergänzt. Auf dessen Grundlage konnten 47 Erfolgsfaktoren identifiziert und in ein strukturiertes Kennzahlensystem überführt werden. Mithilfe der Suskey-Methodik, der erweiterten doppelten Wesentlichkeitsanalyse, der Relationsmatrizen und des QFD-Hauses wurde ein methodischer Rahmen geschaffen, der eine unternehmensspezifische Priorisierung von Nachhaltigkeitsthemen und deren Überführung in Kennzahlen und Handlungsfelder ermöglicht. Ergänzend wurden 84 Eingangsdaten identifiziert, Datenquellen zugeordnet und ein Datenqualitätsrahmen entwickelt. Damit konnte eine durchgängige Systematik von Zielbild über Erfolgsfaktoren und Kennzahlen bis hin zur Datenbasis und Maßnahmenlogik aufgebaut werden.

Besonders positiv ist die betriebliche Anschlussfähigkeit der Ergebnisse zu bewerten. Durch Workshops, Interviews und Validierungsschleifen mit Unternehmenspartnern wurden die entwickelten Inhalte frühzeitig geprüft und iterativ geschärft. Dies gilt insbesondere für das Zielbild, die abteilungsspezifischen Maßnahmenketten und die nutzerorientierte Informationsaufbereitung. Damit wurde ein zentrales Projektziel erreicht: Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft im Werkzeugbau wurden nicht nur konzeptionell beschrieben, sondern auch grundsätzlich steuerbar gemacht.

Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse auch die Grenzen des Projekts auf. So liefert das Kennzahlensystem z. B. keine allgemeingültige Rangfolge von Erfolgsfaktoren, da die entwickelte Methodik bewusst auf eine unternehmensspezifische Gewichtung ausgelegt ist. Das zentrale Ergebnis besteht daher weniger in einer einheitlichen Bewertung als vielmehr in einer belastbaren Methodik zur betriebsspezifischen Priorisierung. Auch die Informationsbereitstellung wurde vor allem konzeptionell und prototypisch ausgearbeitet. Eine

vollständige technische Implementierung in bestehende IT-Landschaften war nicht Teil des Projekts.

Abweichungen ergaben sich vor allem im Vorgehen. So wurde die Validierung nicht erst im letzten Arbeitspaket durchgeführt, sondern teilweise vorgezogen und über mehrere Arbeitspakete hinweg integriert. Dies war methodisch sinnvoll, da Zielbild, Erfolgsfaktoren, Kennzahlen und Handlungsfelder eng miteinander verknüpft sind und nur iterativ konsistent entwickelt werden konnten. Eine Herausforderung lag in der Datenverfügbarkeit. Während finanzielle und personalbezogene Daten meist gut verfügbar sind, bestehen insbesondere bei emissions- und energierelevanten Eingangsdaten mit Auftragsbezug noch deutliche Lücken. Das Projekt konnte hierfür eine methodische Grundlage schaffen, die vollständige datenbasierte Umsetzung bleibt jedoch eine Aufgabe der Unternehmen.

Insgesamt ist das Projekt als erfolgreich zu bewerten. Für die weitere Nutzung erscheint es nun entscheidend, das Kennzahlensystem in Pilotanwendungen zu erproben, die Datenbasis weiter auszubauen und die übrigen Handlungsfelder (Kreislaufwirtschaft, Prozessoptimierung und Industrialisierung, Betriebsklima und Weiterbildung, Ressourcenschonung und Emissionsreduktion, Resilienz und Innovation, Kundenbindung und Partnerschaften, Transparenz und Digitalisierung sowie Gemeinwohl) schrittweise zu vertiefen.

## **7. Öffentlichkeitsarbeit**

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens wurden sowohl über wissenschaftliche und fachliche Publikationsformate, etwa Konferenzbeiträge, als auch praxisnah im Rahmen von Fachtagungen und bestehenden Transferformaten der WBA unter direkter Einbindung von Unternehmen der Werkzeugbaubranche verbreitet. Dadurch wurde die Sichtbarkeit des Projekts erhöht und die erarbeiteten Inhalte einer breiten Fachöffentlichkeit zugänglich gemacht. So wurde sichergestellt, dass die Projektergebnisse nicht im wissenschaftlichen Umfeld verbleiben, sondern gezielt in die betriebliche Praxis der Branche Werkzeugbau getragen werden.

Die Ergebnisse wurden in den nachfolgenden Fachmedien und Publikationsformaten veröffentlicht:

- Wiese, J.; Brinkmann, M.; Härtel, B.; Calchera, R.: Suskey - Sustainability KPIs zur Messung und Steuerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau, in: Forschungsbericht der WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH, Ausgabe November 2024 [6]
- Schreiber, J.; Härtel, B.: Suskey, in: Forschungsbericht der WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH, Ausgabe November 2025 [7]
- Boos, W.; Lukas, G.; Kenfenheuer, J.; Baumert, H.; Calchera, R.: An Approach To Develop A Vision For Sustainable Tool and Die Manufacturing, in:

Conference on Production Systems and Logistics (CPSL) 2025, 7th Conference on Production Systems and Logistics, S. 705-714. [8]

- Schuh, Günther; Kenfenheuer, Jonas; Klisch, Leonhard; Schreiber, Jannik; Calchera, Riccardo:  
Resiliente und nachhaltige Wertschöpfung im Werkzeugbau – Zielbild einer nachhaltigen Werkzeugfertigung, in der Ausgabe 1/2-2026 der wt Werkstattstechnik online, S. 30-39 [9]
- Boos, Wolfgang; Welling, David; Kenfenheuer, Jonas; Klisch, Leonhard; Calchera, Riccardo: Nachhaltigkeit im Werkzeugbau messen und steuern, im VDWF-Magazin (2025) [10]

Darüber hinaus wurden die Projektaktivitäten und Zwischenergebnisse regelmäßig in der WBA-Community vorgestellt, insbesondere im Rahmen der Jahres- und Halbjahrestreffen der WBA in den Jahren 2024 und 2025. Somit partizipieren sowohl die wissenschaftliche Gemeinschaft als auch Unternehmen der Branche Werkzeugbau an den Ergebnissen des Projekts. Neben Forschenden und Entwicklungspartnern profitieren insbesondere Werkzeugbaubetriebe, da die entwickelten Inhalte auf eine direkte betriebliche Anwendung und Weiterentwicklung ausgerichtet sind.

Eine Verwertung der Projektergebnisse über die Projektlaufzeit hinaus ist vorgesehen. Die entwickelten Ansätze, Methoden und Ergebnisse bilden die Grundlage für weiterführende Forschungs- und Transferaktivitäten sowie für mögliche Anschlussprojekte mit Unternehmenspartnern. Somit wird gewährleistet, dass die im Projekt erarbeiteten Inhalte nicht nur veröffentlicht, sondern auch langfristig weiterentwickelt und in die industrielle Praxis überführt werden.

## **8. Fazit und Ausblick**

Das Forschungsvorhaben Suskey hat einen praxisnahen Ansatz entwickelt, mit dem sich die Nachhaltigkeitsleistung von KMU im Werkzeugbau systematisch erfassen, bewerten und steuern lässt. Im Zentrum steht ein Kennzahlensystem, das die vier Dimensionen Finanzen, Umwelt, Soziales und Governance integriert und die Kreislaufwirtschaft als wesentlichen Faktor für die nachhaltige Transformation des Werkzeugbaus berücksichtigt. Damit wurde eine belastbare Grundlage geschaffen, um Nachhaltigkeit im Werkzeugbau nicht nur qualitativ zu beschreiben, sondern auch konkret steuerbar zu machen.

Die im Projekt gewählte Vorgehensweise hat sich insgesamt bewährt. Insbesondere die aufeinander aufbauende Logik aus Zielbild, Erfolgsfaktoren, Kennzahlen, Datenbasis, Informationsaufbereitung, Handlungsfeldern und Validierung hat sich als geeignet erwiesen, um die Komplexität des Themas schrittweise in eine betriebliche Systematik zu überführen.

Die fortlaufende Validierung mit Unternehmenspartnern trug wesentlich dazu bei, Definitionen, Zuordnungen und Bewertungslogiken frühzeitig zu schärfen und die Anschlussfähigkeit des Systems an die Praxis sicherzustellen.

Im Projektverlauf wurden einzelne Ansätze inhaltlich weiterentwickelt: die Datenqualitätslogik, die vertiefte Betrachtung der Kreislaufwirtschaft als zu priorisierendes Handlungsfeld und die Konkretisierung abteilungsspezifischer Maßnahmen. Diese Weiterentwicklungen stellen jedoch keine grundlegende Änderung der Zielsetzung dar, sondern eine Präzisierung des ursprünglich verfolgten Vorhabens. Die Zielsetzung des Projekts blieb somit bestehen und konnte methodisch weiter konkretisiert werden.

Ein zentrales Ergebnis des Vorhabens ist, dass sich mithilfe des entwickelten Systems nicht nur die Nachhaltigkeitsleistung messen, sondern auch die betrieblichen Handlungsfelder gezielt priorisieren lassen. Insbesondere für die Kreislaufwirtschaft wurde deutlich, dass deren erfolgreiche Umsetzung ein abgestimmtes Zusammenwirken mehrerer Abteilungen sowie eine belastbare Daten- und Informationsbasis erfordert.

Für die weitere Entwicklung bieten sich zwei Anschlussrichtungen an. Einerseits erscheint eine weitere Operationalisierung der Suskey-Logik in Form einer digitalen Anwendung sinnvoll, um die Datenerfassung, -auswertung, -visualisierung und Ableitung von Maßnahmen für Unternehmen effizienter zu gestalten. Andererseits bietet sich die Entwicklung eines profilbasierten Rollen- und Benchmarking-Systems an, mit dem Unternehmen ihren Stand entlang zentraler Erfolgsfaktoren einordnen und gezielt weiterentwickeln können.

Insgesamt zeigt das Vorhaben, dass ein branchenspezifisches, FESG-orientiertes Kennzahlensystem für den Werkzeugbau fachlich fundiert und praktisch anschlussfähig entwickelt werden kann. Suskey schafft somit eine belastbare Grundlage, um die Nachhaltigkeit von Werkzeugbaubetrieben systematisch zu bewerten, Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten und die Wettbewerbsfähigkeit von KMU langfristig unter ökologischen, sozialen, ökonomischen und Governance-bezogenen Gesichtspunkten zu stärken.

## 9. Literatur

- [1] Europäische Union: Verordnung (EU) 2020/852 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2020 über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen (EU-Taxonomie-Verordnung) 2020.
- [2] Bundesrepublik Deutschland: Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten zur Vermeidung von Menschenrechtsverletzungen in Lieferketten 2021.
- [3] Europäische Union: Richtlinie (EU) 2022/2464 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2022 zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 537/2014 sowie der Richtlinien 2004/109/EG, 2006/43/EG und 2013/34/EU hinsichtlich der Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen (Corporate Sustainability Reporting Directive, CSRD) 2022.
- [4] Europäische Kommission: Delegierte Verordnung (EU) 2023/2772 vom 31. Juli 2023 zur Ergänzung der Richtlinie 2013/34/EU hinsichtlich der Nachhaltigkeitsberichterstattungsstandards (European Sustainability Reporting Standards, ESRS) 2023.
- [5] Raworth, K.: Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist (2017).
- [6] Wiese, J.; Brinkmann, M.; Härtel, B. et al.: Suskey – Sustainability KPIs zur Messung und Steuerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau (2024).
- [7] Schreiber, J.; Härtel, B.: Suskey - Sustainability KPIs zur Messung und Steuerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau (2025).
- [8] Boos, W.; Lukas, G.; Kenfenheuer, J. et al.: An Approach To Develop A Vision For Sustainable Tool and Die Manufacturing. Hannover : publish-Ing 2025.
- [9] Schuh, G.; Kenfenheuer, J.; Klisch, L. et al.: Zielbild einer nachhaltigen Werkzeugfertigung/Target vision of sustainable tool manufacturing. wt Werkstattstechnik online 116 (2026), 01-02, S. 30–39.
- [10] Boos, W.; Welling, D.; Kenfenheuer, J. et al.: Nachhaltigkeit im Werkzeugbau messen und steuern (2025).

# 10. Anlagen und Anhang

## Umwelt- und soziale Wesentlichkeit (Ökologische, ökonomische, soziale, Governance Dimension)

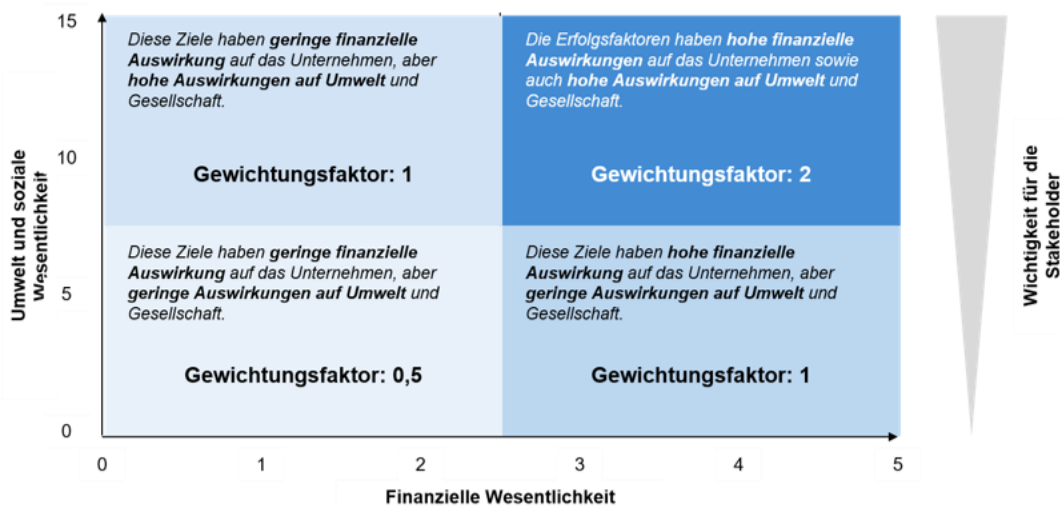
Kategorie	1	2	3	4	5
<b>Scale</b> Ausmaß der Auswirkungen	Minimal	Niedrig	Medium	Hoch	Sehr Hoch
<b>Scope</b> Umfang der Auswirkungen	Lokal/ Limitiert	Regional/ Konzentriert	National/ Mittel	Kontinental/ Weitverbreitet	Global
<b>Irreversibilität</b> Behebbarkeit der Auswirkungen	Relativ einfach zu beheben	Behebung mit Kosten & Zeit verbunden	Schwer zu beheben oder mittelfristig	Sehr schwer zu beheben oder langfristig	Irreversibel

## Umwelt- und soziale Wesentlichkeit (Ökologische, soziale, Governance Dimension)

Kategorie	1	2	3	4	5
<b>Impact</b> Ausmaß der Auswirkungen	Geringer finanzieller Nutzen	Moderater finanzieller Nutzen	Bedeutender finanzieller Nutzen	Hoher finanzieller Nutzen	Sehr hoher finanzieller Nutzen
<b>Probability</b> 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%)

## Umwelt- und soziale Wesentlichkeit (Ökonomische Dimension)

Kategorie	1	2	3	4	5
<b>Impact</b> Ausmaß der Auswirkungen	Geringer finanzieller Nutzen	Moderater finanzieller Nutzen	Bedeutender finanzieller Nutzen	Hoher finanzieller Nutzen	Sehr hoher finanzieller Nutzen
<b>Probability</b> 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%)



Anhang 1: Schematische Darstellung der von uns verwendeten doppelten Wesentlichkeitsanalyse

Dimension	Ziel	Erfolgsfaktor	Kennzahl	Bedeutung	
Finanzen	Nachhaltiges Wachstum	Innovationskultur	Innovationsrate	Umsatzanteil der Innovationen am Gesamtumsatz des Unternehmens	
			Exnovationsquote	Rückbaubedürftige Prozessschritte sind weiche, die hinsichtlich einer ökologischen Bewertung als nicht tragfähig erscheinen. Betrachtet wird die Anzahl gleichwertiger - in Breite und Tiefe - Prozessschritte	
	Kundengewinnung	Neukundenquote	...	Anzahl neuer Kunden / Gesamtkundenanzahl im Berichtszeitraum	
		Produktspektrumsquote	...	Umfang des Produktspektrums bezogen auf die Anzahl Mitarbeitenden im Unternehmen	
Rentabilität	Umsatzsteigerung	Umsatzquote Neukunden	...	Prozentuale Umsatzsteigerung durch Neukunden	
		Umsatzquote neue Märkte	...	Prozentuale Umsatzsteigerung durch die Erschließung neuer Märkte	
	...	...	...	...	
	Gewinnverteilungspolitik	Mitarbeitendenbeteiligungsquote	...	Anzahl der Mitarbeitenden die finanziell beteiligt sind je Gesamtanzahl im Unternehmen	
Umwelt	Finanzielle Teilhabe	Kompensation von CO <sub>2</sub>	Kompensationsquote	Anteil der Emissionen, die durch Kompensationsmaßnahmen ausgeglichen wurden	
			Werkzeugbau-Fußabdruck	CCF [kg CO <sub>2</sub> e] gemessen an der Anzahl Mitarbeitenden im Unternehmen	
	Klimaneutralität	Vermeidung von CO <sub>2</sub>	Werkzeugbau-Fußabdruck	...	CCF [kg CO <sub>2</sub> e] gemessen an der Anzahl Mitarbeitenden im Unternehmen
			Erneuerbareenergienquote	...	Verhältnis genutzter erneuerbarer Energie pro Gesamtenergiebedarf
Soziales	Achtung der Menschenwürde	Vielfalt / Diversität	Diversitätsquote	Verhältnis von Frauen und Männern zu Gesamtanzahl der Mitarbeitenden	
			Barrierefreiheitsquote	Barrierefrei zugängliche Fläche (m <sup>2</sup> ) je Gesamtfläche des Werkzeugbaus	
	Mitarbeitendenzufriedenheit	Krankenstand	Krankenquote	...	Anzahl Krankheitstage je Gesamtanzahl Arbeitstage gemittelt über alle Mitarbeitenden im Unternehmen
			Fluktuationsrate	...	Anzahl von Mitarbeitendenabgänge bezogen auf alle Mitarbeitenden im Unternehmen
Governance	Transparenz	Gesamttransparenz im Betrieb	Werkzeugtransparenz	Anteil der Werkzeuge, für die entlang des Werkzeuglebenszyklus alle verfügbaren Informationen für MA frei zugänglich sind	
			Betriebstransparenz	Anteil für alle MA zugängliche Informationen zu allen Informationen	
	...	...	...	...	
	...	...	...	...	

Anhang 2: Ausschnitt aus der Zuordnung der Kennzahlen zu den Erfolgsfaktoren

<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: right;">           verantwortlich beeinflussend informierend gebrauchend         </div> <div style="text-align: left;">           aktiv aktiv passiv passiv         </div> </div>		Prozesszuordnung											
		Handlungsfelder	Kennzahl	Darstellungsform	Engineering	Konstruktion	AV	Fertigung	Montage	Qualifizierung	Serienbetreuung/ Kundendienst	Refabrikation	Einkauf
Kreislaufwirtschaft	<b>(E2.4.2) Kreislaufquote</b> = (Wiederverwendete Materialien [t] / Gesamtmaterialeinsatz [t]) x 100  Es wird nur genuine Kreisläufe betrachtet, also welche bei denen das Produkt in der Wiederverwendung denselben Qualitätszustand wie vor der Wiederverwendung aufweist.		Standards zu schaffen für den ReUse: Modularer Werkzeugaufbau; Sicherstellung von Demontierbarkeit; Standardisierung von Baugruppen;	Kreislaufgerechte Konstruktion: Welche Standards werden verwendet; Berücksichtigung der Demontierbarkeit der Komponenten;	Wiederverwendung von Bauteilen aus anderen über; Übersicht über vorhandene Kompetenzen und deren Eigenschaften; Auswahl von wiederverwendbaren Komponenten; Anwendung von Tool2Share						Rückführung, Aufbereitung und Bereitstellung der Komponenten an die AV, Anwendung von Tool2Share		
Ressourcenschonung und Emissionsreduktion	<b>(E2.5.1) Abwasser-MA-Verhältnis:</b> Volumen Abwasser [l] / Anzahl MA	Liniendiagramm (Verhältnis über die Zeit)											
Ressourcenschonung und Emissionsreduktion	<b>(E2.6.1) Abwassererschmutzungsgrad:</b> Konzentration aller Schadstoffe im Wasser [mg/L] / Anz. der Schadstoffe	Säulendiagramm: Ein Säulendiagramm ist ideal, um den Abwassererschmutzungsgrad für verschiedene Proben oder Zeiträume zu vergleichen. Jede Säule könnte den Verschmutzungsgrad einer bestimmten Probe darstellen, wobei die Höhe der Säule den Grad der Verschmutzung zeigt.				Aufbereitung von Wasser und Schließung von Wasserkreisläufen							

Anhang 3: Auszug aus der Maßnahmenzuordnung zu den Abteilungen bzgl. Handlungsfeldoptimierung