

Resiliente und nachhaltige Wertschöpfung im Werkzeugbau

Zielbild einer nachhaltigen Werkzeugfertigung

G. Schuh, J. Kenfenheuer, L. Klisch, J. Schreiber, R. Calchera

ZUSAMMENFASSUNG Die industrielle Wertschöpfung orientiert sich traditionell an Kosten, Zeit und Qualität, während Nachhaltigkeit lange als Zusatzlast galt. Zugleich erfordert das volatile Umfeld robuste Ansätze, auch für kleine und mittlere Unternehmen. Der Beitrag zeigt eine Methode, die aus einer FESG-Zielvision strategische Ziele ableitet und in einem partizipativen Prozess 43 Erfolgsfaktoren für den KMU-geprägten Werkzeugbau identifiziert. Der Ansatz bündelt Branchenbesonderheiten und Regulierung zu einem konsistenten Referenzrahmen mit Katalog erfolgskritischer Faktoren für einen zukunftsfähigen, kreislaforientierten Werkzeugbau.

Target vision of sustainable tool manufacturing

ABSTRACT Industrial value creation has traditionally been based on costs, time, and quality, while sustainability has long been considered an additional burden. At the same time, the volatile environment requires robust approaches, even for small and medium-sized enterprises. This article presents a method that derives strategic goals from an FESG target vision and identifies 43 success factors for SME-dominated toolmaking in a participatory process. The approach combines industry-specific characteristics and regulations into a consistent reference framework with a catalog of success-critical factors for sustainable, circular toolmaking.

STICHWÖRTER

Nachhaltigkeit, Werkzeugbau, Werkzeuge

1 Motivation und Stand der Forschung

1.1 Motivation

In den vergangenen rund 250 Jahren hat die Industrialisierung durch das stetige Streben nach Kostenreduktion, Zeiteffizienz und Qualitätssteigerung die wirtschaftliche Entwicklung maßgeblich geprägt. Diese Dynamik führte zu einer ökonomisch sinnvollen Überproduktion, wodurch anhaltendes Wirtschaftswachstum untrennbar mit einem steigenden Ressourcenverbrauch und zunehmenden CO₂-Emissionen verbunden war. [1] Im Zeitraum von 2013 bis 2023 war eine Zunahme des Ressourcenverbrauchs von circa 17 % zu verzeichnen sowie auch eine einhergehende Erhöhung der CO₂-Emissionen um circa 7 %. [2, 3] Mit der stark gestiegenen Produktivität in zahlreichen Industriebranchen sanken Stückkosten und Verbraucherpreise, zugleich nahm die Kaufkraft zu. Dadurch werden Güter häufiger angeschafft als genutzt, so dass Produkte wie zum Beispiel Kleidung, Geräte, Fahrzeuge, Maschinen und selbst Infrastrukturen oft sehr niedrige Auslastungen bis hin zu einstelligen Nutzungsgraden erreichen. [4] Anschaulich zeigt sich dies am Beispiel der Nutzung privater Pkw. Im Jahr 2022 wurden Haushaltsfahrzeuge im Durchschnitt lediglich 64,6 Minuten pro Tag bewegt. Die Fahrzeuge standen damit rund 95 % der Zeit, was einem effektiven Nutzungsgrad von etwa 5 % entspricht. [5] Die Herstellung dieser Güter beansprucht Energie und natürliche Rohstoffe, deren Rückgewinnung technisch und wirtschaftlich häufig nur begrenzt möglich ist, oft verlustbehaftet erfolgt und nicht vollständig in geschlossenen Kreisläufen bleibt. [4] Die effizientere Ressourcennutzung in der

industriellen Fertigung stellt zwar nicht die alleinige Lösung dar, aber ist ein wichtiger Hebel, um klimaschädliche Emissionen zu reduzieren. Vor dem Hintergrund der maßgeblichen Klimawirkung industrieller Wertschöpfung gewinnt dieser Hebel besondere Relevanz. Die Industrie stellt somit einen großen Treiber des Klimawandels dar, welcher seit dem 19. Jahrhundert zu einem signifikanten Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur führt. [6] Im Jahr 2023 lag die globale Mitteltemperatur $+1,45 \pm 0,12^\circ\text{C}$ über dem Referenzwert aus dem Jahr 1850. [7]

Um den Klimawandel und damit den Anstieg der Temperaturen zu vermindern, definieren die Vereinten Nationen im Pariser Klimaschutzabkommen das „Zwei-Grad-Ziel“. Dieses Ziel gibt vor, dass die Differenz der globalen jährlichen Durchschnittstemperatur zu einem Referenzwert aus dem vorindustriellen Zeitalter einen Grenzwert von zwei Grad Celsius nicht überschreiten darf [4]. Zusätzlich hat sich die Europäische Union im Rahmen des Abkommens das Ziel gesetzt, bis 2050 treibhausgasneutral zu wirtschaften [4]. Dies erfordert zunächst ein Umdenken in Bezug auf das kapital- und ressourcenintensive Produktivitätsdenken der Produktionswirtschaft, welches sich zunehmend vom Zukunftsbild der ökologisch bewusst denkenden Gesellschaft differenziert. [6] Die Nachhaltigkeitswende blieb bisher unter anderem aufgrund der noch niedrigen Schlagkraft politischer Forderungen und Sanktionen bisher jedoch aus.

Die wachsende Verankerung von Umwelt-, Sozial- und Governance-Aspekten (ESG) in den Kapitalmärkten zeigt, dass verantwortungsvolles Handeln auch ökonomisch vorteilhaft ist: Kapitalgeber berücksichtigen ESG-Kriterien systematisch, streben lang-

Tabelle Reifegradmodelle zur Nachhaltigkeitsbewertung.

Titel	Autor, Jahr	Schwachstellen
Quantifizierung unternehmerischer Nachhaltigkeit in der Fertigungsindustrie: Entwicklung eines zielorientierten Nachhaltigkeitsindex [9]	Rusche et al., 2021	Der Ansatz beschreibt ein ganzheitliches Kennzahlensystem, ist aber durch seine komplexe, mathematische Beschreibung schwer verständlich und nicht anwendungsfreundlich.
A Holistic approach to corporate sustainability assessment: Incorporating sustainable development goals into sustainable manufacturing performance evaluation [10]	Moldavska und Welo, 2019	Der Ansatz ist am Produktionsprozess orientiert und geht von den SDGs aus, berücksichtigt allerdings zu wenig werkzeugbauspezifische Eigenschaften, wie die Fertigung von Einzel- und Kleinserien.
Integrating sustainability assessments in manufacturing enterprises: A framework approach [11]	Garbie, 2015	Im Modell werden keine Zusammenhänge zwischen den Nachhaltigkeitsdimensionen beschrieben und das Modell lässt sich nicht auf die individuellen Eigenschaften des Werkzeugbaus anpassen.
Organisational sustainability readiness: A model and assessment tool for manufacturing companies [12]	Barletta et al., 2021	Das Modell fokussiert sich auf die organisatorische Reife und misst Nachhaltigkeit mit qualitativen Kriterien, sodass eine möglichst große Objektivität nicht gegeben ist.
A general framework for sustainability assessment of manufacturing processes [13]	Saad et al., 2019	Der Aufwand bei der Anwendung des Modells ist im Vergleich zum erreichten Nutzen sehr hoch. Zudem ist eine organisatorische Einbindung in den Betrieb zur Optimierung des gesamten Unternehmens durch den Fokus auf den Produktionsprozess schwierig umzusetzen.
Nachhaltigkeitsbenchmarking für mittelständische Unternehmen	Kohl et al., 2021	Der Ansatz zeichnet sich in Praxis durch seinen akademischen Aufbau und großen Aufwand aus. Zudem werden KMUs, jedoch nicht die werkzeugbauspezifischen Anforderungen berücksichtigt.

fristig stabile Renditen an und setzen so finanzielle Anreize für ganzheitliche Nachhaltigkeit [7]. Parallel verpflichtet die EU-Richtlinie 2022/2464 (CSRD) Unternehmen stufenweise zur Nachhaltigkeitsberichterstattung; ab 2026 betrifft dies auch börsennotierte KMU sowie sonstige Unternehmen, die zwei von drei Kriterien erfüllen. Diese Kriterien sind eine Mitarbeitendenzahl von mehr als zehn ständig Beschäftigten, ein jährlicher Umsatz von mehr als 700 000 Euro und eine finanzielle Bilanzsumme von mehr als 350 000 Euro. [8]. Das Inkrafttreten dieser Richtlinie betrifft somit ungefähr 50 000 Betriebe in der Europäischen Union (EU). [9] Der Werkzeugbau ist davon besonders berührt, weil er als Befähiger der Serienfertigung fungiert und stark von kleinen und mittleren Unternehmen geprägt ist, wodurch gesellschaftlicher und regulatorischer Druck zusammenwirken und transparente, messbare Nachhaltigkeitsansätze erforderlich machen [10].

Aus der zentralen Rolle als Befähiger der Serienproduktion folgt, dass die konsequente Ausrichtung auf Nachhaltigkeit hier besonders wirksam ist, weil der Werkzeugbau als vorgelagerte Instanz die späteren Serienprozesse technisch vorgibt. Werkzeuge determinieren Prozessfenster, Zykluszeiten, Ausschussquoten und Energieeinsatz pro Teil. Neben der hohen Bedeutung besteht auch ein klarer Handlungsbedarf. In den Ergebnissen des Wettbewerbs „Excellence in Production“ für den Titel „Werkzeugbau des Jahres“ wird deutlich, dass weniger als die Hälfte der Werkzeugbaubetriebe aus dem deutschsprachigen Raum angibt, sowohl die erzeugten Emissionen zu messen [8]. Das systematische Erfassen

nachhaltiger Kennzahlen bleibt häufig aus, weil der Aufwand als zu hoch gilt, klare Vorgehenspläne und Ressourcen fehlen sowie Zuständigkeiten unklar sind. In Summe entsteht in der Branche folglich die Notwendigkeit, Nachhaltigkeit standardisiert messbar zu machen, Berichtspflichten eigenständig zu erfüllen und dabei wettbewerbsfähig zu bleiben. Ein übergeordnetes Nachhaltigkeitsreifegradmodell im Werkzeugbau, welches den Reifegrad von Unternehmen mithilfe eines Kennzahlensystems unter Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Gesichtspunkte bestimmt, kann den Unternehmen dieser Branche neben der Erfüllung der gesetzlichen Berichtspflichten dabei helfen, eine Vielzahl an vorhandenen Nachhaltigkeitspotenzialen eigenständig zu erkennen und auszuschöpfen. Die sich ergebenden Potenziale sind dabei von ökonomischer und ökologischer Natur.

1.2 Stand der Forschung

Nachfolgend werden Reifegradmodelle zur Nachhaltigkeitsbewertung in produzierenden Unternehmen vorgestellt. Diese bestehenden Ansätze liefern wertvolle Impulse, erreichen in der Branche Werkzeugbau jedoch häufig ihre Grenzen: Einzel- und Kleinserien, projektgetriebene Abläufe, hohe Variantenvielfalt und lange Werkzeuglebensdauern stellen spezifische Anforderungen an Verständlichkeit, Datenanschluss und Anwendbarkeit. Die Übersicht in der **Tabelle** bündelt repräsentative Modelle und skizziert ihre Eignung aus Sicht des Werkzeugbaus.

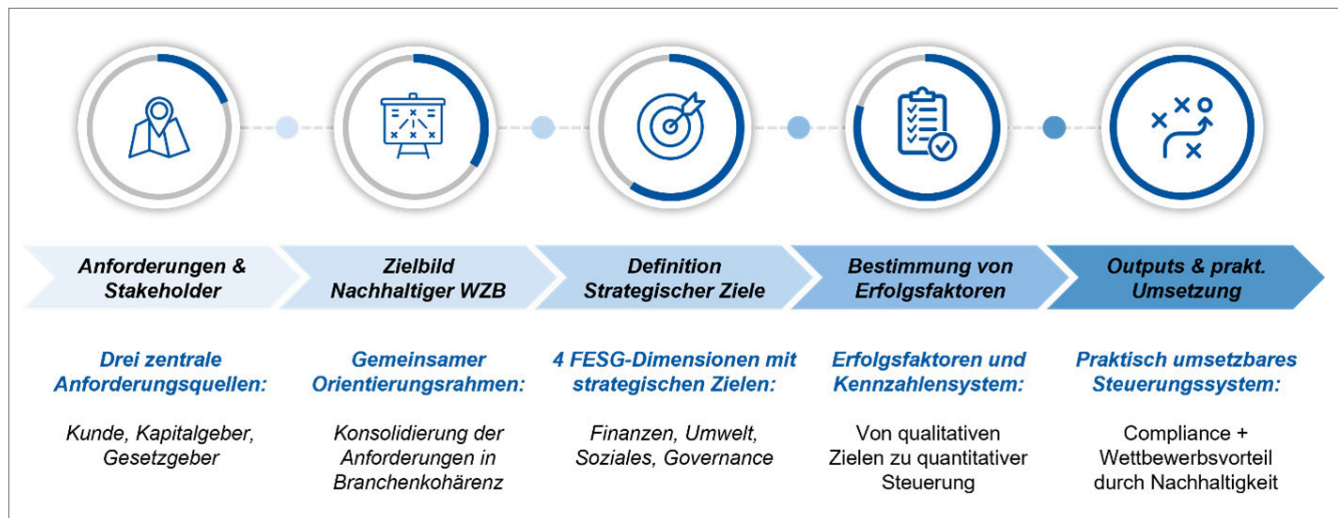


Bild 1 Systematisches Vorgehen zur Befähigung nachhaltiger Werkzeugfertigung. Grafik: WZL/RWTH Aachen

Die vorhandenen Modelle scheitern im Werkzeugbau oft an der Passung zwischen Annahmen und Realität. Viele Konzepte setzen eine stabile Linienfertigung voraus; im Umfeld von Unikaten und Kleinserien lassen sich Verbräuche und Wirkungen aber nicht ohne Weiteres eindeutig zuordnen. Hinzu kommt, dass die geforderten Datenanforderungen selten den betrieblichen Gegebenheiten entsprechen: Relevante Informationen entstehen auftrags- und maschinennah, sind heterogen und nicht zentral harmonisiert. Wo bestehende Modelle zusätzlich hohe mathematische Komplexität oder schwer abbildbare, qualitative Bewertungsverfahren verlangen, verschiebt sich das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand. Dies gestaltet die Überführung bestehender Modelle in den Alltag als einsetzbares Modell unattraktiv und zu aufwendig. Eine weitere grundlegende Lücke besteht darin, dass Wechselwirkungen zwischen finanziellen, ökologischen, sozialen und Governance-Aspekten nur begrenzt abgebildet werden, obwohl genau diese Zielkonflikte die Praxis prägen. In Summe fehlt damit bisher eine Praxistauglichkeit, da die Ansätze keine robuste Grundlage bieten, um Nachhaltigkeit im Werkzeugbau verlässlich zu bewerten und zu steuern. Gefordert ist ein Vorgehen, das vom branchenspezifischen Profil des Werkzeugbaus ausgeht, an real verfügbare Daten anschließt und mit klaren Begriffen sowie moderatem Aufwand zu belastbaren und vergleichbaren Ergebnissen führt. Genau hier setzt die Methodik an, welche im Folgenden erläutert wird.

2 Systematische Vorgehensweise zur Befähigung nachhaltiger Werkzeugfertigung

In Kapitel 1 wurden die Treiber für einen nachhaltigen Werkzeugbau sowie bestehende Lücken und der Stand der Forschung aufgezeigt. Für die Praxis braucht es einen verständlichen Rahmen, der Orientierung gibt und Entscheidungen erleichtert. Kapitel 2 führt dafür ein dreistufiges Vorgehen ein. Im ersten Schritt wird ein greifbares Zielbild für einen nachhaltigen, zirkulären Werkzeugbau präsentiert. Nachfolgend wird eine klar strukturierte Vorgehenslogik, die die Dimensionen eines nachhaltigen Werkzeugbaus mit konkreten strategischen Zielen verknüpft, aufgezeigt. Im letzten Schritt werden dann erfolgskritische Faktoren mit zugehörigen Messgrößen hergeleitet.

Der gewählte Ansatz zielt darauf ab, Nachhaltigkeit nicht als isolierte Compliance-Aufgabe, sondern als ganzheitliches Steuerungssystem für Werkzeugbaubetriebe zu etablieren. Dies wird durch eine durchgängige Übersetzungslogik erreicht, die externe Anforderungen konsistent in operative Realität überführt. Bestehende Modelle scheitern im Werkzeugbau häufig an einer fundamentalen Entkopplung. Sie addieren isolierte Nachhaltigkeitsdimensionen, statt sie zu integrieren, ignorieren die Simultanität von Profitabilität und Ökologie oder setzen idealisierte Voraussetzungen voraus, die in KMU-Realitäten nicht zutreffen. Das gewählte Vorgehen etabliert ein konsistentes Bezugssystem, in dem jede Ebene von externen Anforderungen über gemeinsames Zielbild und strategische Ziele bis zu operativen Erfolgsfaktoren mit allen anderen verbunden sind.

Dies hat drei zentrale Effekte zur Folge. Erstens werden widersprüchliche externe Anforderungen in einen kohärenten, branchengerechten Rahmen integriert. Zweitens werden alle Nachhaltigkeitsdimensionen gleichberechtigt behandelt, ohne dass künstliche Hierarchien entstehen. Drittens sorgt die iterative Validierung dafür, dass Theorie und Praxis nicht divergieren. Das Resultat ist ein Steuerungssystem, das regulatorische Compliance mit betriebswirtschaftlicher Relevanz verbindet und KMU dazu befähigt, Nachhaltigkeit als Wettbewerbsvorteil zu internalisieren, anstatt sie als externe Last wahrzunehmen. Der Zusammenhang der einzelnen Vorgehenselemente wird in **Bild 1** dargestellt.

2.1 Zielbild nachhaltiger Werkzeugbau

Ausgangspunkt ist ein Zielbild, das die Realität des Werkzeugbaus berücksichtigt: Einzel- und Kleinserien, hohe Variantenvielfalt, tiefe Abhängigkeiten in Lieferketten und die Schlüsselposition zwischen Entwicklung und Serie. Methodisch wird zunächst eine Stakeholderperspektive aufgebaut. Dazu werden Kundenerwartungen sowie Anforderungen aus den Bereichen Finanzierung und Gesetzgebung gesammelt, entlang wiederkehrender Themen strukturiert und in nachvollziehbare Kategorien überführt. Daraus leiten sich Muss-, Soll- und Kann-Anforderungen ab. Auf dieser Grundlage entsteht ein konsistentes Zielbild, das Orientierung bietet und zugleich Spielräume für betriebliche Prioritäten lässt.

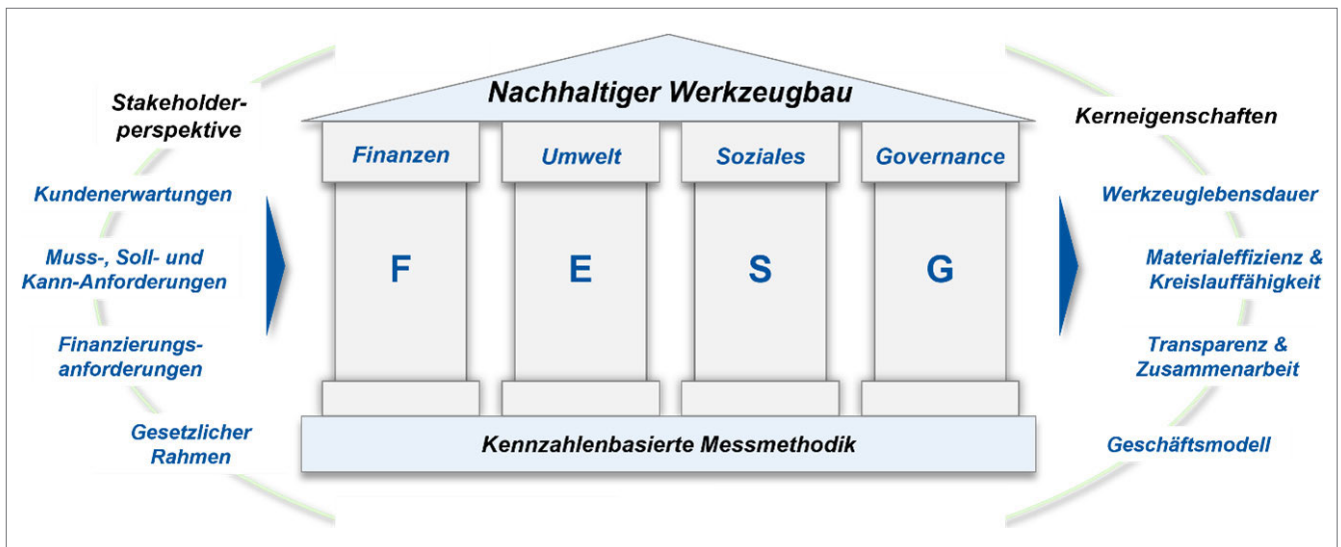


Bild 2 Zielbild eines nachhaltigen Werkzeugbaus. Grafik: WZL/RWTH Aachen

Parallel werden bestehende Prinzipien nachhaltiger Industrievorhaben gesichtet und an die Besonderheiten des Werkzeugbaus gespiegelt. Zielkonflikte werden hierbei bewusst nicht ausgeblendet, sondern sichtbar gemacht. Das Zielbild bleibt im Rahmen dessen bewusst pragmatisch, indem die Dimensionen Finanzen, Umwelt, Soziales und Governance betrachtet. Hierbei werden keine harten planetaren oder sozialen Grenzwerte vorgegeben, um Handlungsspielräume in heterogenen KMU-Kontexten zu bewahren. Alle vier Dimensionen werden gleichberechtigt berücksichtigt, damit Handlungsfähigkeit erhalten bleibt, wenn Anforderungen wie beispielsweise CO₂ Reduktion, Termintreue und Liquidität zugleich gesichert werden sollen. Die Stakeholderperspektive fließt systematisch ein, indem Kundenerwartungen, Finanzierungsanforderungen und der gesetzliche Rahmen zu Muss-, Soll- und Kann-Anforderungen zusammengefasst werden, die Orientierung geben und betriebliche Spielräume wahren. Inhaltlich bündelt das Zielbild vier Kerneigenschaften (vgl. Bild 1). Erstens wird die Werkzeuglebensdauer durch modulare Auslegung, Reparierbarkeit und Aufrüstbarkeit erhöht, so dass Instandsetzung, Retrofit und Wiederverwendung planbar werden und der Einsatz von Ressourcen über den Lebenszyklus sinkt. Zweitens werden die Materialeffizienz und Kreislauffähigkeit durch eine materialarme Konstruktion, eine prozesssichere Bearbeitung und eine auftragsnahe Erfassung der Stoffströme erhöht. Dies wird durch eine qualitätsgesicherte Rückführung mit sortenreiner Trennung und definierten Rücknahmewegen ergänzt. Drittens wird durch klare Verantwortlichkeiten, verlässliche Datenflüsse, kontinuierliches Lernen und abgestimmte Kommunikation über Bereichsgrenzen hinweg Transparenz und Zusammenarbeit geschaffen, was Wissen erhält, Sicherheit stärkt und Prozessfähigkeit stabilisiert. Viertens wird ein Geschäftsmodell mit tragfähigen Erlösen und Service-Logiken angestrebt, die Verfügbarkeit, Lebenszykluskosten und Materialkreisläufe verbinden. Dadurch werden wirtschaftliche Anreize für Langlebigkeit, Rückführung und hohe Wiederverwendungsquoten geschaffen. Diese Kerneigenschaften wirken über mehrere Bewertungsdimensionen hinweg zusammen und verstärken sich gegenseitig. Eine kennzahlenbasierte Messmethodik bildet das Fundament, verbindet das Zielbild mit der operativen Realität und macht Fortschritte vergleich-

bar, Zielkonflikte transparent und Anpassungen an neue Rahmenbedingungen möglich. Das Zielbild wird in **Bild 2** visualisiert.

Im weiteren Vorgehen dient das Zielbild als belastbarer Bezugspunkt. Darauf aufbauend lassen sich strategische Ziele ableiten, erfolgskritische Faktoren bestimmen und die Zielerreichung messbar machen. Die konsequente Einbindung relevanter Stakeholder schärft die Praxisnähe und überführt die Ergebnisse in einen systematischen Katalog. Regelmäßige Reviews halten das Zielbild aktuell und ermöglichen Anpassungen an neue Rahmenbedingungen. [14]

2.2 Definition von strategischen Zielen zur Umsetzung des Zielbilds

Aufbauend auf dem Zielbild werden strategische Nachhaltigkeitsziele für den Werkzeugbau formuliert und darauf bezogene Erfolgsfaktoren identifiziert. Methodisch wird hierfür ein partizipatives, mehrstufiges Vorgehen eingesetzt:

- (i) Durchführung branchenrepräsentativer Workshops zur systematischen Erhebung, Validierung und Priorisierung domänenspezifischer Anforderungen.
- (ii) Vertiefung der Anforderungen aus Schritt (i), indem moderierte Fokusgruppen entlang des Zielbildes mit Schwerpunkt Kreislaufwirtschaft gebildet werden.
- (iii) Erweiterung und Ergänzung der Ergebnisse aus Schritt (ii) durch einen normativen Abgleich mit regulatorischen Querschnittsanforderungen (CSRD/ESRS, Sustainable Finance, Lieferkettensorgfalt).
- (iv) Ableitung von Zielen, welche zur Erfüllung der FESG-Ziele aus dem Zielbild beitragen auf Basis der Informationsgrundlage aus (i) bis (iii).

Dieses Vorgehen folgt dem Prinzip, eine Zielvision anhand der Stakeholderanforderungen zu entwickeln und sie eng mit Erfolgsfaktoren zu verknüpfen, damit die Umsetzung praxisorientiert bleibt. Dieses Vorgehen wird in **Bild 3** dargestellt.

Das Vorgehen zur Identifikation der strategischen Ziele wurde im ersten Halbjahr 2024 iterativ mit drei Werkzeugbaubetrieben umgesetzt und in mehreren Schleifen gemeinsam mit den Beteiligten verfeinert. Zu Beginn des Vorgehens wird in einem branchenspezifischen Workshop Perspektiven aus unterschiedlichen

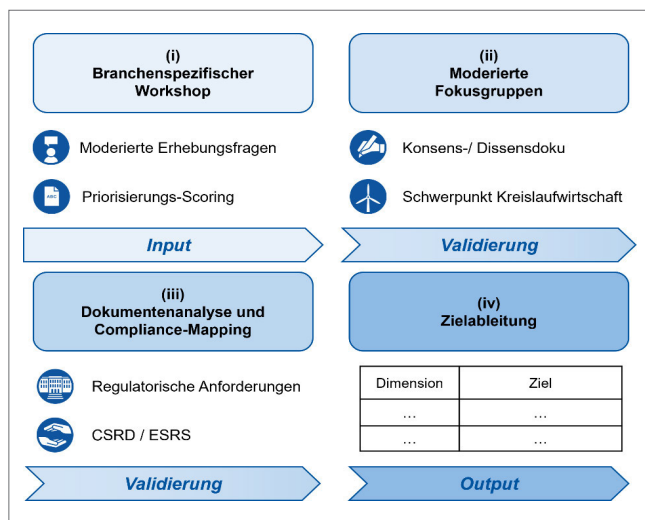


Bild 3 Vorgehen zur Identifikation strategischer Ziele basierend auf dem gewählten Zielbild. Grafik: WZL/RWTH Aachen

Betrieben des Werkzeugbaus gebündelt und ein gemeinsames Verständnis des Zielbilds und seiner FESG-Dimensionen geschaffen. Spezifische Anforderungen der Werkzeugbaubranche werden strukturiert erhoben und nach Relevanz priorisiert. Daraufhin werden diese Ergebnisse in einem Workshop in moderierten Fokusgruppen vertieft und in präzise Zielaussagen überführt. Dies macht Zielkonflikte sichtbar und legt damit Umfang, Ressourcen und Verantwortlichkeiten skalierbar fest. Anschließend werden die konsolidierten Ziele gegen Berichtspflichten, Finanzierungsanforderungen und Sorgfaltspflichten gespiegelt, um Begriffe, Datenpunkte und Zuständigkeiten zu präzisieren und Offenlegungslücken zu schließen. Zum Abschluss werden Stakeholderanforderungen und regulatorische Vorgaben zusammengeführt und in einer Ziel-Matrix transparent abgebildet. Dort sind die finalen Ziele eindeutig den Dimensionen Finanzen, Umwelt, Soziales und Governance zugeordnet. Die Matrix dient als belastbarer Ausgangspunkt für die anschließende Herleitung von Erfolgsfaktoren und Messgrößen.

Das Vorgehen verdichtet heterogene Erwartungen und regulatorische Vorgaben zu einem klaren Zielrahmen für den Werkzeugbau. Die Ziele sind fachlich konsistent, auf Daten und Nach-

weisen verankert und nach FESG eindeutig zugeordnet. Dadurch entsteht Transparenz über Prioritäten, Schnittstellen und potenzielle Zielkonflikte, zugleich bleibt die Umsetzung für Betriebe unterschiedlicher Größe skalierbar. Der Zielrahmen bildet die methodische Brücke zur nächsten Stufe, in der erfolgskritische Faktoren und passende Messgrößen systematisch hergeleitet werden.

2.3 Entwicklung der Erfolgsfaktoren

Die Ausarbeitung der Erfolgsfaktoren basiert auf dem in Kapitel 2.2 beschriebenen partizipativen Vorgehen und nutzt das Zielbild als gemeinsamen Referenzrahmen. Im Zentrum steht ein branchenrepräsentatives Arbeitstreffen, das Perspektiven aus unterschiedlichen Betriebssituationen des Werkzeugbaus zusammenführt. Das Ziel besteht in der Ermittlung von Bedingungen und Hebeln, die Betriebe wirksam dazu befähigen, nachhaltiger und kreislaufforientierter zu wirtschaften.

Das zugrunde liegende Vorgehen zur Entwicklung der Erfolgsfaktoren wurde im dritten Quartal 2024 erneut mit den drei Werkzeugbaubetrieben durchgeführt. Das Vorgehen zur Entwicklung der Erfolgsfaktoren erfolgt in drei kompakten Phasen. Zunächst werden in der Auftaktphase die Ergebnisse aus Workshop und Fokusgruppen konsolidiert, sprachlich vereinheitlicht und einer Taxonomie aus Organisation, Prozess, Technologie und Lieferkette zugeordnet. Hierbei werden Überschneidungen bereinigt, Lücken im Abgleich mit den in Kapitel 2.2 definierten Zielen systematisch identifiziert und pro Aussage Zielbezug, Wirkmechanismus und erste Messideen festgehalten. In der anschließenden Vertiefungsphase werden in moderierten Gruppen die gesammelten Erfolgsfaktoren zu den relevantesten Faktoren zusammengefasst. Die Auswahl basiert auf klaren Auswahlkriterien wie zum Beispiel Beeinflussbarkeit, nachvollziehbarer Wirkzusammenhang und grundsätzliche Messbarkeit. In der Konsolidierungsphase erfolgt die Zuordnung der Erfolgsfaktoren zu den FESG-Dimensionen sowie die Prüfung auf Vollständigkeit und Dopplungsfreiheit über die Wirkfelder. Jeder Faktor wird in einer kompakten Steckkarte dokumentiert mit Titel, Wirkfeld, FESG-Zuordnung, intendiertem Nutzen, typischen Anwendungsfällen, Voraussetzungen und möglichen Zielkonflikten. **Bild 4** verdeutlicht grafisch das dreistufige Vorgehen.

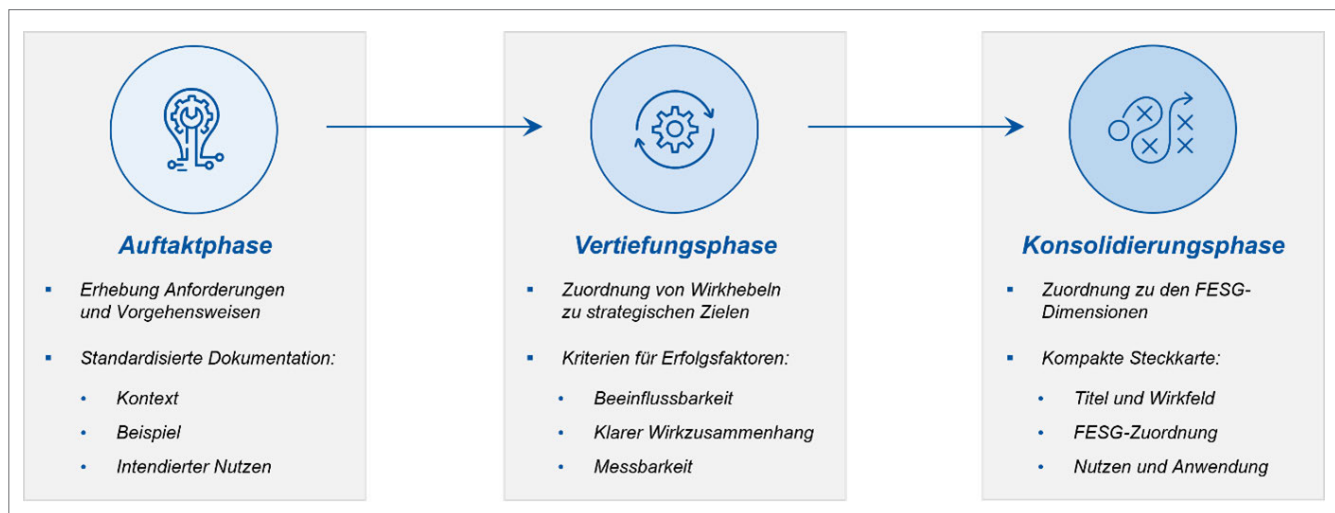


Bild 4 Vorgehen zur Ableitung von Erfolgsfaktoren basierend auf den strategischen Zielen. Grafik: WZL/RWTH Aachen



Bild 5 Strategische Ziele für die FESG-Dimensionen. Grafik: WZL/RWTH Aachen

3 Resultate

Aufbauend auf der in Kapitel 2 präsentierten Methodik werden nun die erarbeiteten Ergebnisse vorgestellt. Gemäß dem definierten Zielbild eines nachhaltigen Werkzeugbaus werden zugehörige strategische Ziele sowie auch hierfür notwendige Erfolgsfaktoren vorgestellt.

3.1 Ergebnisse der Ableitung dimensionsspezifischer Ziele

Auf Basis der vier FESG-Dimensionen entstehen klar abgegrenzte strategische Ziele, die die jeweilige Ausrichtung der Dimension widerspiegeln. In den Dimensionen Finanzen, Soziales und Governance werden jeweils vier Ziele formuliert, in der Dimension Umwelt zwei Ziele. Die Gesamtheit der Ziele ist in **Bild 5** zusammengefasst.

Die finanzielle Dimension umfasst vier Kernaussrichtungen: nachhaltiges Wachstum, Rentabilität, finanzielle Teilhabe und einen positiven Beitrag zum Gemeinwesen. Zusammen bilden sie den vollständigen Rahmen für wirtschaftliche Resilienz im Werkzeugbau. Im Rahmen dieser Dimension beschreibt nachhaltiges Wachstum die langfristige Schaffung von Wert sowie die Stabilisierung der Auftragslage und der Investitionsfähigkeit. Rentabilität bezeichnet die Fähigkeit eines Unternehmens, aus seinem eingesetzten Kapital dauerhaft Gewinne zu erwirtschaften. Dies ist ein notwendiges wirtschaftliches Ziel, um langfristig am Markt bestehen zu können. Das Ziel der finanziellen Teilhabe steht für eine faire Verteilung der Wertschöpfung innerhalb der Belegschaft und in der Region. Es stärkt die Bindung, die Leistungsbereitschaft sowie die Bereitschaft, Verbesserungen aktiv mitzutragen. Der positive Beitrag zum Gemeinwesen umfasst Steuern, Engagement und Partnerschaften vor Ort und erhöht Akzeptanz, Planungssicherheit sowie Finanzierungsmöglichkeiten. Insgesamt sichern diese vier Ziele die Ertragskraft, Stabilität, Motivation und Reputation eines Unternehmens und machen Investitionen in Nachhaltigkeit verlässlich planbar.

Die ökologische Dimension hat die beiden Ziele Klimaneutralität und Ressourcenschonung im Fokus. Klimaneutralität bedeutet, Emissionen zu vermeiden und zu mindern sowie eine verantwortbare Restkompensation entlang des gesamten Lebenszyklus des Werkzeugs zu gewährleisten. Dadurch wird der CO₂-Fußabdruck je Teil durch energieeffiziente Prozesse, grüne Bezugsquellen und emissionsarme Logistik gesenkt. Damit adressiert das Ziel den naheliegendsten Hebel ökologischer Wirkung in der Dimension Umwelt und macht Fortschritte über belastbare Emis-

sionsbilanzen unmittelbar mess- und steuerbar. Das Ziel der Ressourcenschonung richtet den Blick auf Materialeffizienz, hochwertige Kreislaufführung, Remanufacturing und saubere Stoffströme. Dieses Ziel ist von zentraler Bedeutung, da es den Stoff- und Energieeinsatz je Funktionsleistung verringert, die Abhängigkeit von Primärrohstoffen reduziert und somit die ökologische Leistungsfähigkeit nachhaltig stabilisiert. Die geringere Zahl an Zielen mindert deren Bedeutung nicht, denn beide Ziele bündeln zentrale Unterthemen wie Demontierbarkeit, Recyclingqualität und Materials substitution.

Die soziale Dimension umfasst die Achtung der Menschenwürde, die Zufriedenheit der Mitarbeitenden, die Arbeitssicherheit und die Entwicklung der Mitarbeitenden. Das Ziel der Achtung der Menschenwürde verankert faire Arbeitsbedingungen im Betrieb und in der Lieferkette, stärkt das Vertrauen und macht den Arbeitgeber attraktiver. Mitarbeitende, die zufrieden sind, erleben Wertschätzung und stimmige Arbeitsbedingungen. Dies führt zu einer höheren Bindung, geringeren Rekrutierungs- und Einarbeitungskosten und einer stabileren Teamleistung. Dies ist eine zentrale Voraussetzung für stabile, sichere und dauerhaft leistungsfähige Organisationen in der sozialen Dimension. Arbeitssicherheit steht für präventiven Gesundheits- und Unfallschutz, reduziert Ausfallzeiten, Fehlerquoten und Störungen im projektgetriebenen Geschäft und ist somit ebenfalls von zentraler Bedeutung. Die Entwicklung der Mitarbeitenden umfasst Qualifizierung und Wissensweitergabe, beschleunigt Einarbeitungen, sichert Spezialwissen und fördert Innovation. Zusammen spannen die vier Ziele den Bogen von Schutz und Teilhabe bis hin zu Befähigung und Erhöhung der Produktivität, Qualität und Veränderungsfähigkeit.

Zur Governance-Dimension zählen Solidarität und Gerechtigkeit, ethische Sinnhaftigkeit, Teilhabe an Entscheidungen sowie Transparenz. Solidarität und Gerechtigkeit zielen auf faire Liefer- und Kundenbeziehungen ab. Dies fördert eine verlässliche und respektvolle Zusammenarbeit aller Beteiligten. Dadurch wird eine vertrauensvolle Basis geschaffen, um ökologische und soziale Verbesserungen dauerhaft und wirksam umzusetzen. Das Ziel der ethischen Sinnhaftigkeit besteht darin, Kundenbeziehungen partnerschaftlich und verantwortungsvoll zu gestalten, unlautere Praktiken zu vermeiden und durch Umweltmanagement, ressourcenschonende Prozesse sowie transparente Interessenvertretung messbaren Nutzen für Kunden und die Gesellschaft zu schaffen. Dies stärkt integrale Entscheidungsprozesse, schafft belastbares Vertrauen in der Lieferkette und lenkt Investitionen verlässlich in ökologische und soziale Verbesserungen. Dadurch entsteht langfristig ein tragfähiger, nachhaltiger Werkzeugbau. Die Teilhabe an

Entscheidungen nutzt die kollektive Intelligenz, steigert die Bereitschaft zur Umsetzung und verbessert die Qualität operativer und strategischer Beschlüsse. Transparenz schafft nachvollziehbare Daten- und Entscheidungswege und sichert Audit- und Berichtsfähigkeit auf belastbarer Grundlage. Vor dem Hintergrund steigender Berichterstattungsanforderungen gewinnt dieses Ziel auch in Zukunft immer weiter an Relevanz. Im Ergebnis entsteht ein verlässlicher Steuerungsrahmen, der Vertrauen aufbaut, Entscheidungen beschleunigt und die Nachweisbarkeit der Nachhaltigkeitsleistung über die gesamte Wertschöpfung verbessert.

3.2 Ergebnisse der Ausarbeitung zielspezifischer Erfolgsfaktoren

Die Identifikation der zugehörigen Erfolgsfaktoren gemäß dem Vorgehen aus Kapitel 2.3 baut auf den definierten Zielen der vier FESG-Dimensionen auf. Erfolgsfaktoren beschreiben die zentralen Hebel, mit denen ein strategisches Ziel in die betriebliche Praxis übertragen wird. Jedes Ziel ist mindestens einem und in der Regel mehreren Erfolgsfaktoren zugeordnet, so dass Wirkungsketten transparent werden. Das Ergebnis umfasst 43 Erfolgsfaktoren, davon 14 im Bereich Finanzen, 7 im Bereich Umwelt, 11 im Bereich Soziales und ebenfalls 11 im Bereich Governance. **Bild 6** präsentiert die Gesamtheit der Erfolgsfaktoren in den jeweiligen Dimensionen und gemäß den zugehörigen strategischen Zielen noch einmal in kondensierter Form.

Die Ziele der finanziellen Dimension, nachhaltiges Wachstum, Rentabilität, finanzielle Teilhabe und positiver Beitrag zum Gemeinwesen, werden durch klar abgegrenzte Erfolgsfaktoren vertieft. Nachhaltiges Wachstum basiert auf den Faktoren Innova-

tionskultur, Kundengewinnung, Erschließung neuer Märkte, Diversifizierung, Rücklagenbildung, Anpassungsfähigkeit und kontinuierlicher Verbesserung. Die Innovationskultur ist für dieses Ziel von zentraler Bedeutung, da sie neue Wertangebote schafft und Wachstumsquellen öffnet. Eine systematische Kundengewinnung stabilisiert den Auftragseingang und trägt direkt zum Wachstumspfad bei. Neue Märkte reduzieren marktspezifische Risiken und machen das Wachstum robuster. Die Diversifizierung des Produktspektrums verteilt Risiken und verbreitert die Umsatzbasis. Der Erfolgsfaktor Rücklagenbildung ermöglicht Investitionen in Produktivität und Kreislaufprozesse und sichert somit die Wachstumsfähigkeit. Die Sicherstellung von Anpassungsfähigkeit verkürzt die Reaktionszeiten bei Nachfrageschwankungen und schützt die Wachstumsziele. Kontinuierliche Verbesserung senkt Verluste im Prozess und steigert die Wertschöpfung pro Ressource. Das Ziel der Rentabilität basiert auf den Erfolgsfaktoren Umsatzsteigerung, Kostensenkung, effizienten Arbeitsprozessen und einer transparenten Leistungsbewertung. Eine Umsatzsteigerung hebt die Ergebnismarge, eine Kostensenkung verbessert den Deckungsbeitrag und effiziente Prozesse reduzieren die Gemeinkosten pro Auftrag. Durch den Faktor der Leistungsbewertung werden Ertragsquellen sichtbar und Ressourcen werden auf profitable Produkte und Services gelenkt. Die finanzielle Teilhabe beruht auf Teilhabe-Modellen und einer fairen Gewinnverteilung. Diese Faktoren sind für das Ziel relevant, da sie die Bindung, Eigeninitiative und den Produktivitätsbeitrag der Mitarbeitenden erhöhen und somit die finanzielle Basis verbreitern. Ein positiver Beitrag zum Gemeinwesen basiert auf verlässlichen Steuerleistungen, freiwilligen Beiträgen und regionalen Projekten. Diese Elemente sind relevant, da sie

Finanzen	Umwelt	Soziales	Governance
Nachhaltiges Wachstum - Innovationskultur - Kundengewinnung - Erschließung neuer Märkte - Diversifiziertes Werkzeugspektrum - Rücklagenbildung - Kontinuierliche Verbesserung - Anpassungsfähigkeit Rentabilität - Kostenoptimierung - Umsatzsteigerung - Effiziente Arbeitsprozesse - Transparente Leistungsbewertung Finanzielle Teilhabe - Gewinnverteilungspolitik - Finanzielle Solidarität - Leistungsbewertung - Finanzielle Abgaben an das Gemeinwesen - Teilhabe der Gesellschaft: Verbesserung der Infrastruktur	Klimaneutralität - Kompensation von CO₂ - Vermeidung von CO₂ Ressourcenschonung - Exnovation - Ressourcenoptimierung - Kreislaufwirtschaft - Sauberes Wasser - Saubere Luft / Luftemissionen - Weniger Landnutzung	Achtung der Menschenwürde - Mitgestaltung: Teilhabe als Teil würdiger Arbeit / Keine Verletzung der Menschenwürde in Zulieferkette - Vielfalt / Diversität - Gleichberechtigung - Gute Arbeitsbedingungen Mitarbeitendenzufriedenheit - Interne Besetzung von Positionen - Betriebszugehörigkeit: Fluktuationsrate - Niedriger Krankenstand Arbeitssicherheit - Sichere Prozesse - Barrierefreiheit - Gesundheitsprogramme - Förderung der Gesundheit Entwicklung der Mitarbeitenden - Weiterbildungsprogramme	Solidarität und Gerechtigkeit - Rechtzeitige Zahlung - Aufsichtsstrukturen: Zielsetzung & Leistungsmanagement⁴ Ethische Sinnhaftigkeit - Aufsichtsstrukturen: Umweltmanagement & -richtlinien - Ethische Partnerschaften zu Lieferanten & Kunden - Spenden und Lobbyarbeit: Unternehmensführung & Engagement Teilhabe an Entscheidungen - Einbindung der Mitarbeitenden - Vorhandensein eines Betriebsrats Transparenz - Transparenz des Zahlungsverkehrs - Transparenz bzgl. Eigentum und Mitentscheidung - Transparenz der Kundenmitwirkung und Werkzeugtransparenz - Gesamttransparenz im Betrieb

Bild 6 Erfolgsfaktorenzuordnung gemäß der jeweiligen Bereiche. Grafik: WZL/RWTH Aachen

Akzeptanz, Netzwerke und den Fachkräftenachwuchs stärken und somit die wirtschaftliche Resilienz des Werkzeugbaus absichern.

Die Umwelt-Dimension bündelt die Ziele Klimaneutralität und Ressourcenschonung und macht sie durch klar definierte Erfolgsfaktoren zu umsetzbaren Hebeln im Werkzeugbau. Klimaneutralität wird durch die Vermeidung und Kompensation von CO₂ erreicht. Dabei ist Vermeidung vorrangig, da Effizienz, erneuerbare Energien und stabile Prozesse Emissionen an der Quelle reduzieren. Kompensation ist ergänzend relevant, da sie unvermeidbare Restemissionen bilanziell neutralisiert und den Pfad zu Netto-Null schließt. Ressourcenschonung basiert auf Ressourcenoptimierung, Kreislaufwirtschaft, sauberem Wasser, weniger Abwasser und geringer Flächeninanspruchnahme. Ressourcenoptimierung ist für dieses Ziel von großer Bedeutung, da sie den Materialeinsatz je Funktionsleistung senkt. Die Kreislaufwirtschaft ist relevant, da durch Remanufacturing und sortenreine Rückführung der Bedarf an Primärrohstoffen sinkt. Sauberes Wasser und weniger Abwasser sind ebenfalls wichtige Faktoren, da sie die Umweltauswirkungen der Prozesse mindern und den Aufbereitungsaufwand reduzieren. Eine geringe Flächeninanspruchnahme schützt die Biodiversität und verbessert die Genehmigungsfähigkeit. Zusammen bündeln diese Faktoren die wichtigsten Hebel eines material- und energieintensiven Werkzeugbaus und tragen direkt zur Zielerreichung bei.

Die soziale Dimension bündelt die Ziele Achtung der Menschenwürde, Mitarbeitendenzufriedenheit, Arbeitssicherheit und Entwicklung der Mitarbeitenden. Sie übersetzt diese über spezifische Erfolgsfaktoren in überprüfbare Handlungsfelder. Die Achtung der Menschenwürde wird durch Mitgestaltung, Vielfalt, Gleichberechtigung und gute Arbeitsbedingungen konkretisiert. Der Erfolgsfaktor Mitgestaltung ist für das Ziel relevant, da rechtlich gesicherte Beteiligung Eigenverantwortung und faire Teilhabe ermöglicht. Der Aspekt der Vielfalt erweitert die Problemlösefähigkeit und senkt Diskriminierungsrisiken. Die Gleichberechtigung stellt faire Entlohnung und gleiche Chancen sicher und schützt die Würde am Arbeitsplatz. Der Faktor Arbeitsbedingungen beinhaltet Aspekte wie Selbstbestimmung und Work-Life-Balance. Das Ziel der Mitarbeitendenzufriedenheit wird über einen niedrigen Krankenstand, eine geringe Fluktuation und eine hohe interne Besetzung detailliert. Ein niedriger Krankenstand signalisiert eine gesundheitsförderliche Arbeitsumgebung und unterstützt das Ziel der Zufriedenheit direkt. Eine geringe Fluktuation erhält Know-how und stärkt das Vertrauen. Der Faktor der internen Besetzung zeigt Entwicklungschancen auf und fördert die Bindung der Mitarbeitenden an das Unternehmen. Die Arbeitssicherheit basiert auf sicheren Prozessen, Barrierefreiheit und Gesundheitsprogrammen. Sichere Prozesse verhindern Unfälle und tragen dazu bei, Verletzungen und Erkrankungen zu reduzieren. Barrierefreiheit ermöglicht die Teilhabe aller Beschäftigten und senkt das Ausschlussrisiko. Der Erfolgsfaktor Gesundheitsprogramme stärkt Prävention und Regeneration und stabilisiert das Sicherheitsniveau. Die Entwicklung der Mitarbeitenden wird durch strukturierte Weiterbildungsprogramme gefördert. Diese sind für das Ziel relevant, da sie Kompetenzen für die Bereiche Digitalisierung, Kreislaufwirtschaft und neue Geschäftsmodelle vermitteln und somit die Beschäftigungsfähigkeit sichern.

Die Governance-Dimension verankert die Ziele Solidarität und Gerechtigkeit, ethische Sinnhaftigkeit, Teilhabe an Entscheidungen und Transparenz. Solidarität und Gerechtigkeit werden durch rechtzeitige Zahlungen in der Lieferkette sowie durch klare Ziel-

und Leistungsstrukturen gestützt. Pünktliche Zahlungen sind für das Erreichen dieses Ziels von großer Bedeutung, da sie partnerschaftliche Bedingungen sichern und Ausbeutung vorbeugen. Klare Zielsysteme machen Erwartungen überprüfbar und fördern einen fairen Umgang. Ethische Sinnhaftigkeit zeigt sich in Umweltmanagementsystemen, transparenter Spenden- und Lobbyarbeit sowie fairen Lieferanten- und Kundenbeziehungen. Standardisierte Umweltmanagementprozesse sind für dieses Ziel bedeutsam, da sie Verantwortlichkeiten klären und eine glaubwürdige Berichterstattung ermöglichen. Transparente Engagements legen wichtige Informationen zu Spenden, Sponsorings und Interessenvertretungen offen und sichern sie durch Compliance-Prüfpfade ab. Dadurch wird ethische Sinnhaftigkeit messbar und Interessenkonflikte werden vermieden. Der Erfolgsfaktor faire Beziehungen schafft Vertrauen und stabilisiert langfristige Kooperationen. Das Ziel der Teilhabe an Entscheidungen umfasst die verbindliche Einbindung der Mitarbeitenden und die Arbeit von Betriebsratsgremien. Diese Faktoren sind relevant, da sie die Qualität von Entscheidungen erhöhen und legitime Mitverantwortung gewährleisten. Transparenz basiert auf nachvollziehbarem Zahlungsverkehr, geklärten Eigentums- und Mitentscheidungsrechten, strukturierter Kundenmitwirkung und nutzerfreundlichem, internem Datenzugang. Jeder dieser Faktoren ist für das Ziel wichtig, da er Informationsasymmetrien verringert, Rechenschaft ermöglicht und somit eine verlässliche, regelkonforme Unternehmensführung im nachhaltigen Werkzeugbau unterstützt.

Die heterogene Verteilung der ermittelten Erfolgsfaktoren in den vier Dimensionen spiegelt die realwirtschaftliche Steuerungslogik im Werkzeugbau wider, in der finanziellen Resilienz (zum Beispiel Auftragsstruktur, Liquidität) und ökologischen/sozialen Anforderungen die gleiche Relevanz zukommt. Jedem Erfolgsfaktor ist mindestens eine Messgröße zugeordnet, beispielsweise Materialrückführungsgrad, Product-Carbon-Footprint auf Werkzeugebene, Einbindungs- und Mitentscheidungsquote von Mitarbeitenden oder Anteil nachhaltiger Beschaffung. Ebenso ist jedem Ziel mindestens ein Erfolgsfaktor zugeordnet. Damit schließt die Struktur die Lücke zwischen qualitativem Zielbild und quantitativer Steuerung. Eine Priorisierung nach Relevanz und Umsetzbarkeit ermöglicht die fokussierte Bearbeitung der wirksamsten Hebel.

Auf dieser Grundlage entsteht ein praxisnaher, redundanzarmer Katalog priorisierter Erfolgsfaktoren, der das Zielbild konkretisiert und unmittelbar auf betriebliche Wirkfelder überträgt. Eine vollständige Redundanzfreiheit ist nicht realisierbar und auch nicht erforderlich, da einzelne Faktoren innerhalb einer Dimension korrelieren können und dennoch unterschiedliche Wirkpfade auf Ziele haben. Entscheidend ist eine klare Dokumentation dieser Zusammenhänge. Der Katalog schafft eine transparente Zuordnung der Ziele zu den FESG-Dimensionen und zeigt, welche Einflussgrößen die Zielerreichung unterstützen oder behindern. Die Bewertung folgt konsequent der strategischen Relevanz und der erwartbaren Umsetzbarkeit im jeweiligen Betrieb. Damit bildet der Katalog die Grundlage, um aus den Erfolgsfaktoren konsistente Steuerungsgrößen abzuleiten.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde ein systematisches Vorgehen zur Befähigung einer nachhaltigen Werkzeugfertigung vorgestellt

sowie die hierbei erarbeiteten Ergebnisse. Es basiert auf den spezifischen Herausforderungen und Gegebenheiten der Branche. In Kapitel 1 wurden die Treiber und Lücken im Werkzeugbau identifiziert und die Notwendigkeit eines greifbaren Zielbildes sowie einer konsistenten Bewertungslogik dargelegt. Kapitel 2 beschreibt die Methodik zur Ableitung eines FESG-Zielbildes (Finanzen, Umwelt, Soziales, Governance) mit zugehörigen Zielen und Erfolgsfaktoren. In Kapitel 3 wurden die strategischen Ziele sowie auch die zugehörigen Erfolgsfaktoren als Ergebnisse der Methodik präsentiert.

Das Zielbild für einen nachhaltigen Werkzeugbau berücksichtigt die Realität der Branche, einschließlich der hohen Variantenvielfalt und der komplexen Lieferketten. Es definiert vier Kerneigenschaften: Materialeffizienz, Langlebigkeit von Werkzeugen, transparente Führung und belastbare Geschäftslogiken. Diese Eigenschaften bilden die Grundlage für die Entwicklung praxisnaher Nachhaltigkeitsziele, die durch eine konsequente Stakeholdereinbindung und regelmäßige Überprüfungen fortlaufend angepasst werden. Die Definition der strategischen Ziele erfolgt durch ein partizipatives Verfahren, bei dem Workshops und Fokusgruppen einbezogen werden, um domänenspezifische Anforderungen zu erheben und zu priorisieren. Die resultierenden 43 Erfolgsfaktoren verteilen sich auf die vier FESG-Dimensionen und spiegeln die komplexe Steuerungslogik im Werkzeugbau wider. Jeder Erfolgsfaktor ist mit mindestens einer Messgröße verknüpft. Dadurch wird die Operationalisierbarkeit sichergestellt und eine Verbindung zwischen qualitativem Zielbild und quantitativer Steuerung hergestellt. Die Entwicklung der Erfolgsfaktoren erfolgt in einem strukturierten Prozess, der die Bedingungen und Hebel identifiziert, die Unternehmen in Richtung Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft befähigen. Der resultierende Katalog priorisierter Erfolgsfaktoren bietet eine praxisnahe Grundlage, um zentrale Hebel transparent zu adressieren und typische Zielkonflikte frühzeitig zu erkennen.

Als Ausblick lässt sich festhalten, dass die Implementierung dieser Methodik nicht nur die ökologische und soziale Verantwortung der Werkzeugbaubetriebe stärkt, sondern auch deren wirtschaftliche Resilienz fördert. Zukünftige Forschungsarbeiten sollten sich darauf konzentrieren, die entwickelten Erfolgsfaktoren weiter zu validieren und ihre Auswirkungen auf die betriebliche Praxis zu untersuchen. Ein zentraler Aspekt wird dabei die Entwicklung konkreter Kennzahlen und eines umfassenden Kennzahlensystems sein, dass die Fortschritte bei der Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele messbar macht. Dabei ist es wichtig, Kennzahlen zu definieren, die sowohl qualitative als auch quantitative Aspekte abdecken, um ein ganzheitliches Bild der Nachhaltigkeitsleistung zu erhalten. Beispielsweise könnten Kennzahlen zur Materialeffizienz, wie der Materialrückführungsgrad, sowie zur sozialen Dimension, wie die Einbindungsquote der Mitarbeitenden, entwickelt werden. Ein solches Kennzahlensystem muss flexibel genug sein, um sich an neue Herausforderungen und Rahmenbedingungen anzupassen, und gleichzeitig robust genug, um verlässliche Daten für die Entscheidungsfindung zu liefern. Die kontinuierliche Anpassung an sich verändernde Rahmenbedingungen und die Einbeziehung neuer Stakeholderperspektiven werden entscheidend sein, um die Nachhaltigkeitsziele langfristig

zu erreichen und die Wettbewerbsfähigkeit der Branche zu sichern. Ein effektives Kennzahlensystem wird nicht nur die Transparenz erhöhen, sondern auch die Verantwortlichkeit innerhalb der Unternehmen stärken und somit einen wesentlichen Beitrag zur Transformation hin zu einem nachhaltigeren Werkzeugbau leisten.

FÖRDERHINWEIS

Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU): SUSKEY – Sustainability KPIs zur Messung und Steuerung der Nachhaltigkeit im Werkzeugbau

LITERATUR

- [1] Boos, W.: Die Produktionswende – Turning Data into Sustainability. Durch das Internet of Production zu nachhaltiger Produktion und Betrieb. Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University, Aachen 2021. Internet: <https://www.wzl.rwth-aachen.de/cms/wzl/Das-WZL/Presse-und-Medien/Aktuelle-Meldungen/~oixyt/Die-Produktionswende-Turning-Data-into/>. Zugriff am 14.07.2023
- [2] Eurostat: Material flow accounts and resource productivity. Zugriff am 14.10.2025
- [3] Statista: CO₂-Emissionen weltweit in den Jahren 1960 bis 2023. Zugriff am 14.10.2025
- [4] Schuh, G.: Deutscher Werkzeugbau als „Game Changer“ – Innovative Geschäftsmodelle für Produktivitätssteigerungen im Serienprozess. 19. Internationales Kolloquium „Werkzeugbau mit Zukunft“ Aachen 2019
- [5] U.S. Department of Energy: FOTW #1356, August 19, 2024: Household Vehicles Were Parked 95% on a Typical Day in 2022. Internet: www.energy.gov/eere/vehicles/articles/fotw-1356-august-19-2024-household-vehicles-were-parked-95-typical-day-2022. Zugriff am 13.10.2025
- [6] Cakir, A. K.: A new approach to minimize carbon emission rate in turning processes. International Journal of Low-Carbon Technologies 16 (2021), Nr. 4, S. 1444–1452
- [7] World Meteorological Organization: Climate change indicators reached record levels in 2023: WMO.
- [8] Fraunhofer Institute for Production Technology IPT: Competition Excellence in Production (EiP) 2021. Internet: www.excellence-in-production.de/. Zugriff am 10.07.2023
- [9] Rusche, S.; Rockstuhl, S.; Wenninger, S.: Quantifizierung unternehmerischer Nachhaltigkeit in der Fertigungsindustrie: Entwicklung eines zielorientierten Nachhaltigkeitsindex. Zeitschrift für Energiewirtschaft 45 (2021), Nr. 4, S. 317–343
- [10] Moldavska, A.; Welo, T.: A Holistic approach to corporate sustainability assessment: Incorporating sustainable development goals into sustainable manufacturing performance evaluation. Journal of Manufacturing Systems 50 (2019), S. 53–68
- [11] Garbie, I. H.: Integrating sustainability assessments in manufacturing enterprises: a framework approach. International Journal of Industrial and Systems Engineering 20 (2015), Nr. 3, S. 343–368
- [12] Barletta, I.; Despeisse, M.; Hoffenson, S. et al.: Organisational sustainability readiness: A model and assessment tool for manufacturing companies. Journal of Cleaner Production 284 (2021), S. 125404
- [13] Saad, M. H.; Nazzal, M. A.; Darras, B. M.: A general framework for sustainability assessment of manufacturing processes. Ecological Indicators 97 (2019), S. 211–224
- [14] Boos, W.; Lukas, G.; Kenfenheuer, J. et al.: Approach For Defining Of A Target Vision For A Sustainable Tool Manufacturing And Its Linkage To The Success Factors (2025).

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh 

Jonas Kenfenheuer

Leonhard Klisch 

Jannik Schreiber 
j.schreiber@wzl.rwth-aachen.de

Riccardo Calchera

Werkzeugmaschinenlabor WZL
der RWTH Aachen University 
Lehrstuhl für Produktionssystematik
Cluster Produktionstechnik
Campus-Boulevard 30, 52074 Aachen
www.wzl.rwth-aachen.de

LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons
Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)