

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Die industriellen Entwicklungen des 20. und 21. Jahrhunderts haben das Konsumverhalten der Menschen maßgeblich verändert. Insbesondere in Deutschland wird aufgrund des rasanten Wachstums der Weltwirtschaft seit den 1950er Jahren ein starker Anstieg des gesellschaftlichen Wohlstands verzeichnet. Ein signifikanter Anteil dieser Entwicklung kann dem Industriesektor zugeschrieben werden. Das kontinuierliche Streben nach Kostenoptimierung und Effizienzsteigerung induzierte eine ökonomische sinnvolle Überproduktion. In Kombination mit dem gestiegenen Wohlstand hat dies zu einem kapital- und ressourcenintensiven Produktivitätsdenken geführt.¹ Die gesellschaftlichen und ökologischen Auswirkungen der daraus resultierenden Konsummentalität sind in den letzten Jahren verstärkt sichtbar geworden. Natürliche Kapazitätsgrenzen und Assimilationsraten werden überschritten² und anstatt von Zinsen wird fortwährend von dem Kapital des ökologischen Systems gelebt.³ So wuchs der weltweite Bedarf an fossilen, biologischen und mineralischen Rohstoffen in größerem Maße als die Weltwirtschaft.⁴ Damit einhergehend haben die Kohlenstoffdioxid (CO₂)-Emissionen in den letzten Jahren deutlich zugenommen.

Die Industrie hat hieran einen signifikanten Anteil. Rund 48 % der weltweit ausgestoßenen Treibhausgase, welche größtenteils aus CO₂ bestehen, werden durch das verarbeitende Gewerbe verursacht. Die nachfolgende Abbildung 1.1 stellt die beschriebenen Entwicklungen anhand des globalen Vergleichs des BIP, der CO₂-Emissionen sowie des Ressourcenverbrauchs dar. Die Auswirkungen zeigen sich beispielsweise anhand einer zunehmenden Ressourcenverknappung von z. B. Wasser und fossilen Brennstoffen sowie der Veränderung des Klimas.⁵ So war jedes der letzten vier Jahrzehnte sukzessive wärmer als jedes vorangegangene Jahrzehnt seit dem Jahr 1850.⁶ Der von Menschen verursachte durchschnittliche Temperaturanstieg der Oberflächentemperatur von ca. 1°C pro Jahrzehnt ist die Hauptursache für das vermehrte Auftreten zahlreicher Wetterextreme, wie Hitzewellen, Dürren, Starkniederschläge sowie tropische Wirbelstürme.⁷ Die daraus resultierende Klimakrise hat dazu geführt, dass sich das kapital- und ressourcenintensive Produktivitätsdenken vom Zukunftsbild der ökologisch bewusster denkenden Gesellschaft unterscheidet.⁸ So gab es bspw. allein bei der weltweiten Anzahl an Klimaschutzgesetzen und -vorgaben seit 1997 alle fünf Jahre eine Verdopplung.⁹

¹ Vgl. Schuh et al. (Sustainable Productivity), 2021, S. 4-10.

² Vgl. Boos et al. (Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit), 2020, S. 8.

³ Vgl. Kropp (Grundlagen der nachhaltigen Entwicklung), 2019, S. 11.

⁴ Vgl. International Resource Panel (Global Resources Outlook), 2020; United Nations Environment Programme (Domestic material consumption), 2023.

⁵ Vgl. Umweltbundesamt (Ressourcennutzung und ihre Folgen), 2021.

⁶ Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Summary for Policymakers), 2021, S. 5.

⁷ Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Summary for Policymakers), 2021, S. 8.

⁸ Vgl. Schuh et al. (Sustainable Productivity), 2021, S. 4.

⁹ Vgl. Nachmany et al. (The 2015 Global Climate Legislation), 2015, S. 19f.

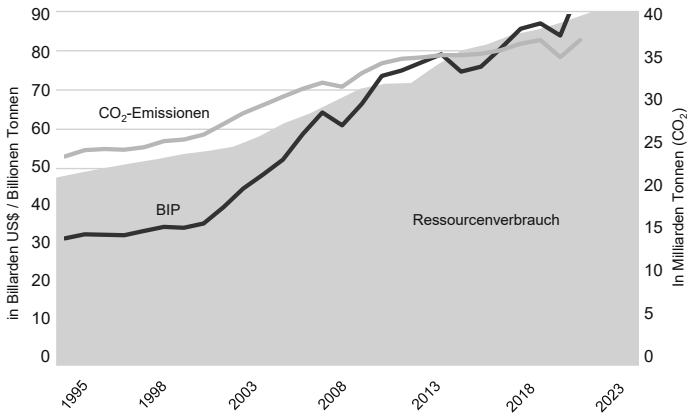


Abbildung 1.1: Globaler Vergleich BIP, CO₂-Emissionen und Ressourcenverbrauch¹⁰

Nationale, europäische und internationale Umweltverträge, wie zum Beispiel das Lieferkettengesetz¹¹, der Green Deal¹² oder die im Klimaschutzprogramm 2030¹³ enthaltende und 2021 eingeführte CO₂-Bepreisung¹⁴ stellen das produzierende Gewerbe als einen der Verursacher¹⁵ und Ressourcenverbraucher vor große Herausforderungen.¹⁶ Zur nachhaltigen Gestaltung produzierender Unternehmen reicht die Betrachtung des Umweltfaktors alleine jedoch nicht aus. Damit die Industrie als zentraler Verursacher eine nachhaltige Entwicklung realisieren kann, muss die Produktivität als zentrale Leistungskennzahl ein neues Verständnis erfahren.¹⁷ Standen bislang hauptsächlich finanzielle Ziele im Fokus, so sind zukünftig ökologische, soziale und regulatorische Ziele für produzierende Betriebe unabdingbar. Die Erfüllung dieser Zielkriterien ist jedoch nicht nur für die Erfüllung des gesellschaftlichen Interessen- und Wertewandels essenziell. Auch in Bezug auf die Anforderungen der Stakeholder, wie z. B. Kapitalgeber, hat ein erkennbarer Wandel stattgefunden. Erkenntlich ist dies bspw. anhand von Initiativen wie den Principles for Responsible Investments (PRI), die über 1.200 Investmentgesell-

¹⁰ Vgl. IMF (Weltweites Bruttoinlandsprodukt), 2022; Global Carbon Project (CO₂-Emissionen weltweit), 2022; United Nations Environment Programme (Domestic material consumption), 2023.

¹¹ Vgl. Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Lieferkettengesetz), 2021.

¹² Vgl. Europäische Kommission (Was ist der europäische Green Deal?), 2019.

¹³ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung), 2019.

¹⁴ Vgl. Bundesregierung (CO₂-Bepreisung), 2021.

¹⁵ Mit ca. 172 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent lag der Anteil der Industrie im Jahr 2021 bei rund 24 % der gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland. Vgl. Umweltbundesamt (Emissionsquellen von Treibhausgasen), 2021.

¹⁶ Vgl. Boos et al. (Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit), 2020, S. 8.

¹⁷ Vgl. Hardtke; Prehn (Perspektiven der Nachhaltigkeit), 2001, S. 59-61.

schaften bündelt und über 80 Billionen Dollar verwaltet. Die PRI verpflichten sich einen verstärkten Fokus auf Umwelt- und Sozialfaktoren sowie Regulatorien zu legen.¹⁸ Zudem fordern insbesondere Original Equipment Manufacturer (OEM), wie z. B. die Volkswagen AG, von ihren Zulieferern eine nachhaltige Gestaltung der Wertschöpfung.¹⁹

In Zukunft muss die Industrie ihre Produkte und Ressourcen daher nicht nur ökonomisch sinnvoll herstellen, sondern auch ökologisch ausnutzen. Dieser von Stakeholdern getriebene und vom Kapitalmarkt bereits erkannte Paradigmenwechsel erfordert auch das Umdenken im Werkzeugbau. Aufgrund seiner Schlüsselposition in der industriellen Wertschöpfungskette, zwischen Produktentwicklung und Serienproduktion, kann der Werkzeugbau als zentraler Befähiger des produzierenden Gewerbes und damit der nachhaltigen Entwicklung bezeichnet werden.²⁰ Gelingt der Branche Werkzeugbau eine anforderungsgerechte nachhaltige Entwicklung, würde dies durch die Schnittstellenfunktion starke Multiplikatoreffekte für die gesamte deutsche Wirtschaft bedeuten.

1.2 Problemstellung

Die aktuelle Ausgangssituation, die insbesondere durch die Trends der Derivatisierung und des digitalen Wandels getrieben wird, trifft insbesondere auf die Branche Werkzeugbau zu.²¹ Aufgrund der beschriebenen Schlüsselposition nimmt der Werkzeugbau durch seine Erzeugnisse maßgeblich Einfluss auf die klassischen Erfolgsgrößen Zeit, Kosten und Qualität der gesamten Prozesskette produzierender Unternehmen.²² Die alleinige Adressierung dieser traditionellen Wettbewerbsdifferenzierungsmerkmale genügt jedoch nicht, um den beschriebenen Anforderungen der Stakeholder gerecht zu werden. Nachhaltigkeit kristallisiert sich zunehmend als weiteres Differenzierungsmerkmal heraus.²³ Die neuen Zielgrößen im Kontext der Nachhaltigkeit erfordern weitreichende Anpassungen in Produktentwicklung, Produktion sowie Produktnutzung und -entsorgung entlang des gesamten Werkzeuglebenszyklus. Werkzeuge können dabei bspw. im Rahmen der Kreislaufwirtschaft in anforderungsgerechte Re-Use-Konzepte überführt werden, um die Ressourceneffizienz langfristig zu steigern und die bislang linearen Lebenszyklen der Werkzeuge in zirkuläre Lebenszyklen zu überführen.

Die Umsetzung einer nachhaltigen Gestaltung des Werkzeuglebenszyklus scheitert bis dato maßgeblich am mangelnden Verständnis der ganzheitlichen Struktur der Wertschöpfungskette sowie der unterentwickelten Informationsverfügbarkeit. So fehlt oftmals ein phasenübergreifendes Wissen über die Zusammenhänge des Werkzeuglebenszyklus, was nicht zuletzt der Befähigung der Kreislaufwirtschaft entgegenwirkt.²⁴ Bereits die Kenntnis über aktuelle Anforderungen der Stakeholder sowie gegenwärtige Nachhaltigkeitszustände, wie z. B. Energie-

¹⁸ Vgl. Principles for Responsible Investment (Spotlight on ESG Risks), 2013, S. 1-6.

¹⁹ Vgl. Volkswagen Group (Volkswagen Konzern verpflichtet Lieferanten), 2019.

²⁰ Vgl. Boos et al. (Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit), 2020, S. 9.

²¹ Vgl. Boos et al. (Tooling in Germany), 2020, S. 4.

²² Vgl. Eversheim; Klocke (Werkzeugbau mit Zukunft), 1998, S. 1.

²³ Vgl. Boos et al. (Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit), 2020, S. 21.

²⁴ Vgl. Wilts; Berg (Digitale Kreislaufwirtschaft), 2017, S. 4.

und Ressourcenverbräuche entlang des Werkzeuglebenszyklus ist selten vorhanden.²⁵ Gleichzeitig stellt die Erhebung nachhaltigkeitsbezogener Daten sowie die daraus abzuleitende Operationalisierung in der eigenen Wertschöpfung sowie in den Leistungen den Werkzeugbau vor große Herausforderungen.²⁶ Ein besonderes Potenzial zur Adressierung dieser Herausforderungen wird der vierten industriellen Revolution, der sogenannten Industrie 4.0, zugesprochen.²⁷ Darunter wird die echtzeitfähige, intelligente, horizontale und vertikale Vernetzung von Menschen, Maschinen und Objekten sowie von informations- und kommunikationstechnischen Systemen zur dynamischen Beherrschung von komplexen Systemen verstanden.²⁸ Ein ebensolches komplexes System stellt der Werkzeuglebenszyklus dar, für den ein ganzheitliches Verständnis der nachhaltigen Entwicklung geschaffen werden muss. Den deutschen Werkzeugbaubetrieben muss daher ein fundamentaler Wechsel des bisherigen Branchenverständnisses gelingen. Anschließend gilt es, diese neue Rolle des Werkzeugbaus für eine **nachhaltige Entwicklung des Lebenszyklus** aktiv zu gestalten.

Die Motivation für die vorliegende Arbeit, gerade jetzt einen Lösungsweg zu der zuvor beschriebenen Aufgabe für den Werkzeugbau zu liefern, lässt sich durch folgende Aspekte begründen. Der Kapitalmarkt scheint in Zeiten der digitalen Services und der Plattformökonomie zunehmend das Interesse an kapitalintensiven Geschäftsmodellen der Industrie verloren zu haben. Die veränderten Stakeholderanforderungen haben über die Politik und Gesetzgebung erwiesenermaßen den Kapitalmarkt erreicht, wodurch ein unmittelbarer Veränderungsdruck auf produzierende Unternehmen entsteht. Diese Anforderungen unterliegen dabei einem stetigen Wandel, der sich jährlich in neuen Nachhaltigkeitszielen manifestiert. Zur Adressierung dieser Ziele muss im Kontext einer zukunftsgerichteten nachhaltigen Entwicklung die Bilanzhülle des Werkzeugbaus auf den kompletten Werkzeuglebenszyklus erweitert werden.²⁹ Ein weiteres Aufschieben der vorliegenden Problemstellung kann daher insbesondere aufgrund des steigenden Wettbewerbsdrucks aus osteuropäischen und asiatischen Ländern nicht erfolgen. Zudem liefern die in den letzten Jahren erfolgten Entwicklungen im Bereich der digitalen Vernetzung die technologischen Instrumente, um die notwendige Transparenz im Werkzeuglebenszyklus zu gewährleisten und somit die nachhaltige Entwicklung erfolgreich zu gestalten.

1.3 Zielsetzung der Arbeit

Wie zuvor beschrieben, stellt die Nachhaltigkeit viele produzierende Unternehmen und insbesondere den Werkzeugbau vor große Herausforderungen. Dies stellt den Ist-Zustand dar. Demgegenüber wird ein zirkulärer und nachhaltiger Werkzeuglebenszyklus als Ziel-Zustand angestrebt, um die wachsenden Anforderungen der Stakeholder zu adressieren. Dieser Ziel-Zustand ist nicht ausreichend detailliert ausgearbeitet und es mangelt an umfangreichen

²⁵ Vgl. Döbbeler (Ressourcenorientierte Modellierung des Werkzeuglebenszyklus), 2013, S. 47.

²⁶ Vgl. Colsman (Nachhaltigkeitscontrolling), 2016, S. 51; Boos et al. (Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit), 2020, S. 28f.

²⁷ Vgl. Schuh et al. (Sustainable Productivity), 2021, S. 4.

²⁸ Vgl. Schuh et al. (Industrie 4.0: Implement it!), 2018, S. 6.

²⁹ Vgl. Schuh et al. (Sustainable Productivity), 2021, S. 13.

Kenntnissen, Erfahrungen und Vorstellungen, um diesen zu erreichen. Bislang existiert kein Lösungsansatz, der die datengestützte Gestaltung des nachhaltigen Werkzeuglebenszyklus ausreichend adressiert. Die **übergeordnete Zielsetzung** der vorliegenden Dissertation ist daher die Entwicklung eines organisatorischen Rahmenwerks, um die nachhaltige Entwicklung des Werkzeuglebenszyklus datengestützt zu gestalten. Damit liegt der Arbeit bewusst das Ziel zugrunde, einen Lösungsansatz aus der Perspektive des Werkzeugbaus zu entwickeln. Die **konkrete Zielsetzung** ist die Ausgestaltung des organisatorischen Rahmenwerks mit geeigneten Handlungsfeldern, welche spezifische Gestaltungselemente für den Werkzeugbau liefern. Im Zuge dessen sollen die spezifischen Rahmenbedingungen der Branche Werkzeugbau ganzheitlich und anwendungsbezogen berücksichtigt werden, sodass Werkzeugbaubetriebe das Rahmenwerk adaptieren und umsetzen können.

Gemäß FRIEDLI soll das Lösungskonzept daher den Charakter eines Leerstellengerüsts aufweisen.³⁰ Mithilfe des Leerstellengerüsts werden dem anwendenden Werkzeugbaubetrieb konkrete Strukturen und inhaltliche Elemente vorgegeben, die jedoch von dem Anwendenden unternehmensspezifisch anzupassen und auszugestalten sind. Aufgrund der Abbildung, Strukturierung und Abstraktion des Zielzustands durch das Leerstellengerüst kann dieses in Form eines Gestaltungsmodells entwickelt werden. Im Kern der Betrachtung steht die Gestaltung der Prozesse des Werkzeugbaus im nachhaltigen Werkzeuglebenszyklus. Daher wird das avisierte Gestaltungsmodell in dieser Arbeit als Prozessmodell bezeichnet. Darunter wird ein abstraktes organisatorisches Rahmenwerk zur Gestaltung von Prozessabläufen verstanden, mit welcher starre Vorgaben zu Prozessschritten definiert werden. Eine ausführliche Definition zu den Begriffen Modell, Gestaltungsmodell und Prozessmodell erfolgt in Kapitel 4.1, bevor die konkrete Konzeptionierung des Prozessmodells beschrieben wird.

Forschung repräsentiert nach KUBICEK einen Lernprozess, für welchen eine grundlegende Forschungsfrage formuliert werden muss. Diese dient zur Eingrenzung des Betrachtungsbereichs der Forschung und gewährleistet die stringente Durchführung des Forschungsprozesses.³¹ Zusammenfassend lautet die handlungsleitende Forschungsfrage der vorliegenden Dissertation wie folgt:

Wie muss ein Prozessmodell zur datengestützten Gestaltung des nachhaltigen Werkzeuglebenszyklus ausgelegt werden?

Eine Konkretisierung dieser handlungsleitenden Forschungsfrage erfolgt im Rahmen von Kapitel 3.5 mittels weiterer untergeordneter Forschungsfragen.

1.4 Forschungsansatz der Arbeit

Der Forschungsansatz der vorliegenden Arbeit folgt dem allgemeinen Forschungsverständnis des Lehrstuhls für Produktionssystematik am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen. Die wissenschaftlichen Grundlagen des Forschungsansatzes werden nachfolgend

³⁰ Vgl. Friedli (Technologiemanagement), 2006, S. 21.

³¹ Vgl. Kubicek (Heuristischer Bezugsrahmen), 1977, S. 24-28.

detailliert beschrieben und basieren auf den Ausarbeitungen bereits verfasster Arbeiten von bspw. KÜHN³², LANGE³³ oder BOSHOF³⁴.

Gemäß BINDER UND KANTOWSKY kann die wissenschaftliche Forschung als ein Prozess zur Erkenntnisgewinnung oder bildlicher als eine Entdeckungsreise bezeichnet werden. Auf dieser Reise werden unbekannte Themen entdeckt, wobei gesammelte Erkenntnisse anschließend als eine neue Wirklichkeit der Forschungs- bzw. Wissensgemeinschaft („scientific community“) zur Verfügung gestellt werden. Zur Veröffentlichung dieser neuen Erkenntnisse bedarf es zunächst einer Darstellung der Erkenntnisperspektive sowie der methodischen Vorgehensweise.³⁵ Bei der Erkenntnisperspektive handelt es sich um ein sogenanntes „belief system“, welches als grundlegende Überzeugung der Forscher akzeptiert werden muss und dessen Wahrheit nicht nachweisbar ist.³⁶ Damit die grundlegende Erkenntnisperspektive näher erläutert werden kann, erfolgt zunächst eine Einordnung der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit in das Spektrum der Wissenschaften. Hierfür erfolgt die Unterteilung in Formal- und Realwissenschaften nach ULRICH UND HILL (vgl. Abbildung 1.2).

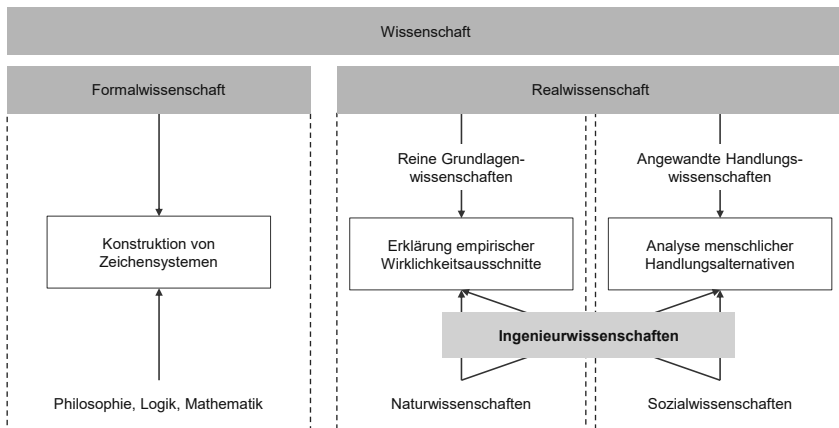


Abbildung 1.2: Wissenschaftssystematik nach ULRICH UND HILL³⁷

Das Ziel der **Formalwissenschaften** ist die Konstruktion von Zeichensystemen inklusive Regeln zu deren Verwendung.³⁸ Die Aussagen der Formalwissenschaften sind analytisch und rein theoretisch und können daher nicht in der Praxis beobachtet oder widerlegt werden. Da es sich somit beim Forschungsgegenstand um keine physischen Objekte handelt, erfolgt die Beweisführung zur Validierung aufgestellter Hypothesen und erzielter Forschungsergebnisse

³² Vgl. Kühn (Leistungssysteme im Werkzeugbau), 2016.

³³ Vgl. Lange (Prozessmodell für den Werkzeugbau im iterativen Produktentwicklungsprozess), 2020.

³⁴ Vgl. Boshof (Datenbasierte Dienstleistungen im Werkzeugbau).

³⁵ Vgl. Binder; Kantowsky (Technologiepotentiale), 1996, S. 3f.

³⁶ Vgl. Guba, E. G.; Lincoln (Competing Paradigms in Qualitative Research), 2018, S. 107.

³⁷ I. A. a. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1976, S. 305.

³⁸ Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1976, S. 305.

mittels Überprüfung logischer bzw. theoretischer Widersprüche.³⁹ Zu den Formalwissenschaften können bspw. die Philosophie oder die Mathematik gezählt werden.⁴⁰ Gegenüber den Formalwissenschaften werden in den **Realwissenschaften** empirisch wahrnehmbare Wirklichkeitsphänomene betrachtet.⁴¹ Die Argumentationslogik ist dementsprechend nicht rein analytisch, sondern synthetisch orientiert und erfordert zur Validierung der Richtigkeit eine zusätzliche Faktenanalyse.⁴² Die Realwissenschaften können in die reinen Grundlagenwissenschaften und die angewandten Handlungswissenschaften untergliedert werden. Während die Grundlagenwissenschaften theoretische Erklärungsmodelle zur Beschreibung der Wirklichkeit definieren, analysieren Handlungswissenschaften menschliche Handlungsalternativen zur Gestaltung sozialer und technischer Systeme. Mit den reinen Grundlagenwissenschaften, wie z. B. die Naturwissenschaften Physik und Chemie, werden theoretische Ziele verfolgt. Vertreter der angewandten Handlungswissenschaften, wie z. B. die Sozialwissenschaften Soziologie oder Betriebswirtschaftslehre, fokussieren hingegen praktische Ziele.⁴³ Die hier vorliegende Arbeit kann der Wissenschaftsdisziplin **Ingenieurwissenschaften** zugeordnet werden, welche wiederum den Realwissenschaften zugeordnet ist. Allerdings muss einschränkend erwähnt werden, dass die Ingenieurwissenschaften weder vollständig zu den angewandten Handlungswissenschaften noch zu den reinen Grundlagenwissenschaften zählen.⁴⁴ Aufgrund der in Kapitel 1.3 definierten Zielsetzung dieser Arbeit zur Entwicklung eines praxisbezogenen Handlungsrahmens mit konkreten Gestaltungsempfehlungen kann die Arbeit den angewandten Handlungswissenschaften zugeordnet werden.

Nachdem die vorliegende Arbeit den angewandten Handlungswissenschaften zugeordnet wurde, bedarf es der konkreten Erläuterung der Erkenntnisperspektive. Hierzu ist das zugrundeliegende Verständnis im Sinne einer Leitidee oder eines Paradigmas darzustellen. Als Teil des Vorverständnisses dieser Arbeit wird daher die Leitidee durch die Erläuterung der vorwissenschaftlichen und wertgebundenen Annahmen erläutert. Hierdurch wird das sogenannte Subjektivitätskriterium wissenschaftlicher Arbeiten umgangen.⁴⁵ In der Wissenschaftstheorie erfolgt die Darstellung einer solchen Leitidee anhand des faktorentheoretischen Ansatzes nach GUTENBERG⁴⁶, dem entscheidungstheoretischen Ansatz nach HEINEN⁴⁷ oder dem Systemansatz nach ULRICH⁴⁸. Aufgrund seiner hohen Praxisnähe sowie des interdisziplinären Ansatzes zur Analyse von Unternehmen als sogenannte produktive soziale Systeme weist der systemtheoretische Ansatz nach ULRICH eine große Nähe zu den Ingenieurwissenschaften

³⁹ Vgl. Schanz (Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Führungsforschung), 1995, S. 2039.

⁴⁰ Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1976, S. 305.

⁴¹ Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1976, S. 305.

⁴² Vgl. Schanz (Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Führungsforschung), 1995, S. 2039.

⁴³ Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1976, S. 305.

⁴⁴ Vgl. Ulrich (Der systemorientierte Ansatz), 1978, S. 270-281.

⁴⁵ Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1976, S. 306.

⁴⁶ Vgl. Gutenberg (Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1971.

⁴⁷ Vgl. Heinen (Einführung in die Betriebswirtschaftslehre), 1985.

⁴⁸ Vgl. Ulrich (Die Unternehmung als produktives soziales System), 1970.

auf.⁴⁹ Dies qualifiziert diesen Ansatz im besonderen Maße für den Einsatz im Rahmen dieser Arbeit.

Nachdem mit der grundlegenden Erkenntnisperspektive der Ausgangspunkt des Forschungsprozesses definiert wurde, wird mithilfe des forschungsmethodischen Vorgehens die Ausgestaltung des Erkenntnisgewinnungsprozesses festgelegt. POPPER zufolge beginnt jeder Erkenntnisprozess nicht mit Beobachtungen oder dem Sammeln von Daten und Tatsachen, sondern mit Problemen.⁵⁰ Mithilfe der angewandten Handlungswissenschaften soll die Lösung der Probleme erfolgen. Als forschungsmethodisches Vorgehen wird für die vorliegende Arbeit der Ansatz der explorativen Forschung nach KUBICEK gewählt. Dieser ist für die Anwendung im Rahmen angewandter Handlungswissenschaften besonders geeignet, da die explorative Forschung auf Basis von systematischem Erfahrungswissen analytische Lösungen und theoretische Aussagen als Forschungsziel verfolgt.⁵¹ Der in Abbildung 1.3 dargestellte Forschungszyklus nach TOMCZAK visualisiert das forschungsmethodische Vorgehen.

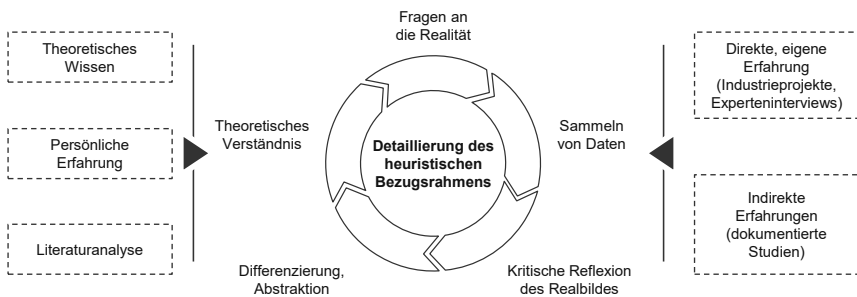


Abbildung 1.3: Forschungsmethodisches Vorgehen⁵²

Beim dargestellten explorativen Forschungsvorgehen werden wissenschaftliche Ergebnisse in einem iterativen Prozess entwickelt. Mithilfe der Verarbeitung gewonnener Erkenntnisse sowie der Rückführung dieser in die Fragestellung werden neue Erkenntnisse der Realität generiert. Somit entsteht ein Regelkreis, der Abfrage und Überprüfung zwischen Theorie und Erfahrungswissen ermöglicht.⁵³ Der Mittelpunkt des explorativen Forschungsprozesses stellt der **heuristische Bezugsrahmen** dar, der das Vorverständnis des Autors repräsentiert und den Forschungsprozess durch die Richtungsvorgabe hin zur Lösung praxisrelevanter Probleme lenkt.⁵⁴ Der heuristische Bezugsrahmen umfasst nach TOMCZAK ein „Problem bzw. ein generelles Phänomen, das nicht genügend verstanden bzw. unzureichend beherrscht wird“⁵⁵. Die Problemstellung der vorliegenden Arbeit wurde bereits in Kapitel 1.2 beschrieben, weshalb der

⁴⁹ Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1976, S. 308f.

⁵⁰ Vgl. Popper (Die Logik der Sozialwissenschaften), 1987, S. 104.

⁵¹ Vgl. Kubicek (Heuristischer Bezugsrahmen), 1977, S. 13.

⁵² I. A. a. Tomczak (Forschungsmethoden), 1992, S. 78.

⁵³ Vgl. Kubicek (Heuristischer Bezugsrahmen), 1977, S. 13f.

⁵⁴ Vgl. Tomczak (Forschungsmethoden), 1992, S. 84.

⁵⁵ Vgl. Tomczak (Forschungsmethoden), 1992, S. 84.

heuristische Bezugsrahmen nachfolgend entwickelt werden kann. Dieser ist in Abbildung 1.4 mittels eines Strukturbaums relevanter Themen dargestellt und besteht aus insgesamt sechs Teilen. Den Mittelpunkt des heuristischen Bezugsrahmens bildet die Nachhaltigkeit als zentraler Gestaltungsbereich. Der Werkzeugbau stellt den Betrachtungsbereich der vorliegenden Arbeit dar. Die Nachhaltigkeit steht in direkter Verbindung mit den Themenfeldern Werkzeuglebenszyklus und Industrie 4.0, da das Forschungsvorhaben die datengestützte Gestaltung des nachhaltigen Werkzeuglebenszyklus beinhaltet. Aufgrund der Tatsache, dass eine ganzheitliche nachhaltige Entwicklung des Werkzeuglebenszyklus nur erfolgen kann, wenn entsprechende Transparenz geschaffen wird, ist die Entwicklung eines digitalen Schattens zwingend erforderlich. Daher liegt eine direkte Verknüpfung zwischen den Themenfeldern Nachhaltigkeit, Industrie 4.0, Werkzeuglebenszyklus und digitaler Schatten vor. Die Forderung nach einer datengestützten Gestaltung des nachhaltigen Werkzeuglebenszyklus mündet in ein entsprechendes Prozessmodell.

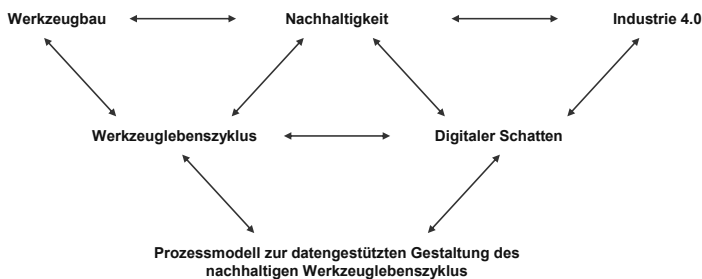


Abbildung 1.4: Heuristischer Bezugsrahmen⁵⁶

Als Grundlage der Problemdefinition und Ausarbeitung des Forschungsvorhabens der vorliegenden Arbeit dienen theoretisches Verständnis sowie praktisches Erfahrungswissen des Autors. Dieses Erfahrungswissen konnte im Rahmen der Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionssystematik in der Abteilung Unternehmensentwicklung des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen University seit 2020 kontinuierlich aufgebaut werden. Im Zuge von Lehr- und Weiterbildungsveranstaltungen sowie zahlreicher Industrie-, Konsortial- und Forschungsprojekte konnte ein umfassendes Verständnis für die Wertschöpfung produzierender Unternehmen mit dem Fokus auf den Werkzeugbau erlangt werden. Während der Fokus innerhalb der Projekte auf unterschiedlichen Themen lag, kann dennoch ein ganzheitliches Praxisdefizit im Kontext der Nachhaltigkeit der Branche Werkzeugbau identifiziert werden. Das erlangte Wissen wird insbesondere durch die Mitarbeit an den Studien „Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit“⁵⁷ und „Sustainable Productivity“⁵⁸ weiter vertieft.

⁵⁶ Eigene Darstellung

⁵⁷ Vgl. Boos et al. (Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit), 2020.

⁵⁸ Vgl. Schuh et al. (Sustainable Productivity), 2021.

Als Projektleiter des Branchenwettbewerbs „Excellence in Production“ zum „Werkzeugbau des Jahres“ in den Jahren 2021, 2022 und 2023 mit jeweils mehr als 280 teilnehmenden Unternehmen wurden jährlich datenbasierte Analysen entlang der Auftragsabwicklung von Werkzeugbaubetrieben durchgeführt. Die Teilnahme des Wettbewerbs bedingt die Bearbeitung von ca. 120 Fragen, die organisatorische und technologische Themenbereiche des Werkzeugbaus adressieren. Das Projektteam erhält zwecks der Konsistenz- und Plausibilitätsprüfung Einsicht in die Fragebögen und hält Rücksprache mit den teilnehmenden Betrieben, um die Daten zu validieren. Mithilfe der umfassenden Analyse der Unternehmensdaten kann ein umfangreiches Verständnis für Daten entlang der Auftragsabwicklung von Werkzeugbaubetrieben entwickelt werden. Hierbei erhält der Autor insbesondere ein tiefergehendes Verständnis von Industrie 4.0-Anwendungen sowie Nachhaltigkeit in der Branche.

Durch die Leitung und Unterstützung der Konsortialprojekte „Nachhaltige Leistungssysteme“ und „Messbarmachung Nachhaltigkeit“, durchgeführt mit der WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH und jeweils sechs bzw. zwölf Unternehmen der Branche Werkzeugbau, konnte das Wissen über Nachhaltigkeit weitervertieft werden. Im Rahmen des Forschungsprojekts „Tool2Share“ hat der Autor an der Entwicklung einer B2B-Plattform für den Re-Use von Werkzeugen und Werkzeugkomponenten mitgewirkt. Die Möglichkeiten der Kreislaufwirtschaft in der Branche Werkzeugbau wurden in Workshops mit verschiedenen Betrieben entlang des Werkzeuglebenszyklus kritisch reflektiert und entwickelt.

In Vorlesungen, Kolloquien und Workshops im Umfeld der Universität, im Rahmen von Konsortialprojekten oder bilateralen Projekten konnten weitere praxisrelevante Anforderungen aufgenommen sowie durch anschließende Diskussionen und Korrespondenzen spezifiziert werden. Die Forschungsergebnisse wurden in einer abschließenden Validierung anhand repräsentativer Betriebe der Branche Werkzeugbau erfolgreich bestätigt.

1.5 Aufbau der Arbeit

Basierend auf der Einordnung der vorliegenden Arbeit in die explorative Forschung orientiert sich die Strukturierung am Vorgehen für angewandte Forschung nach ULRICH. Den Ausgangspunkt der Forschungsmethodik stellt die Identifikation eines praxisrelevanten Problems dar. Auf Grundlage dessen werden entsprechende Regeln und Modelle analytisch abgeleitet, die einen allgemeingültigen Lösungsansatz darstellen. Dieser muss anschließend wiederum in der Praxis validiert werden. ULRICH unterteilt den Prozess der angewandten Forschung in sieben Phasen, die in Zusammenhang mit dem Aufbau dieser Arbeit in Abbildung 1.5 dargestellt sind.⁵⁹

⁵⁹ Vgl. Ulrich et al. (Systemorientierte Managementlehre), 1984, S. 192f.



Abbildung 1.5: Aufbau der Arbeit gemäß den Phasen angewandter Forschung nach ULRICH⁶⁰

Anhand der Ausgangssituation sowie der beschriebenen Problemstellung wird im **ersten Kapitel** die Motivation der Arbeit dargestellt. Dies resultiert in der Definition der Zielsetzung sowie der Formulierung der übergeordneten Forschungsfrage. Anschließend wird der zugrundeliegende Forschungsansatz präsentiert, bevor zuletzt der Aufbau der Arbeit dargestellt wird.

Im **zweiten Kapitel** werden die theoretischen Grundlagen des Betrachtungs- und Gestaltungsbereichs erörtert. Hierfür wird das Kapitel in die drei Themenbereiche Nachhaltigkeit, Digitale Vernetzung sowie Werkzeuglebenszyklus unterteilt. Für alle Themenbereiche werden die relevanten Begrifflichkeiten erläutert und in einen Gesamtkontext eingeordnet. Zum Abschluss des Kapitels wird der bestehende Handlungsbedarf aus der Praxis zur datengestützten Gestaltung des nachhaltigen Werkzeuglebenszyklus beschrieben.

Entsprechend der vorgestellten Forschungsmethodik werden im **dritten Kapitel** bestehende wissenschaftliche Ansätze hinsichtlich ihrer Eignung zur Adressierung der hergeleiteten Problemstellung überprüft. Hierzu erfolgt zunächst die Herleitung und Definition einer Systematik zur Bewertung der wissenschaftlichen Ansätze. Diese Systematik besteht aus einem Bewertungs- und Anforderungssystem. Daraufhin werden ausgewählte Ansätze vorgestellt und unter Verwendung der hergeleiteten Systematik bewertet. Die Aggregation der Bewertungsergebnisse führt abschließend zum Handlungsbedarf aus der Theorie.

Als Reaktion auf die Handlungsbedarfe aus Praxis und Theorie erfolgt im **vierten Kapitel** die Herleitung und Konzeption des Prozessmodells zur datengestützten Gestaltung des nachhal-

⁶⁰ I. A. a. Ulrich et al. (Systemorientierte Managementlehre), 1984, S. 193.

tigen Werkzeuglebenszyklus. Dazu erfolgt zunächst eine Erläuterung wissenschaftstheoretischer Grundlagen der Modellierung, bevor anschließend grundlegende Merkmale des Prozessmodells definiert werden. Dies dient als Ausgangspunkt für die Herleitung der einzelnen Gestaltungselemente des Prozessmodells. Das Kapitel schließt mit der Synthese der Gestaltungselemente ab.

Im **fünften Kapitel** erfolgt die Detaillierung des im vierten Kapitel entwickelten Prozessmodells. Die einzelnen Gestaltungselemente werden dabei im Hinblick auf ihre Gestaltungsspekte definiert. Abschließend werden die Wechselwirkungen der einzelnen Gestaltungselemente erläutert und ein Zwischenfazit abgegeben.

Das **sechste Kapitel** führt anhand von zwei verschiedenen Fallbeispielen eine kritische Reflexion des im vorherigen Kapitel erarbeiteten Prozessmodells durch. Dazu werden initial das jeweilige Unternehmen sowie die spezifische Ausgangssituation beschrieben. Anschließend erfolgen die Anwendung des Prozessmodells und eine Darstellung der Ergebnisse der Anwendung. Dieses Kapitel dient der Dokumentation der Prüfung der Praxistauglichkeit der erarbeiteten Lösung im Anwendungszusammenhang.

Im abschließenden **siebten Kapitel** werden die Ergebnisse der vorliegenden Dissertation zusammenfassend dargestellt. Darüber hinaus wird ein Ausblick für weiteren Forschungsbedarf im Anwendungskontext gegeben.