

1 Einleitung

Im Rahmen des ersten Kapitels wird zunächst die grundsätzliche Ausgangssituation der Industrie beschrieben. Im zweiten Schritt folgt ein Übertrag der Problemstellung auf die Branche Werkzeugbau als zentraler Betrachtungsfokus dieser Dissertation. Basierend darauf wird im nächsten Schritt die Zielstellung sowie die zentrale Forschungsfrage abgeleitet. Abschließend werden der zur Lösung der Forschungsfrage angewandte Forschungsansatz sowie der Aufbau der Arbeit erläutert.

1.1 Ausgangssituation

Eine Säule der deutschen Wirtschaft ist die produzierende Industrie mit einem Anteil von 24 % an der Bruttowertschöpfung im Jahr 2022.¹ In der Vergangenheit konnten sich deutsche Unternehmen insbesondere im Bereich der Premium und Hochtechnologie erfolgreich im internationalen Wettbewerb differenzieren.² Die Exportquote bezogen auf Waren belief sich im Jahr 2022 auf 41 %, bezogen auf Waren und Dienstleistungen auf 51 % des Brutto Inlandprodukts (BIP).³ Der Erfolg der produzierenden Industrie ist bekannt durch das Siegel „Made in Germany“ und beruht auf einem, im Vergleich zu anderen Hochtechnologiesstandorten, hohen Ausbildungsniveau.⁴ In den vergangenen Jahren hat sich das Wettbewerbsumfeld für deutsche Unternehmen jedoch zunehmend verschärft. Insbesondere Unternehmen in den Exportmärkten treten zunehmend als direkte Konkurrenten auf und bieten vergleichbar hochwertige Leistungen in Bezug auf die Produkte sowie den Produktionsprozess an.⁵ Ein Vorteil der Schwellenländer liegt in den signifikant geringeren Lohnkosten.⁶ Das Resultat kann im World Competitiveness Ranking abgelesen werden. Unter den 64 größten Volkswirtschaften belegt Deutschland heute nur noch den 22. Platz.⁷

Produzierende Unternehmen am Wirtschaftsstandort Deutschland stehen angesichts der beschriebenen Ausgangssituation vor der Herausforderung, innovative Produkte kosteneffizient produzieren zu müssen. Als Bindeglied zwischen Produktentwicklung und Serienfertigung ist der Werkzeugbau ein zentraler Befähiger einer leistungsfähigen produzierenden Industrie.⁸ Als solcher sieht er sich mit der notwendigen Überwindung der drei zentralen Herausforderungen einer zunehmenden Produktderivatisierung, einer Verkürzung von Produktlebenszyklen sowie günstigeren Faktorkosten globaler Wettbewerber konfrontiert.⁹ Das Zusammenspiel der beiden Herausforderungen zunehmende Produktderivatisierung sowie Verkürzung von Pro-

¹ Vgl. Statistisches Bundesamt (Wichtige Indikatoren zu Industrie, Handel und Dienstleistungen), 2023.

² Vgl. Federowski; Pflanz (Zwischen Hochtechnologie und Handwerkskunst), 2017, S. 11-12.

³ Vgl. Statistisches Bundesamt (Globalisierungsindikatoren), 2023.

⁴ Vgl. Geis-Thöne (Bildungsstand der Bevölkerung im europäischen Vergleich), 2023, S. 24.; Vgl. Boos et al. (Pooling in Germany 2020), 2020, S. 4.

⁵ Vgl. Lisowski (Das asiatische Jahrhundert - dreht sich die Welt falsch?), 2019, S. 35-45.

⁶ Vgl. International Labour Office (Global Wage Report 2022-23), 2022, S. 35-89.

⁷ Vgl. International Institute for Management Development (World Competitiveness Booklet 2023), 2023, S. 36.

⁸ Vgl. Holmes et al. (Innovation in the automotive tool, die und mould industry), 2005, S. 125-129.; Vgl. Klocke et al. (Zukunftstudie Werkzeug- und Formenbau), 2005, S. 15.

⁹ Vgl. Schuh et al. (Der Werkzeugbau im Wandel), 2012, S. 72-74.

duktlebenszyklen führen zu einem Anstieg der Produktvielfalt sowie der Komplexität der Produkte und Produktionsprozesse. Die produzierte Menge je Variante nimmt entsprechend ab, wohingegen die Anzahl an zu produzierenden Varianten zunimmt.¹⁰ Bezogen auf die Gesamtkosten eines Produkts nehmen die Werkzeugkosten aufgrund der abnehmenden Produktionsstückzahlen je Derivat dementsprechend einen zunehmend größeren Anteil ein.¹¹ Das Budget je Werkzeug sinkt folglich, was den Werkzeugbau zwingt, seine Werkzeuge kostengünstiger anbieten zu müssen.¹² Ein zunehmend aggressiveres Wettbewerbsumfeld erschwert die Marktsituation für den Werkzeugbau zusätzlich. Insbesondere Marktbegleiter aus Niedriglohnländern sowie deren signifikant günstigeren Faktorkosten stellen eine Herausforderung dar.¹³

Dem zunehmenden Kostendruck für qualitativ hochwertige Werkzeuge können Werkzeugbaubetriebe in Hochlohnländern jedoch nicht durch eine Reduzierung der Einstandspreise begegnen.¹⁴ Dahingegen birgt die Analyse und Auswertung der Lebenszykluskosten eines Werkzeugs die Möglichkeit, die Werkzeugkosten je produziertem Teil zu senken. Dazu ist es jedoch zunächst notwendig, Transparenz über die Werkzeugkosten sowie die beeinflussenden Faktoren entlang des gesamten Werkzeuglebenszyklus zu erhalten. Voraussetzungen sind eine Integration des Werkzeugbaus in die Wertschöpfungsprozesse des Kunden sowie eine ganzheitliche digitale Vernetzung. Auf dieser Basis kann in Kooperation mit dem Kunden spezifisches Werkzeug- und Produktionswissen aufgebaut und für eine systematische Reduzierung der Werkzeuglebenszykluskosten eingesetzt werden.¹⁵ Deutsche Werkzeugbaubetriebe benötigen dazu konkrete Lösungsansätze für die datenbasierte Werkzeuglebenszykluskostenanalyse. Hierdurch kann die Entwicklung und Umsetzung eines dringend benötigten Differenzierungsmerkmals für Werkzeugbaubetriebe in Hochlohnländern unterstützt und die Wettbewerbsfähigkeit der Branche Werkzeugbau nachhaltig verbessert werden.

1.2 Problemstellung

Das vorhandene Prozesswissen sowie der technologische Fortschritt deutscher Werkzeugbaubetriebe bieten die Möglichkeit, über die Erfassung und Analyse der Werkzeuglebenszykluskosten einen zusätzlichen Kundennutzen und damit ein Differenzierungsmerkmal gegenüber Marktbegleitern zu schaffen.¹⁶ Große Einsparpotenziale in Bezug auf das Werkzeug-Maschine-System, z. B. die Kombination aus Umformwerkzeug und Presse, ergeben sich insbesondere durch die hohen Beschaffungs-, Instandhaltungs- und Ersatzteilkosten. Speziell Stanz- und Massivumformwerkzeuge zeichnen sich durch hohe Nutzungskosten von oft mehr als 50 % der gesamten Werkzeuglebenszykluskosten aus.¹⁷ In der Vergangenheit fanden

¹⁰ Vgl. Friedli; Schuh (Wettbewerbsfähigkeit der Produktion an Hochlohnstandorten), 2012, S. 11-16.

¹¹ Vgl. Schuh et al. (Synchronisierung im industriellen Werkzeugbau), 2011, S. 375.

¹² Vgl. Schuh et al. (Life-Cycle-Oriented Product-Service-Systems in the Tool and Die Making Industry), 2016, S. 556.

¹³ Vgl. Zwanzig (Taktung der Unikatfertigung am Beispiel des Werkzeugbaus), 2010, S. 24-25.

¹⁴ Vgl. Zwanzig (Taktung der Unikatfertigung am Beispiel des Werkzeugbaus), 2010, S. 24-25.

¹⁵ Vgl. Hienzsch et al. (Forecasting life-cycle costs of high quality tools), 2014, S. 1-2.; Vgl. Schuh et al. („Kosten-günstigere“ Werkzeuge durch Lebenszykluskostenbetrachtung), 2013, S. 972-973.

¹⁶ Vgl. Böttjer et al. (Data-Driven Identification of Remaining Useful Life), 2022, S. 434.; Vgl. Schuh et al. („Kosten-günstigere“ Werkzeuge durch Lebenszykluskostenbetrachtung), 2013, S. 972.

¹⁷ Vgl. Reinsch; Eger (Life Cycle Costs), 2006, S. 16-17.

Werkzeuglebenszyklusbetrachtungen wenig Anwendung, da die Lebenszykluskosten und -daten nicht erhoben oder nicht jedem einzelnen Werkzeug bzw. jeder einzelnen Komponente verursachungsgerecht zugeordnet werden konnten.¹⁸ Voraussetzung für eine Reduzierung der Werkzeuglebenszykluskosten ist die Schaffung von Kostentransparenz über den gesamten Werkzeuglebenszyklus.¹⁹ Der digitale Schatten schafft diese Kostentransparenz. Dieser beschreibt das hinreichend genaue Abbild der eigenen Prozesse in Produktion, Entwicklung und angrenzenden Bereichen und hat zum Ziel, eine echtzeitfähige Auswertungsbasis aller relevanten statischen und dynamischen Daten zu schaffen.²⁰ Je umfassender die Datenbasis der Lebenszykluskostenanalyse, umso umfangreicher können Einsparpotenziale im Werkzeugbau sowie der Serienproduktion wahrgenommen werden. Dabei sollten insbesondere die Schnittstelle des Werkzeugbaus zur Serienproduktion sowie die Daten aus der Nutzungsphase des Werkzeugs betrachtet werden, da wie zuvor erläutert ein Großteil der Werkzeuglebenszykluskosten in der Betriebs- und Verwertungsphase während der Nutzung in der Serienproduktion anfällt. Werkzeugbaubetriebe sehen sich dabei häufig mit einer mangelnden Datentransparenz seitens der Serienproduktion konfrontiert.²¹ Sollten die beschriebenen Werkzeuglebenszykluskosten und -daten bereits erhoben werden, fehlt ein Konzept, welches Unternehmen der Branche Werkzeugbau sowie die Kunden des Werkzeugbaus dazu befähigt, alle für die Analyse und Reduzierung der Werkzeuglebenszykluskosten benötigten Daten systematisch zu erfassen, auszuwerten und für spezifische Anwendungen entlang des Werkzeuglebenszyklus nutzbar zu machen.

Werkzeugbaubetriebe sollten sich folglich aktiv mit der datenbasierten Werkzeuglebenszykluskostenanalyse auseinandersetzen, um die Erstellung, Nutzung und Verwertung von Werkzeugen in Zusammenarbeit mit ihren Kunden in Zukunft noch effektiver und nachhaltiger zu gestalten und damit die eigene Wettbewerbsfähigkeit zu sichern bzw. weiter zu steigern. Ein entsprechend spezifisches Zielbild für die datenbasierte Werkzeuglebenszykluskostenanalyse ist bislang weder in der Theorie noch in der Praxis vorhanden. Ebenso fehlt ein Handlungsleitfaden, der Werkzeugbaubetriebe während der Auslegung der datenbasierten Werkzeuglebenszykluskostenanalyse unterstützt.

1.3 Zielsetzung der Arbeit

In Bezug auf die vorgestellte Problemstellung ist das übergeordnete Ziel dieser Dissertation die Entwicklung eines Lösungsansatzes zur anforderungsgerechten Nutzung von Potenzialen der digitalen Vernetzung für die datenbasierte Werkzeuglebenszykluskostenanalyse. Die Anwendung des zu entwickelnden Lösungsansatzes soll insbesondere die Wettbewerbsfähigkeit

¹⁸ Vgl. Schuh et al. ("Low-Cost" Tools Through Life Cycle Observation), 2014, S. 526-530.; Vgl. Reinsch; Eger (Life Cycle Costs), 2006, S. 16-17.

¹⁹ Vgl. Boos et al. (IT-Infrastruktur zur digitalen Vernetzung im Werkzeugbau), 2021, S. 6-7.; Vgl. Schuh et al. ("Kostengünstigere" Werkzeuge durch Lebenszykluskostenbetrachtung), 2013, S. 972.

²⁰ Vgl. Schuh et al. (Effizientere Produktion mit Digitalen Schatten), 2020, S. 106.; Vgl. Schuh et al. (Keine Industrie 4.0 ohne den Digitalen Schatten), 2016, S. 745.

²¹ Vgl. Brenner et al. (Total Tool Cost of Ownership Indicator), 2018, S. 1406-1408.; Vgl. Schuh et al. ("Low-Cost" Tools Through Life Cycle Observation), 2014, S. 526-530.; Vgl. Schweiger (Nachhaltige Wettbewerbsvorteile für Anbieter und Nutzer von Maschinen/Anlagen), 2009, S. 22-24.

von Werkzeugbaubetrieben an Hochlohnstandorten wie beispielsweise Deutschland nachhaltig steigern.²²

Obwohl die Potenziale der Lebenszykluskostenanalyse sowie die zur Umsetzung notwendigen Bestandteile von Industrie 4.0 konkret für die Branche Werkzeugbau beschrieben werden, kann keine signifikante Anwendung der datenbasierten Werkzeugglebenszykluskostenanalyse verzeichnet werden.²³ Ursächlich dafür ist, dass bisher keine Lösungsansätze existieren, die unter Berücksichtigung der werkzeugbauspezifischen Charakteristika der Einzel- und Kleinserienfertigung die datenbasierte Werkzeugglebenszykluskostenanalyse systematisch und ganzheitlich beschreiben.

Nach KUBICEK ist es für eine effektive und effiziente Forschung notwendig, den Betrachtungsbereich eindeutig einzuzgrenzen, indem die Zielsetzung der Forschungsarbeit konkret benannt wird.²⁴ Die konkrete Zielsetzung dieser Arbeit lautet wie folgt:

Entwicklung eines Modells zur Gestaltung der datenbasierten Werkzeugglebenszykluskostenanalyse, das strukturelle Anforderungen sowie aktuelle Herausforderungen der Branche Werkzeugbau berücksichtigt und offen adressiert.

1.4 Forschungsansatz der Arbeit

Der Forschungsansatz beruht auf dem allgemeinen Forschungsverständnis des Lehrstuhls für Produktionssystematik am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University. Die Ausarbeitungen bereits verfasster Dissertationen am Lehrstuhl für Produktionssystematik dienen als Basis für die wissenschaftlichen Grundlagen des Forschungsansatzes. Konkret orientiert sich dieser Arbeit an den Dissertationen von PITSCHE²⁵, SALMEN²⁶, SCHULTES²⁷ und STRAKE²⁸.

Gemäß BINDER und KANTOWSKY kann die wissenschaftliche Forschung als ein Prozess zur Erkenntnisgewinnung beschrieben werden. Die gesammelten Erkenntnisse der Forschung werden der Forschungs- bzw. Wissensgemeinschaft als eine neue Wirklichkeit zur Verfügung gestellt. Da der wissenschaftliche Erkenntnisprozess aufgrund eines nicht näher begründbaren Wertesystems des Forschenden subjektiven Charakter aufweist, ist zur Veröffentlichung der neuen Erkenntnisse vorab die Erkenntnisperspektive des Forschenden zu erläutern.²⁹

²² Vgl. Reinsch; Eger (Life Cycle Costs), 2006, S. 16-17.

²³ Vgl. Boos et al. (IT-Infrastruktur zur digitalen Vernetzung im Werkzeugbau), 2021, S. 9-17.

²⁴ Vgl. Kubicek (Heuristische Bezugsrahmen), 1977, S. 24-26.

²⁵ Vgl. Pitsch (Kompetenzfeldbasierte Vernetzung von Werkzeugbaustandorten), 2014, S. 4-8.

²⁶ Vgl. Salmen (Gestaltungsmodell für den digital vernetzten Shopfloor im Werkzeugbau), 2016, S. 4-8.

²⁷ Vgl. Schultes (Gestaltungsmodell zur digitalen Vernetzung von Werkzeugbaubetrieben mit Lieferanten), 2019, S. 4-7.

²⁸ Vgl. Stracke (Gestaltungsmodell für den vernetzten und synchronisierten Serienanlauf von Werkzeugen), 2020, S. 6-9.

²⁹ Vgl. Binder; Kantowsky (Technologiepotentiale), 1996, S. 3-4.

Bei der Erkenntnisperspektive handelt es sich um ein sogenanntes „belief system“. Dieses ist als grundlegende Überzeugung zu akzeptieren und muss nicht detailliert nachgewiesen werden.³⁰ Um jedoch die intersubjektive Begreifbarkeit der Erkenntnisse des Forschungsprozesses sicherzustellen, ist es notwendig, die grundlegende Erkenntnisperspektive sowie das methodische Vorgehen offenzulegen.³¹ Dazu wird die vorliegende Arbeit nachfolgend in das Spektrum der Wissenschaften eingeordnet. ULRICH & HILL unterscheiden grundlegend zwischen den Formal- und den Realwissenschaften.³²

Zu den Disziplinen der Formalwissenschaften zählen unter anderem die Mathematik, die Logik und die Philosophie. Ihre Aussagen sind analytisch und rein theoretischer Natur. Folglich können Sie in der Praxis weder beobachtet noch widerlegt werden. Die Richtigkeit der Aussagen kann ausschließlich durch das Suchen nach logischen Widersprüchen erfolgen.³³

Im Gegensatz zu den Formalwissenschaften wird mit den Realwissenschaften das Ziel verfolgt, empirisch wahrnehmbare Wirklichkeitsausschnitte zu beschreiben, zu erklären und zu gestalten.³⁴ Für die Überprüfung der synthetischen Aussagen ist zusätzlich zur Suche nach logischen Widersprüchen eine Faktenanalyse durchzuführen.³⁵ Die Realwissenschaften können in die reinen Grundlagenwissenschaften und die angewandten Handlungswissenschaften unterteilt werden. Während mit den Grundlagenwissenschaften, zu denen die Naturwissenschaften wie Physik, Chemie und Biologie zählen, der Versuch unternommen wird, empirische Wirklichkeitsausschnitte zu erklären und ein theoretisches Ziel zu verfolgen, liegt der Fokus bei den angewandten Handlungswissenschaften auf der Untersuchung des Verhaltens und Handelns einzelner Menschen, Gruppen sowie ganzer Gesellschaften. Den Handlungswissenschaften können beispielsweise die Betriebswirtschaftslehre und die Sozialwissenschaften wie beispielsweise die Soziologie zugeordnet werden.³⁶

Auch die Ingenieurwissenschaften können den Realwissenschaften zugeordnet werden. Sie können jedoch weder eindeutig den reinen Grundlagenwissenschaften noch eindeutig den angewandten Handlungswissenschaften zugeordnet werden.³⁷ Diese ingenieurwissenschaftliche Dissertation ist aufgrund des hohen Praxisbezugs und der methodischen Bearbeitung eines Problems des menschlichen Handelns den Handlungswissenschaften zuzuordnen. Die Arbeit weist zudem Schnittmengen zur Betriebswirtschaftslehre auf. In der nachfolgenden Abbildung 1 ist die erläuterte Wissenschaftssystematik sowie die Einordnung der Ingenieurwissenschaften abgebildet.

³⁰ Vgl. Guba; Lincoln (Competing paradigms in qualitative research), 1994, S. 107.

³¹ Vgl. Binder; Kantowsky (Technologiepotentiale), 1996, S. 3.

³² Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1976, S. 305.

³³ Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1976, S. 305.

³⁴ Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1976, S. 305.

³⁵ Vgl. Schanz (Wissenstheoretische Grundfragen der Führungsforschung), 1987, S. 2039.

³⁶ Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1976, S. 305.

³⁷ Vgl. Schultes (Gestaltungsmodell zur digitalen Vernetzung von Werkzeugbaubetrieben mit Lieferanten), 2019, S. 5.; Vgl. Salmen (Gestaltungsmodell für den digital vernetzten Shopfloor im Werkzeugbau), 2016, S. 6.

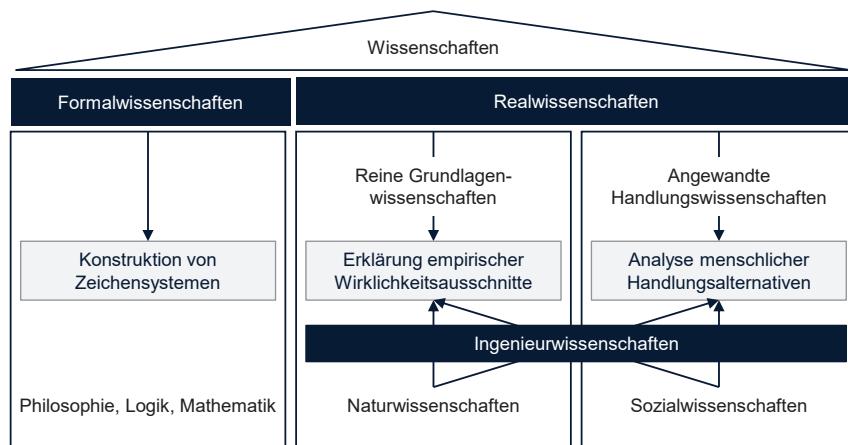


Abbildung 1: Wissenschaftssystematik³⁸

Auf die Zuordnung der vorliegenden Arbeit zu den angewandten Handlungswissenschaften folgt die Definition der grundlegenden Erkenntnisperspektive. Dazu wird nachfolgend erläutert, welche vorwissenschaftlichen und wertgebundenen Annahmen als Basis dieser Arbeit dienen.³⁹ Das sogenannte Subjektivitätskriterium wissenschaftlicher Arbeiten wird mit dieser Offenlegung außer Kraft gesetzt.⁴⁰ In der Wissenschaftstheorie werden die Überzeugungen des Forschers⁴¹ und das damit zusammenhängende Grundverständnis auch als Paradigma bezeichnet.⁴² In der Betriebswirtschaftslehre existieren drei relevante Paradigmen, die nachfolgend kurz angeführt werden. Zum einen existieren der entscheidungstheoretische Ansatz nach HEINEN⁴³ und zum anderen der faktortheoretische Ansatz nach GUTENBERG⁴⁴. Darüber hinaus gibt es den Systemansatz nach ULRICH & HILL⁴⁵. Als grundlegende Wissenschaftstheorie dieser Arbeit wird der Systemansatz nach ULRICH & HILL verwendet. Ausschlaggebend für diese Wahl ist, dass der Ansatz nach ULRICH & HILL integrativ, offen und praxisnah ist. Damit weist dieser Ansatz eine besondere Nähe zu den Ingenieurwissenschaften auf.⁴⁶

Der Forschungsprozess wird neben der zuvor erläuterten grundlegenden Erkenntnisperspektive insbesondere durch die Forschungsmethodologie definiert.⁴⁷ Der zur Entwicklung neuer Lösungen und Entdeckung neuen Wissens notwendige Erkenntnisprozess wird mithilfe der Forschungsmethodologie beschrieben. Dazu wird insbesondere beschrieben, auf welche Art

³⁸ J.A.a. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1976, S. 305.

³⁹ Vgl. Pitsch (Kompetenzfeldbasierte Vernetzung von Werkzeugbaustandorten), 2014, S. 6.

⁴⁰ Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1976, S. 306.

⁴¹ Falls geschlechterneutrale Bezeichnungen nicht verwendet werden können, wird aufgrund der besseren Lesbarkeit im Text das generische Maskulinum verwendet. Gemeint sind jedoch immer alle Geschlechter

⁴² Vgl. Kuhn (Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen), 1988, S. 25.

⁴³ Vgl. Heinen (Entwicklungstendenzen in der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre), 1971, S. 89.

⁴⁴ Vgl. Gutenberg (Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1951, S. 3.

⁴⁵ Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1976, S. 307-308.

⁴⁶ Vgl. Ulrich; Hill (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1976, S. 308-309.

⁴⁷ Vgl. Schultes (Gestaltungsmodell zur digitalen Vernetzung von Werkzeugbaubetrieben mit Lieferanten), 2019, S. 6.; Vgl. Pitsch (Kompetenzfeldbasierte Vernetzung von Werkzeugbaustandorten), 2014, S. 6-7.

und Weise die Gestaltung des Erkenntnisprozesses stattfindet.⁴⁸ Der Erkenntnisgewinn beginnt nach Popper mit der Wahrnehmung, Beobachtung oder Sammlung von Problemen und nicht, wie angenommen werden könnte, mit der Wahrnehmung, Beobachtung oder Sammlung von Daten oder Tatsachen.⁴⁹ Die identifizierten Probleme sollen anschließend mithilfe der angewandten Handlungswissenschaften gelöst werden.

Aufgrund ihrer Zuordnung zu den angewandten Handlungswissenschaften sowie der Wahl des Systemansatzes nach ULRICH & HILL orientiert sich diese Dissertation an der Forschungsmethodologie der explorativen Forschung, die nachfolgend erläutert wird. Die Zielsetzung der explorativen Forschung ist die Erarbeitung von theoretischen Aussagen und analytischen Lösungen auf Basis von systemseitigem Erfahrungswissen.⁵⁰ Der Forschungszyklus nach TOMCZAK bildet die dafür notwendige inhaltliche Grundlage. Er wird nachfolgend erläutert und abschließend dargestellt.⁵¹

Bei einem explorativen Forschungsvorhaben werden wissenschaftliche Ergebnisse in einem iterativen Prozess entwickelt, der auf systematischem Erfahrungswissen aufbaut. Die Generierung neuer Erkenntnisse basiert dabei sowohl auf der Verarbeitung dazu gewonnener Erkenntnisse als auch auf der Rückführung der Erkenntnisse in die Fragestellung. Dieses Vorgehen ermöglicht somit die Abfrage und Überprüfung zwischen Theorie und Praxis.⁵²

Die Generierung neuer Erkenntnisse kann dabei in drei unterschiedliche Gruppen unterteilt werden. Die erste Gruppe bilden indirekte Erfahrungen bspw. auf Basis dokumentierter Studien oder Berichte. Direkte qualitative Erfahrungen bspw. durch die Durchführung von Industrieprojekten oder Experteninterviews bilden die zweite Gruppe. Die abschließende dritte Gruppe bilden direkte quantitative Erfahrungen bspw. durch die systematische Durchführung und Auswertung von Experimenten oder Benchmarkings.⁵³ Das zuvor erläuterte forschungsmethodische Vorgehen basierend auf dem Forschungszyklus nach TOMCZAK und KUBICEK ist in der nachfolgenden Abbildung 2 dargestellt.

⁴⁸ Vgl. Schultes (Gestaltungsmodell zur digitalen Vernetzung von Werkzeugbaubetrieben mit Lieferanten), 2019, S. 6.; Vgl. Salmen (Gestaltungsmodell für den digital vernetzten Shopfloor im Werkzeugbau), 2016, S. 7.

⁴⁹ Vgl. Popper (Die Logik der Sozialwissenschaften), 1975, S. 104.

⁵⁰ Vgl. Kubicek (Heuristische Bezugsrahmen), 1977, S. 13.

⁵¹ Vgl. Tomczak (Forschungsmethoden in der Marketingwissenschaft), 1992, S. 84.

⁵² Vgl. Tomczak (Forschungsmethoden in der Marketingwissenschaft), 1992, S. 84.; Vgl. Kubicek (Heuristische Bezugsrahmen), 1977, S. 13-14.

⁵³ Vgl. Tomczak (Forschungsmethoden in der Marketingwissenschaft), 1992, S. 83-85.

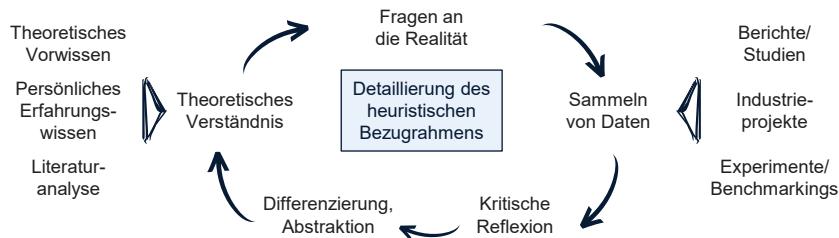


Abbildung 2: Forschungsmethodisches Vorgehen⁵⁴

Der heuristische Bezugsrahmen bildet den Mittelpunkt des Forschungsprozesses, lenkt den Forschungsprozess anhand praxisrelevanter Problemstellungen und ist aus den relevanten Analyselementen sowie deren Beziehungen aufgebaut. Den Kern bildet ein ungeklärtes Problem oder ein Phänomen.⁵⁵ Der heuristische Bezugsrahmen bildet die Problemstellung aufgrund der bereits erläuterten Subjektivität entsprechend dem Vorverständnis des Autors ab. Im Rahmen dieser Arbeit ist dies die in Kapitel 1.1 hergeleitete Problemstellung.

Der heuristische Bezugsrahmen dieser Arbeit umfasst sechs Teile, die nachfolgend vorgestellt werden. Die Basis bilden die Werkzeulebenszykluskosten, mit deren Betrachtung die nachhaltige Leistungsfähigkeit und die Positionierung der Branche Werkzeugbau im globalen Wettbewerb gesteigert werden soll. Für die Erfassung und Verknüpfung der Werkzeulebenszykluskosten sind die Potenziale von Industrie 4.0 zu nutzen. Dazu wird der digitale Schatten⁵⁶ des Werkzeugs über den gesamten Werkzeulebenszyklus benötigt. Für die systematische Analyse und Auswertung der Werkzeugkosten über den gesamten Lebenszyklus des Werkzeugs wird die Werkzeulebenszykluskostenanalyse eingesetzt, die spezifisch auf die Besonderheiten der Branche Werkzeugbau und Formenbau zugeschnitten ist. Die beiden Voraussetzungen Werkzeulebenszykluskostenanalyse und Digitaler Schatten sind direkt miteinander verbunden und stellen in Kombination den Kern des Gestaltungsmodells zur datenbasierten Werkzeulebenszykluskostenanalyse dar. In der nachfolgenden Abbildung 3 ist der zuvor vorgestellte heuristische Bezugsrahmen dargestellt.

⁵⁴ i.A.a. Tomczak (Forschungsmethoden in der Marketingwissenschaft), 1992, S. 84.; i.A.a. Kubicek (Heuristische Bezugsrahmen), 1977, S. 14.

⁵⁵ Vgl. Tomczak (Forschungsmethoden in der Marketingwissenschaft), 1992, S. 84.

⁵⁶ Eine genaue Definition erfolgt in Kapitel 2.2.2.3

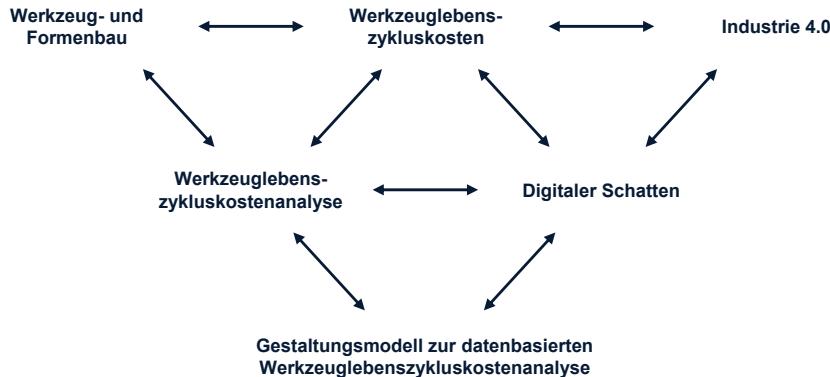


Abbildung 3: Heuristischer Bezugsrahmen⁵⁷

Neben dem theoretischen Verständnis ist wie zuvor vorgestellt die Generierung neuer Erkenntnisse ein relevanter Aspekt des forschungsmethodischen Vorgehens. Da der Autor sich im Rahmen seiner wissenschaftlichen Arbeit regelmäßig mit der Thematik dieser Dissertation befasst und entsprechend sowohl direkte quantitative und qualitative Erfahrungen als auch indirekte Erfahrungen gesammelt hat, wird nachfolgend der relevante Hintergrund des Autors sowie die Bereiche, in denen er praktisches Erfahrungswissen sammeln konnte, vorgestellt.

Während seiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionssystematik des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen hat der Autor im Rahmen von zahlreichen Forschungs- und Industrieprojekten sowie Lehr- und Weiterbildungsveranstaltungen seit 2019 das genannte Erfahrungswissen aufgebaut. Einen tiefen Einblick in die Strukturen des Werkzeugs erlaubte darüber hinaus die Leitung von nationalen und internationalen Industrieprojekten zur strategischen Ausrichtung, zur effizienten Werkzeuginstandhaltung sowie zur datenbasierten Analyse des Werkzeulebenszyklus. Die Fragestellungen der digitalen Vernetzung von Werkzeugbau und Serienproduzent, die digitale Abbildung des Werkzeugbereitstellungs-, Werkzeugnutzungs- und Werkzeugausmusterungsprozesses in einem digitalen Schatten sowie die Analyse der Werkzeulebenszykluskosten sind im Rahmen zahlreicher Vorträge, Workshops, Forschungsprojekte, Seminare und Arbeitskreise vorgestellt und diskutiert worden. Ergänzend ist ein intensives Studium der forschungsrelevanten Literatur durchgeführt worden. Bereits bestehende Ansätze zur datenbasierten Werkzeulebenszykluskostenanalyse sind kritisch reflektiert und weiterentwickelt worden. Die ausgiebige Verifizierung des in dieser Arbeit beschriebenen Gestaltungsmodells zur datenbasierten Werkzeulebenszykluskostenanalyse ist im intensiven Austausch mit Experten aus der Praxis sowie der Theorie erfolgt.

⁵⁷ i.A.a. Kubicek (Heuristische Bezugsrahmen), 1977, S. 17-20.

1.5 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau dieser Arbeit orientiert sich an den definierten Phasen angewandter Forschung nach ULRICH & HILL. Die Erfassung eines relevanten Praxisproblems bildet den Ausgangspunkt. Für die Ableitung von Beurteilungskriterien, Gestaltungsregeln und Gestaltungsmodellen wird das erfasste Problem sowohl wissenschaftstheoretisch als auch im Anwendungszusammenhang untersucht. Die auf diese Weise abgeleiteten Gestaltungsregeln und -modelle werden anschließend durch eine Überprüfung in der Praxis für eine Implementierung vorbereitet.⁵⁸ Nachfolgend werden darauf aufbauend die sieben Kapitel dieser Arbeit eingeführt.

Aufbauend auf das erste Kapitel folgt im zweiten Kapitel die Erläuterung der für diese Arbeit relevanten Grundlagen. Zunächst wird die Branche Werkzeugbau als der Gestaltungs- und Betrachtungsbereich dieser Arbeit vorgestellt und relevante Begrifflichkeiten, die Branchen- und Leistungsstruktur, die Wertschöpfung und Kundeninteraktion im Werkzeugbau sowie die Themen Werkzeuglebenszyklusphasen und Werkzeuglebenszykluskosten beschrieben. Im zweiten Unterkapitel wird der Themenkomplex Industrie 4.0 mit den Unterpunkten relevante Begrifflichkeiten, technologische Befähiger, Smart Factory und Softwaresysteme eingeführt und erklärt. Das dritte Unterkapitel bildet das Thema Data Analytics und umfasst die Themen Begriffsdefinitionen und Abgrenzungen, Datenmanagement, Methoden der Datenanalyse und Vorgehensmodelle zur Datenanalyse. Das Kapitel schließt mit der Herleitung des Handlungsbedarfs aus der Praxis. Das dritte Kapitel enthält die Analyse und Bewertung bestehender Ansätze zur datenbasierten Werkzeuglebenszykluskostenanalyse. Als Grundlage der Bewertung erfolgt zunächst die Definition von Anforderungen sowie die Entwicklung eines Bewertungssystems. Danach werden bestehende Ansätze vorgestellt und bewertet. Darauf aufbauend erfolgt abschließend die Herleitung des Handlungsbedarfs aus der Theorie sowie die DetAILlierung der Forschungsfrage.

Im Rahmen des vierten Kapitels wird das Gestaltungsmodell für die datenbasierte Werkzeuglebenszykluskostenanalyse konzeptioniert. Im Detail werden die Grundlagen wissenschaftstheoretischer Konzeption erläutert, die grundlegenden Merkmale des Gestaltungsmodells definiert, die einzelnen Elemente des Gestaltungsmodells hergeleitet und die Synthese des Modells sowie eine kritische Reflexion des Modells durchgeführt. Das fünfte Kapitel umfasst die detaillierte Ausgestaltung des Gestaltungsmodells. Dazu werden die einzelnen Gestaltungselemente und -aspekte im Detail beschrieben sowie die Wechselwirkungen zwischen den Gestaltungselementen erläutert.

Im sechsten Kapitel wird das entwickelte Gestaltungsmodell anhand von zwei Fallbeispielen im Anwendungszusammenhang validiert. Dazu werden zunächst jeweils kurz die Unternehmen sowie Ausgangssituationen vorgestellt und anschließend die Anwendung des Gestaltungsmodells beschrieben. Im letzten Schritt werden die in Kapitel drei definierten Anforderungen auf das entwickelte Modell angewendet und die Erfüllung der Anforderungen überprüft. Im siebten Kapitel werden die Ergebnisse der Dissertation zusammengefasst und ein Ausblick auf die Implikationen des Betrachtungsbereichs sowie mögliche weitere Forschungsansätze

⁵⁸ Vgl. Ulrich (Management), 1984, S. 193.

gegeben. In der nachfolgenden Abbildung 4 sind die eingeführten Phasen der angewandten Forschung im Zusammenhang mit den sieben eingeführten Kapiteln dieser Arbeit dargestellt.



Abbildung 4: Aufbau der Arbeit im Kontext der Phasen angewandter Forschung⁵⁹

⁵⁹ i.A.a. Ulrich (Management), 1984, S. 193.