

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die Produktionstechnik befindet sich in einem stetigen Wandel. Dieser Wandel wird durch unterschiedliche Faktoren verursacht, gebremst oder angetrieben. MOURTZIS und DOUKAS beschreiben die Ergebnisse der Wandlung als Paradigmen der Produktion.¹ Paradigmen definiert AGAMBEN als Erkenntnisformen, die analogisch sind: „Aus dem Besonderen entwickelt sich ein anderes Besonderes“.² Zu den Auslösern solcher Entwicklungen zählen soziale und politische sowie technologische Veränderungen. Die Entwicklungen seit Beginn der Industrialisierung werden in Abbildung 1.1 dargestellt. Heute bestimmt das Paradigma der Personalisierung noch die Gestaltung von Produkten und Produktionssystemen, welches sich durch die Vernetzung von Produktionssystemen im Sinne der Industrie 4.0 auszeichnet.³

Im Kern jedes neuen Paradigmas stehen Fertigungstechnologien, die entweder den Paradigmenwechsel ausgelöst oder sich als dessen Konsequenz entwickelt haben. Die additive Fertigung ist eine solche Technologie der Industrie 4.0. YAO und LIN bewerten die additive Fertigung als den wichtigsten Befähiger einer personalisierten Produktion.⁴ Der Hauptvorteil der additiven Fertigung für eine personalisierte Produktion ist die Fähigkeit, Produkte ohne Werkzeuge und Halbzeuge herzustellen. Auf dieser Basis können Unikate ohne Kostenaufschlag produziert werden.⁵

Diese Wahrnehmung der additiven Fertigung ist teilweise heute noch gültig. Jene Eigenschaften, die den Wirbel um die additive Fertigung ausgelöst haben, sind durch die Weiterentwicklung der Technologie detailliert. Der fehlende Kostenaufschlag bei der Produktion von Einzelstücken ist im Hinblick auf die Komplexität der Konstruktion, der Verfahren und der Nachbearbeitung heute relativiert.⁶ Die Komplexität der additiven Fertigungsverfahren führt jedoch zu einer langsamen Implementierung. Eine Strategie zur Steigerung der Implementierung ist die Bewerbung von erfolgreichen Fallbeispielen mit Fokus auf einer verbesserten Wirtschaftlichkeit gegenüber konven-

¹ Vgl. Dimitris MOURTZIS und Michael DOUKAS, „The Evolution of Manufacturing Systems“, in *Handbook of research on design and management of lean production systems*, hrsg. Pavol SEMANCO und Vladimir MODRAK, Bd. 75, Advances in Logistics, Operations, and Management Science (Hershey, PA, USA: IGI Global, 2014), S. 3.

² Vgl. Giorgio AGAMBEN, *The signature of all things: On method*, 2. print (New York, NY: Zone Books, 2010), S. 31.

³ Vgl. MOURTZIS und DOUKAS, „The Evolution of Manufacturing Systems“, S. 3-5.

⁴ Vgl. Xifan YAO und Yingzi LIN, „Emerging manufacturing paradigm shifts for the incoming industrial revolution“, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 85, Nrn. 5-8 (2016): S. 1666.

⁵ Vgl. I. GIBSON et al., *Additive Manufacturing Technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing* (New York: Springer, 2016), S. 9 f.

⁶ Vgl. Martin BAUMERS und Matthias HOLWEG, „On the economics of additive manufacturing: Experimental findings“, *Journal of Operations Management* 65, Nr. 8 (2019): S. 11 f.

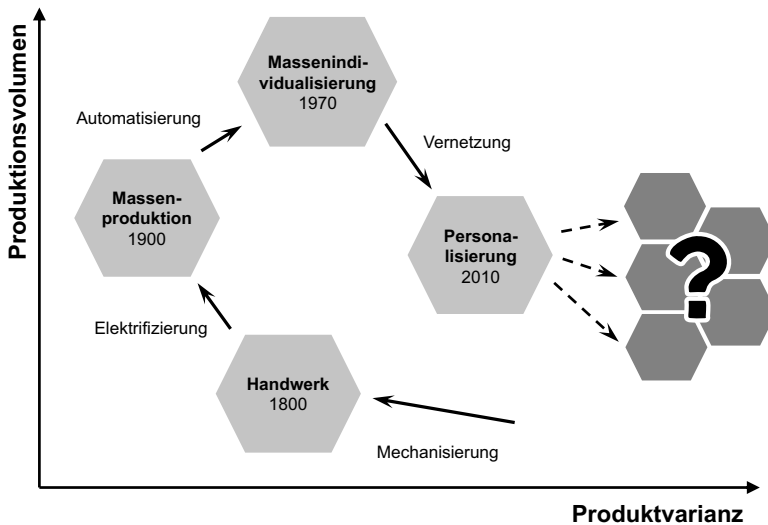


Abbildung 1.1: Veränderung der Paradigmen der Produktion⁸

tionellen Technologien. Solche Vorteile werden besonders dem Werkzeugbau als Fokusindustrie für eine Adaption der additiven Fertigung als Fertigungstechnologie zugeschrieben.⁷

Bereits 1999 analysieren CHUA et al. verschiedene Rapid Prototyping Technologien in Hinblick auf deren Eignung zur Herstellung von Werkzeugen. Unter anderem werden auch Prototypenwerkzeuge mithilfe additiver Fertigungsverfahren hergestellt und erprobt. Hier zeigen sich mögliche Vorteile in Bezug auf Kosten und Herstellungszeit der Werkzeuge.⁹ Dies ist für die Branche des Werkzeugbaus von besonderem Interesse. In Deutschland ist die Branche ein zentraler Bestandteil des Mittelstands und hält im internationalen Wettbewerb eine führende Rolle aufgrund überlegender Qualität, der erreichten Komplexität von Werkzeugkonzepten und der Präzision in der Ausführung der Herstellung.¹⁰ Über Jahre ist eine Fokussierung auf wenige Fertigungsprozesse gewachsen. Dies ist unter anderem bedingt durch eine hohe Spezialisierung auf Produktgruppen

⁷ Vgl. B. K. PAUL und S. BASKARAN, „Issues in fabricating manufacturing tooling using powder-based additive freeform fabrication“, *Journal of Materials Processing Technology* 61, Nrn. 1-2 (1996): 168–172; Wolfgang BOOS et al., *Erfolgreich Additive Manufacturing nutzen: Im Werkzeugbau* (Aachen: WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH, 2022).

⁸ Eigene Darstellung nach KOREN (*The Global Manufacturing Revolution: Product-process-business integration and reconfigurable systems*, S. 34)

⁹ Vgl. C. K. CHUA et al., „Rapid tooling technology. Part 1. A comparative study“, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 15, Nr. 8 (1999): S. 605-607.

¹⁰ Vgl. Wolfgang BOOS et al., *World of Tooling 2022*, 3. Auflage (Aachen: RWTH Aachen Werkzeugmaschinenlabor, 2022), S. 11, 31-35.

mit ähnlichen Qualitätsmerkmalen oder Funktionalitäten. Als Konsequenz ergibt sich eine starre Positionierung des Werkzeugbaus in globalen Wertschöpfungsketten. Dies macht die Unternehmen der Branche anfällig für Angebots- und Nachfrageschwankungen. Werkzeugbaubetriebe, z. B. in der Automobilzulieferindustrie, könnten daher tendenziell stärker von Krisen betroffen sein als global agierende Konzerne. Folglich werden zukünftig neue Lösungen zur Steigerung der Effizienz der Werkzeugherstellung und die Stärkung der Integration in Entwicklungsprozesse beim Kunden benötigt. Diese beiden Themen fokussieren Werkzeugbaubetriebe in Deutschland besonders.

Werkzeugbaubetriebe müssen mehrere Anforderungen erfüllen, um eine aktive Rolle im Entwicklungsprozess spielen zu können. In den frühen Phasen steht oft schon das Verfahren zur Herstellung des Serienprodukts fest. Die Entwicklung fokussiert die fertigungsgerechte Gestaltung der Produkte bspw. auf das Spritzgießen. Dennoch benötigt es Prototypen und Iterationen von Werkzeugen. Besonders für neue Produkte ohne eine Historie von Vorgängerprodukten müssen diese Herstellprozesse abgesichert werden. Das Forschungsprojekt „Lebenszykluskostenreduktion im elektrischen Verteilerverkehr durch individuell adaptierbaren Antriebstrang (LiVe)“ liefert hierfür ein praxisnahes, vorwettbewerbliches Anschauungsobjekt. Die allgemeine Zielsetzung ist in der Bezeichnung des Projektes bereits integriert. Auf den Werkzeugbau bezogen ist die kostengünstige Herstellung von kleinen Stückzahlen von Bauteilen, die in einem angepassten Antriebsstrang zum Einsatz kommen, zentral. Eine Erkenntnis des Projektes ist, dass bei der Entwicklung der Antriebskonzepte die Serienfertigung mit additiven Werkzeugen aus Kunststoff wenige Vorteile bietet. Jedoch spielt der Einsatz der additiven Werkzeuge zur Beschleunigung der Entwicklungszyklen für neue oder angepasste Bauteile eine bedeutende Rolle. Im Austausch mit der Industrie ergibt sich die Relevanz auch für andere Industriebereiche, z. B. für die Elektroindustrie.

Die Herausforderungen bei der Anwendung der additiven Werkzeuge sind an einem zentralen Beispiel erklärbar. Diesen Zweck erfüllt ein Bauteil der Hochvoltbatterie. Der Halter für Pouchzellen ist ein elementarer Bestandteil eines Moduls von Zellen innerhalb der Batterie. In der Abbildung 1.2 ist der Zellhalter in einer spritzgießgerechten Ausführung gezeigt.



Abbildung 1.2: Zellhalter aus der Batterieentwicklung des Forschungsprojektes „LiVe“

Das Material der Zellhalter muss den Anforderungen einer hohen elektrischen Durchschlagfestigkeit und einer hohen Wärmeleitfähigkeit gerecht werden. Die abrasiven Eigenschaften der nutzbaren Kunststoffe stellen bereits für konventionelle Prototypen- und Serienwerkzeuge aus Metall eine Herausforderung dar. Zudem müssen im Entwicklungsverlauf verschiedene Varianten der Zellhalter erprobt werden, um die simulationsbasierte Auslegung auf physischer Ebene zu unterstützen. Hier setzt die additive Fertigung der Werkzeuge an, deren wesentlicher Vorteil eine niedrigere Herstdauer bei komplexen Bauteilen ist. KAMPKER et al. zeigen, dass es mit additiven Prototypenwerkzeugen je nach Geometrie möglich ist, die Zeit bis zum letzten fallenden Bauteil um 50 % zu kürzen.¹¹ Für die Entwicklung des Zellhalters bedeutet dies, dass innerhalb kürzester Zeit verschiedene Aspekte des Bauteils im Serienprozess abgebildet werden können. SCHUH et al. zeigen unter anderem die Darstellung von Taschen für den Zellkontaktierungsprozess durch einen Schieber. Weitere Untersuchungen zeigen jedoch auch eine Verlängerung der Prozesszeiten im Spritzgießen selbst.¹²

1.2 Zielsetzung

Somit ergeben sich für die Anwendung additiver Prototypenwerkzeuge zwei Herausforderungen. Mit Fokus auf die Herstellungszeit des Werkzeugs selbst muss beachtet werden, dass konventionelle Verfahren zur Herstellung von Prototypenwerkzeugen in Zukunft weiter beschleunigt werden könnten. Lieferzeitverlängerungen durch Engpässe sind auf additiven Maschinen ebenso möglich. Besonders ist zu beachten, dass eine höhere Losgröße pro Werkzeug eine Verschlechterung der Prozesszeitbilanz bedingt. Dies lässt sich mit den thermischen Eigenschaften der für das Werkzeug verwendeten Kunststoffe erklären, die einen langsameren Wärmetransport als in metallischen Werkzeugen zulassen. Für das Beispiel des Zellhalters spielt dies aus Sicht der Produktentwicklung eine untergeordnete Rolle, da eine niedrige Time-to-Market oder Dauer bis zum First-Off-Tools (FOT) Bauteil¹³ im Gesamtkontext wichtiger für den Erfolg des Unternehmens wäre als geringe Einsparungen bei den Produktionszeiten. Ein Prototypenhersteller, der im Auftrag einer Entwicklung arbeitet, wird allerdings den Aspekt der längeren Prozesszeiten stärker beachten. Längere Prozesszeiten erzeugen längere Bedienzeiten für die Mitarbeitenden an der Maschine und in der Konsequenz geringere Verfügbarkeiten der Maschine oder der Mitarbeitenden.

Aus Sicht der Prototypenhersteller ist nicht nur die Prozesszeit entscheidend, sondern auch die Qualität der erzeugten Bauteile sowie die auftragsgerechte Lebensdauer des Werkzeugs. Letztlich verdient ein Prototypenhersteller Geld mit verkauften Bauteilen, wobei der Deckungsbeitrag und schlussendlich der Gewinn von der Kosteneffizienz abhängen. Eine hohe Anlagenauslastung ist dabei ein wichtiger Baustein. In Ergänzung dazu sollte sichergestellt sein, dass die produzierten Bauteile den Anforderungen entsprechen, bestenfalls ab dem ersten werkzeugfallenden Bauteil. Die Vermeidung von Ausschuss reduziert Material- und Energiekosten. Einen zusätzlichen Faktor

¹¹ Vgl. Achim KAMPKER et al., „Direct Polymer Additive Tooling - Economic Analysis of Additive Manufacturing Technologies for Fabrication of Polymer Tools for Injection Molding“, *Key Engineering Materials* 843 (2020): S. 15.

¹² Vgl. ebd., S. 15.

¹³ Engl. erste werkzeugfallende Bauteile

stellt das Werkzeug selbst dar, welches der Herstellung der Auftragsmenge standhalten muss. Im Verhältnis zu möglichen Ausschussteilen ist die Herstellung eines neuen Werkzeugs deutlich kostenintensiver und sollte dementsprechend vermieden werden.

Die Perspektiven der Produktentwicklung und der Prototypenherstellung liefern die Rahmenbedingungen für den Einsatz additiver Prototypenwerkzeuge. Allerdings werden die Rahmenbedingungen aktuell nicht erfüllt, sodass Unternehmen, die eine Anwendung wünschen, Unterstützung benötigen. Für die Detaillierung dieser Unterstützung werden im Verlauf dieser Arbeit die Herausforderungen untersucht und Lösungsansätze erarbeitet. Als übergreifendes Ziel der Arbeit kann daher die Steigerung des Anwendungspotenzials von additiven Prototypenwerkzeugen hinsichtlich Bauteilqualität, Lebensdauer und Prozesszeiten definiert werden.

Das übergreifende Ziel der Arbeit ist die Steigerung des Anwendungspotenzials von additiven Prototypenwerkzeugen aus Kunststoff unter Berücksichtigung der Anforderungen an Bauteilqualität, Lebensdauer und Prozesszeiten im Spritzgießen.

1.3 Forschungsansatz

Der Forschungsansatz dieser Arbeit beschreibt abstrakt das methodische Vorgehen mit dem Ziel des Erkenntnisgewinns. Grundlage dafür bildet das allgemeine Forschungsverständnis des Lehrstuhls für Produktionssystematik am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen. Dieses Verständnis basiert auf dem wissenstheoretischen Ansatz für die Betriebswirtschaftslehre nach ULRICH et al.¹⁴ sowie dem forschungsmethodischen Vorgehen nach KUBICEK.¹⁵ Als Grundlage dienen außerdem die vorangegangenen Arbeiten des Lehrstuhls für Produktionssystematik am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, insbesondere HENSEN,¹⁶ KELZENBERG¹⁷ und LANGE,¹⁸ die den Ansatz und das Vorgehen bereits anwenden.

1.3.1 Wissenschaftstheoretische Einordnung

Zur Erklärung des Forschungsansatzes dient zunächst die Einordnung in die Wissenschaftstheorie. Darauf folgt die Erläuterung des forschungsmethodischen Vorgehens. Den Abschluss der wissen-

¹⁴ Vgl. Hans ULRICH et al., *Management: Hrsg. von Thomas Dyllick u. Gilbert J. B. Probst*, Bd. 13), (Schriftenreihe Unternehmung und Unternehmensführung (Bern & Stuttgart: Haupt, 1984), S. 151-154.

¹⁵ Herbert KUBICEK, „Heuristische Bezugsrahmen und heuristisch angelegte Forschungsdesigns als Elemente einer Konstruktionsstrategie empirischer Forschung“, in *Empirische und handlungstheoretische Forschungskonzeptionen in der Betriebswirtschaftslehre*, hrsg. Richard KÖHLER (Stuttgart: Poeschel, 1977), S. 3–36.

¹⁶ Tobias HENSEN, „Strategische Auslegung industrieller Werkzeugbaubetriebe“ (Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 2017).

¹⁷ Christoph KELZENBERG, „Datenstrukturmodell für den digitalen Schatten der Auftragsabwicklung von Werkzeugbaubetrieben“ (Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 2019).

¹⁸ Johan de LANGE, „Prozessmodell für den Werkzeugbau im iterativen Produktentwicklungsprozess“ (Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 2020).

schaftstheoretischen Einordnung bildet die Herleitung des heuristischen Bezugsrahmens dieser Arbeit. Zweck dieser Einordnung ist die Nachvollziehbarkeit der Erkenntnisse ohne notwendige Erläuterungen. Als Ausgangspunkt dafür dient die systematische Aufgliederung der Wissenschaft nach ULRICH und HILL. Hier wird die Unterteilung der Wissenschaften in die Formal- und die Realwissenschaften proklamiert.¹⁹

Das Hauptziel der Formalwissenschaft ist die Entwicklung von Zeichensystemen sowie entsprechenden Regeln zu ihrer korrekten Verwendung. Solche Zeichensysteme und Regelwerke finden sich unter anderem in den Fachrichtungen Logik, Mathematik und Philosophie, die somit den Formalwissenschaften zugeordnet werden können.²⁰ Laut CARNAP unterscheidet sich die Formalwissenschaft durch den analytischen Charakter der Sprache, in der die Wissenschaft zum Ausdruck kommt. Deshalb beschränkt sich ihre Überprüfung auf Richtigkeit allein auf die Suche nach logischen und theoretischen Widersprüchen.²¹

Neben den Formalwissenschaften existieren die Realwissenschaften. Im Gegensatz zu den Aussagen der Formalwissenschaften sind die Aussagen der Realwissenschaften nicht analytischer, sondern synthetischer Natur und erfordern daher eine zusätzliche Faktenanalyse zur Überprüfung auf Richtigkeit.²² Nach ULRICH und HILL fokussieren die Realwissenschaften die Beschreibung, Erklärung oder Gestaltung jener Teile der Wirklichkeit, die empirisch wahrnehmbar sind.²³

Die Realwissenschaften können einerseits in die Grundlagenwissenschaften und andererseits in die Handlungswissenschaften unterteilt werden. In den Grundlagenwissenschaften steht die Erklärung von Teilen der Wirklichkeit im Mittelpunkt. Zu den Grundlagenwissenschaften gehört beispielsweise die Physik. Daneben stehen die Handlungswissenschaften, welche die Analyse von Handlungen und die Gestaltung von Systemen in den Vordergrund stellen. Als Beispiele gelten hier die Sozialwissenschaften und die Betriebswirtschaftslehre.²⁴ Diese Definition kann als ein Ansatz der Wissenschaftssystematik angesehen werden, der ebenso Lücken aufweist, wie dies andere Systematiken tun. Die Ingenieurwissenschaften bilden hier einen Streitpunkt, denn diese können aufgrund ihres gestaltenden Charakters, z. B. in der Entwicklung, als Handlungswissenschaft definiert werden. Dennoch ist belegbar, dass die Ingenieurwissenschaften Vorgehens- und Denkweisen mit den Grundlagenwissenschaften teilen.²⁵

1.3.2 Forschungsmethodik

Ferner bedarf es neben der Betrachtung der grundsätzlichen Ergebnisperspektive der Beschreibung einer Forschungsmethodik. Eine Methodik beschreibt ein festgelegtes Vorgehen sowie die darin

¹⁹ Vgl. Peter ULRICH und Wilhelm HILL, *Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre*, 7+8, 1976, S. 305.

²⁰ Vgl. Rudolf CARNAP, „Formalwissenschaft und Realwissenschaft“, *Erkenntnis* 5 (1935): S. 30.

²¹ Vgl. ebd., S. 31 f.

²² Vgl. ebd., S. 32, 35.

²³ Vgl. ULRICH und HILL, *Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre*, S. 305.

²⁴ Vgl. ebd.

²⁵ Vgl. Hans ULRICH, „Der systemorientierte Ansatz in der Betriebswirtschaftslehre“, in *Wissenschaftsprogramm und Ausbildungsziele der Betriebswirtschaftslehre*, hrsg. Gert von KORTZFLEISCH, Tagungsberichte des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e. V (Berlin: Duncker & Humblot, 1971), S. 47.

einbezogenen Modelle, Methoden und Hilfsmittel. Der Zweck ist, die Art und Weise der Erkenntnisgewinnung transparent darzustellen und den Forschungsprozess nachvollziehbar offenzulegen. Grundlegend dafür sind verschiedene Denkartens hinsichtlich der Wirklichkeit. Diese Arbeit basiert auf den wissenschaftstheoretischen Einordnungen von ULRICH et al., die weitestgehend dem kritischen Rationalismus zugeordnet werden können.²⁶

Im Zentrum des kritischen Rationalismus steht die streitbare Kritik am Induktivismus.²⁷ ULRICH et al. stellt in diesem Zusammenhang eine Dissonanz zwischen den Grundlagenwissenschaften und den Handlungswissenschaften fest. So sind Handlungswissenschaften problemorientiert, was zu einem Konflikt in der Anwendung von Empirie im Sinne des Induktivismus führt. Dieser besteht darin, dass die Grundlagenwissenschaften Empirie zum Beweis von Theorien einsetzen. Für Handlungswissenschaften gilt dies nach Auffassung von ULRICH et al. nicht. Vielmehr ist die empirische Beschreibung von Problemen zentral, denn Probleme entstehen im Praxiszusammenhang.²⁸

Das Ziel der angewandten Handlungswissenschaften bedingt weiterhin die Wichtigkeit des Erkenntnisgewinns für die Entwicklung von Modellen, die dazu beitragen, die Realität besser zu beherrschen.²⁹ Darauf aufbauend konzeptionieren ULRICH et al. die explorative Forschung, mit dem Zweck, die Empirie zur Sammlung systematischen Erfahrungswissens zu nutzen. Dies erlaubt wiederum die Entwicklung theoretischer Aussagen im Sinne der Problembeschreibung und Systemgestaltung.³⁰ Zusammenfassend gilt für den Forschungsansatz die Einordnung in die anwendungsorientierten Handlungswissenschaften und die Wahl des systemtheoretischen Forschungsansatzes. Dem wird der Forschungszyklus nach TOMCZAK,³¹ wie in Abbildung 1.3 dargestellt, zugrunde gelegt.

1.3.3 Heuristischer Bezugsrahmen

Die Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung hängt unter anderem vom Maß der Ordnung und Planung eines Vorhabens ab. Auch in der Wissenschaft werden Methoden angewandt, um den Forschungsprozess zu strukturieren und die Bemühungen nach außen zu kommunizieren.³² Konzeptionelle, nach KUBICEK³³ auch heuristische, Bezugsrahmen stellen grafisch vermutete Zusammenhänge und Strukturen im Untersuchungsbereich dar. Der Bezugsrahmen wird dabei in drei Arten von Variablen unterteilt: Gestaltungsvariablen, Kontextvariablen und Erfolgsvariablen.

²⁶ Vgl. ULRICH et al., *Management: Hrsg. von Thomas Dyllick u. Gilbert J. B. Probst*, S. 169.

²⁷ Vgl. Herbert KEUTH, *Karl Popper: Logik der Forschung*, 3. Aufl., Bd. 12, Akademie Klassiker Auslegen (München: Oldenbourg Akademie Verlag, 2007), S. 2.

²⁸ Vgl. ULRICH et al., *Management: Hrsg. von Thomas Dyllick u. Gilbert J. B. Probst*, S. 173.

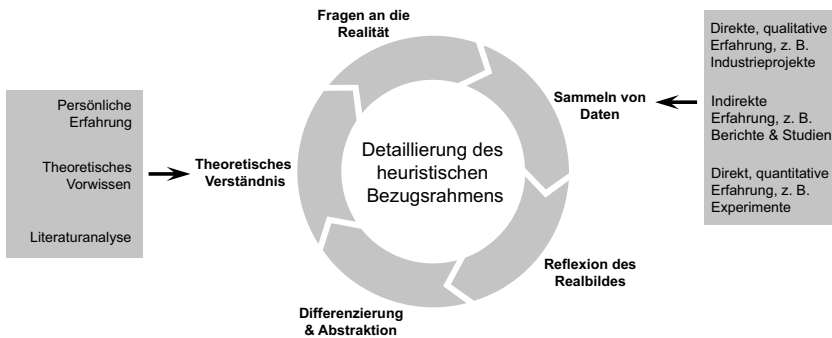
²⁹ Vgl. KUBICEK, „Heuristische Bezugsrahmen und heuristisch angelegte Forschungsdesigns als Elemente einer Konstruktionsstrategie empirischer Forschung“, S. 7.

³⁰ Vgl. ULRICH et al., *Management: Hrsg. von Thomas Dyllick u. Gilbert J. B. Probst*, S. 185-187.

³¹ Vgl. Torsten TOMCZAK, *Forschungsmethoden in der Marketingwissenschaft - Ein Plädoyer für den qualitativen Forschungsansatz* (C.H. Beck in Gemeinschaft mit dem Verlag Franz Vahlen, 1992), S. 84.

³² Vgl. Joachim WOLF, *Organisation, Management, Unternehmensführung: Theorien, Praxisbeispiele und Kritik*, 6., überarbeitete und erweiterte Auflage (Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020), S. 38.

³³ KUBICEK, „Heuristische Bezugsrahmen und heuristisch angelegte Forschungsdesigns als Elemente einer Konstruktionsstrategie empirischer Forschung“.

Abbildung 1.3: Forschungsmethodisches Vorgehen³⁴

Im Zentrum der Theoriebildung stehen die Gestaltungsvariablen, die den unmittelbaren Kern des Forschungsprozesses darstellen. Daneben stehen die Kontextvariablen, die einen Einfluss auf die Gestaltungsvariablen haben. Nach WOLF müssen Kontextvariablen die Gestaltung nicht zwangsläufig direkt beeinflussen. Es genügt, wenn die forschende Person die Kontextvariablen bei Untersuchungen berücksichtigt. Ergebnis dieser Untersuchungen sind die Erfolgsvariablen, die abhängig von der Ausprägung von Gestaltungsvariablen sowie den Zusammenhängen von Gestaltungs- und Kontextvariablen sind.³⁵

Der konzeptionelle Bezugsrahmen erfüllt somit vier Funktionen, die zur Planung und Ordnung des Forschungsprozesses notwendig sind. Der Bezugsrahmen beschreibt den Forschungsprozess und ist somit ein Kommunikationsinstrument.³⁶ Weiterhin erklärt der Bezugsrahmen den Forschungsgegenstand und liefert die Basis für aufbauende Forschungsvorhaben.³⁷ Es werden dabei keine Zusammenhänge im Detail vermittelt, jedoch reduziert die grafische Darstellung durch den heuristischen Ansatz die Komplexität des Forschungsgegenstands.³⁸ Zuletzt dient der Bezugsrahmen jedoch durch seine forschungsleitende Funktion dem Forschenden selbst.³⁹

Die Abbildung 1.4 zeigt den für diese Arbeit entwickelten Bezugsrahmen. Ausgehend von einem Bedarf der Volumenflexibilität bei der Herstellung von Bauteilen und Produkten als Kontextvariable ergeben sich zwei zentrale Elemente der Produktionstechnik: Der Werkzeugbau als traditioneller Befähiger der Produktion sowie die additive Fertigung als potenziell disruptive Technologiesammlung. Vor diesem Kontext liegen die Gestaltungsvariablen der Werkzeugauslegung, der

³⁴ Eigene Darstellung nach KUBICEK und TOMCZAK („Heuristische Bezugsrahmen und heuristisch angelegte Forschungsdesigns als Elemente einer Konstruktionsstrategie empirischer Forschung“, S. 14; *Forschungsmethoden in der Marketingwissenschaft - Ein Plädoyer für den qualitativen Forschungsansatz*, S. 84)

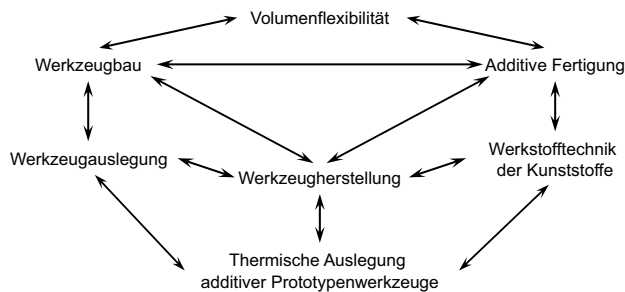
³⁵ Vgl. WOLF, *Organisation, Management, Unternehmensführung: Theorien, Praxisbeispiele und Kritik*, S. 38 f.

³⁶ Vgl. ebd., S. 38.

³⁷ Vgl. KUBICEK, „Heuristische Bezugsrahmen und heuristisch angelegte Forschungsdesigns als Elemente einer Konstruktionsstrategie empirischer Forschung“, S. 18.

³⁸ Vgl. WOLF, *Organisation, Management, Unternehmensführung: Theorien, Praxisbeispiele und Kritik*, S. 38.

³⁹ Vgl. ebd., S. 37.

Abbildung 1.4: Heuristischer Bezugsrahmen⁴⁰

Werkzeugherstellung sowie der Werkstofftechnik bezogen auf die Kunststoffe. Als Erfolgsvariable steht zum Schluss die thermische Auslegung additiver Prototypenwerkzeuge.

1.4 Struktur

Die Arbeit strukturiert sich nach der „Strategie der angewandten Forschung“ nach ULRICH et al.⁴¹ Demnach wird bei angewandter Forschung der erforderliche Praxisbezug dadurch erreicht, dass die Forschung bereits in der Praxis beginnt und auch mit dieser endet. Der Bezug zur Praxis wird jedoch nicht ausschließlich zu Beginn durch die Erfassung eines Problems und zum Ende durch den Transfer der Lösung sichergestellt, sondern auch durch die Integration in den Erkenntnisprozess. Die grundsätzliche Vorgehensweise ist in Abbildung 1.5 auf der linken Seite dargestellt.

Für die Kapitel dieser Arbeit ergeben sich aus diesem Leitkonzept entsprechende Leitsätze zur inhaltlichen Ausgestaltung. Das Kapitel 2 dient der Erfassung und Interpretation problemrelevanter Theorien und Hypothesen. Der Fokus liegt auf der Darstellung des Betrachtungsbereiches zur Abgrenzung zentraler Begriffe und Zusammenfassung relevanter Grundlagen. Zum Betrachtungsbereich dieser Arbeit gehören Inhalte der Kunststofftechnik, des Werkzeugbaus und der additiven Fertigung.

In Kapitel 3 werden Theorien und Hypothesen durch Verfahren der Formalwissenschaften ergänzt. Auf Basis der Inhalte von Kapitel 2 wird das Forschungsfeld der additiven Prototypenwerkzeuge erläutert. Zunächst wird der Gestaltungsrahmen auf Werkzeuge für das Spritzgießen eingegrenzt, sodass in der Folge die Inhalte von Ansätzen der Anwendungs- und Formalwissenschaften auf diese Einschränkung hin gefiltert und analysiert werden können. Anschließend werden Anforderungen an die thermische Auslegung extrahiert. Es folgt die Analyse bestehender Ansätze im Feld

⁴⁰ Eigene Darstellung nach KUBICEK („Heuristische Bezugsrahmen und heuristisch angelegte Forschungsdesigns als Elemente einer Konstruktionsstrategie empirischer Forschung“)

⁴¹ ULRICH et al., *Management: Hrsg. von Thomas Dyllick u. Gilbert J. B. Probst*, S. 192 f.

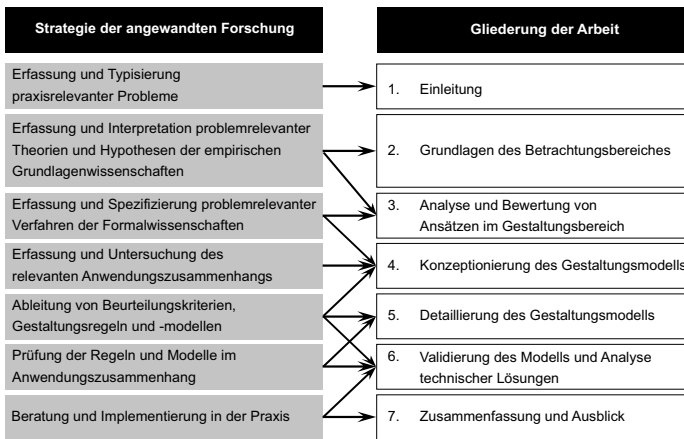


Abbildung 1.5: Aufbau der Arbeit folgend der Strategie der angewandten Forschung⁴²

der Temperierung von Spritzgießwerkzeugen hinsichtlich der Übertragbarkeit auf additive Prototypenwerkzeuge aus Kunststoff. Abschließend ergibt sich der theoretische Handlungsbedarf zur Gestaltung der thermischen Auslegung.

Das Kapitel 4 dient der Konzeptionierung eines Gestaltungsmodells mittels der Erfassung und Untersuchung der relevanten Anwendungszusammenhänge. Im Fokus stehen Phänomene bei der Anwendung unterschiedlicher Bauteilgeometrien, Werkzeugmaterialien sowie Prozessparameter für das Spritzgießen. Dabei werden deskriptive Aussagen zum Zustandekommen von Phänomenen im Sinne des Werkzeugversagens sowie Bauteilqualität erarbeitet. Diese Aussagen bilden die Grundlage der Gestaltung der thermischen Auslegung durch die Skizzierung des Handlungsraumes in Form von Gestaltungselementen, sowie die Möglichkeit zur Bewertung unterschiedlicher Handlungsalternativen.

Die Detaillierung des Gestaltungsmodells ist Gegenstand von Kapitel 5. Nach ULRICH et al. dient die fünfte Phase der Strategie der angewandten Forschung der Ableitung von Beurteilungskriterien, Gestaltungsregeln und -modellen. Daraus ergibt sich das Ziel der Formulierung von technologischen Aussagen, die aus den hergeleiteten Gestaltungselementen des Kapitel 4 einen Mittel-Ziel-Zusammenhang herstellen. Dazu wird das Vorgehen verschiedener Handlungsalternativen strukturiert und in einem detaillierten Gestaltungsmodell aggregiert. Das detaillierte Gestaltungsmodell bildet die Kernerkenntnis dieser Arbeit und zielt auf die Optimierung der thermischen Auslegung für additive Prototypenwerkzeugen ab.

In Kapitel 6 erfolgt zunächst die Untersuchung hergeleiteter technischer Verfahrensweisen zur Temperierung. Darauf folgt zur Prüfung der Regeln und Modelle im Anwendungszusammenhang

⁴² Eigene Darstellung nach ULRICH et al. (*Management: Hrsg. von Thomas Dyllick u. Gilbert J. B. Probst*)

exemplarisch eine Demonstration des Vorgehens sowie Handlungsalternativen anhand eines Fallbeispiels. Zuletzt wird in Kapitel 7 das entwickelte Vorgehen kritisch reflektiert und die praktische Anwendbarkeit überprüft. Abschließend werden die Kernergebnisse zusammengefasst und weiterführende Forschungsfragen diskutiert.