

# 1 Einleitung

## 1.1 Praktische Relevanz des Themas und Problemstellung

In vielen Unternehmen in Deutschland wird der Qualität eine hohe Bedeutung beigemessen. Der globale Wettbewerb und der resultierende Kostendruck sowie steigende Kundenerwartungen und eine zunehmende Komplexität der Produkte sind gewichtige Gründe dafür.<sup>1</sup> Im Rahmen der betriebswirtschaftlichen Optimierung von Unternehmen wird der Einsatz von Qualitätsmethoden jedoch immer wieder hinterfragt. Daher sollten die Kosten, die mit Qualität auf unterschiedlichste Weise verbunden sind, einer Analyse unterzogen werden. Denn beispielsweise Produktrückrufaktionen zur Fehlerbehebung zeigen immer wieder, dass daraus nicht nur erhebliche Kosten, sondern auch ernstzunehmende Reputations schäden für die Hersteller resultieren.<sup>2</sup> Dabei hat sich zum Beispiel die Anzahl der qualitätsbedingten Rückrufaktionen von Fahrzeugen in Deutschland laut Kraftfahrt-Bundesamt in den Jahren 2010 bis 2020 mehr als verdreifacht.<sup>3</sup> Um potenzielle Fehler möglichst direkt und spätestens vor der Auslieferung an den Kunden zu erkennen und abzustellen, muss bereits in den frühen Phasen des Entwicklungsprozesses angesetzt werden.

Durch eine frühere Überprüfung der Produkteigenschaften mit Hilfe von Modellen und Prototypen lässt sich die Planungssicherheit erhöhen, sodass die Zahl später und damit aufwändiger Änderungen am Produkt verringert wird und sich dadurch die Gesamtkosten reduzieren<sup>4</sup>. Mit additiven Fertigungsverfahren lassen sich Prototypen in Kleinserien in der Regel schneller und kostengünstiger als mit den herkömmlichen Fertigungsverfahren herstellen<sup>5</sup>. Additive Fertigungsverfahren ermöglichen die direkte Herstellung dreidimensionaler physischer Objekte auf der Basis digitaler Modelle bzw. 3D-CAD-Datensätze<sup>6</sup>. Im Gegensatz zu den herkömmlichen Fertigungsverfahren wie Bohren, Fräsen oder Drehen wird kein Material abgetragen, sondern schichtweise aufgetragen. Insbesondere bei kleineren Losgrößen stellen die additiven Fertigungsverfahren im Vergleich zu den konventionellen Fertigungsverfahren die wirtschaftlichere Alternative dar<sup>7</sup>. Innerhalb der Klasse der additiven Fertigungsverfahren gibt es jedoch bei den zentralen Aspekten wie Herstellkosten, Oberflächenqualität und Nachhaltigkeit erhebliche Unterschiede zwischen den verschiedenen additiven Verfahren.<sup>8</sup>

Der Prototypeneinsatz beeinflusst den Produktentwicklungsprozess in der Regel positiv: Durch die physische Darstellung von Formen, Funktionen und Prozessen lassen sich bestimmte Aspekte sichtbar und

---

<sup>1</sup> Vgl. Brüggemann, H.; Bremer, P. (Grundlagen Qualitätsmanagement) (2020), S. 1ff.

<sup>2</sup> Vgl. ebenda (Grundlagen Qualitätsmanagement) (2020), S. 204.

<sup>3</sup> Vgl. Herzberg, S. (Quality Intelligence) (2023), S. 1.

<sup>4</sup> Vgl. Geuer, A. (Einsatzpotential des Rapid Prototyping in der Produktentwicklung) (1996), S. 12.

<sup>5</sup> Vgl. Ehrlenspiel, K.; et al. (Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren) (2020), S. 252f.

<sup>6</sup> Vgl. Gebhardt, A. (Einführung in die Additiven Fertigungsverfahren) (2014), S. 2.

<sup>7</sup> Vgl. o.V. (Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2015) (2015), S. 77.

<sup>8</sup> Vgl. Li, Y.; et al. (Cost, sustainability and surface roughness quality – A comprehensive analysis of products made with personal 3D printers) (2017), S. 4-10.

haptisch erfahrbar machen. Dadurch wird das Verständnis, die Kommunikation, die Validierung usw. positiv beeinflusst. Trotz der großen Potenziale von Prototypen ist deren Einsatz in Unternehmen vielfach geprägt durch eine unsystematische Vorgehensweise. Wissenschaftler fordern deswegen die methodische Integration des Prototypeneinsatzes als Kernelement des Entwicklungsprozesses.<sup>9</sup>

## 1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage

Es ist das Ziel dieser Arbeit, eine Methodik zur Bestimmung der Qualitätskosten bei additiv gefertigten Komponenten zu entwickeln. Dabei sollen sowohl die Unsicherheiten bei den geometrischen Abmessungen der additiv gefertigten Bauteile als auch die Kalkulation der Herstellkosten und der Prüfkosten der additiv gefertigten Komponente berücksichtigt werden. Der Anwender soll dadurch eine Entscheidungshilfe für die Auswahl des einzusetzenden Prüfmittels erhalten.

Anhand des Ziels wird folgende Hauptforschungsfrage formuliert:

*Lassen sich die Qualitätskosten von additiv gefertigten Prototypen aus Kunststoff merkmalspezifisch für unterschiedliche Prüfungen modellieren?*

Folgende Forschungsfragen führen zur Beantwortung der Hauptforschungsfrage und geben damit die Struktur des Lösungsprozesses vor.

1. Welche Arten von Prototypen werden im Verlauf der Entwicklung eingesetzt und bei welchen Prototypenarten ist die Bestimmung der Qualitätskosten sinnvoll?
2. Wie muss eine Methodik ausgestaltet werden, die das Vorgehen von der Identifikation des Prüfmerkmals über die Auswahl des Prüfmittels bis zur Erhebung der Qualitätskosten detailliert abbildet?
3. Wie lassen sich die Herstellkosten von additiv gefertigten Bauteilen als wichtiger Bestandteil der Methodik detailliert abschätzen unter der Beachtung produkt- und unternehmensspezifischer Einflüsse?
4. Wie lassen sich die Unsicherheiten bei den geometrischen Abmessungen der additiv gefertigten Bauteile bei der Berechnung der Qualitätskosten in der Methodik berücksichtigen?

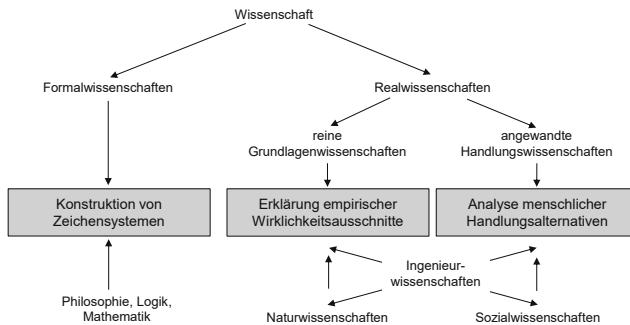
## 1.3 Wissenschaftstheoretische Einordnung

Gemäß ULRICH sind die Ingenieurwissenschaften den Realwissenschaften zuzuordnen.<sup>10</sup> In Abbildung 1-1 ist die Wissenschaftssystematik nach Ulrich mit der Einordnung der Ingenieurwissenschaften dargestellt.

---

<sup>9</sup> Vgl. Wheelwright, S.; Clark, K. (Revolution der Produktentwicklung) (1994), S. 355; vgl. Dohr, F.; Vielhaber, M. (Modellierung und Simulation im mechatronischen Produktentwicklungsprozess) (2011), S. 134; vgl. Eversheim, W.; et al. (Integrated Product Development supported by Rapid Prototyping & Tooling Technologies) (1998), S. 90.

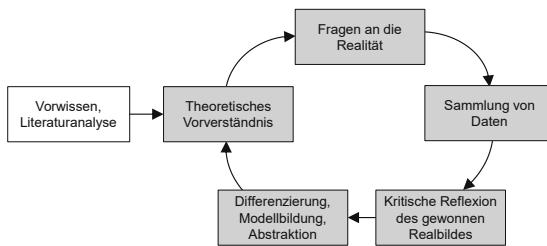
<sup>10</sup> Vgl. Ulrich, P.; Hill, W. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre) (1976), S. 305f.

Abbildung 1-1: Wissenschaftssystematik<sup>11</sup>

Die Realwissenschaften lassen sich in die reinen Grundlagenwissenschaften und die angewandten Handlungswissenschaften untergliedern. Die reinen Grundlagenwissenschaften wie Physik, Chemie und Biologie beschäftigen sich mit den Widersprüchen zwischen Theorie und Beobachtung. In den angewandten Handlungswissenschaften werden hingegen die Probleme von real handelnden Menschen als Ausgangspunkt der Forschung gewählt und nach Lösungen hierfür gesucht.<sup>12</sup>

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Thematik der Abschätzung der Qualitätskosten bei additiv gefertigten Bauteilen und dem Prototypeneinsatz in der Produktentwicklung. Insbesondere durch die Kalkulation der Herstellkosten von additiv gefertigten Bauteilen und die Betrachtung unterschiedlicher Prüfszenarien besitzt die Arbeit einen starken Bezug zur unternehmerischen Praxis. Da in dieser Arbeit sowohl Aspekte der reinen Grundlagenwissenschaften als auch Aspekte der angewandten Handlungswissenschaften adressiert werden, lässt sich die Arbeit den anwendungsorientierten Ingenieurwissenschaften zuordnen.

Der explorative Forschungsprozesses nach TOMCZAK bildet die Grundlage der methodischen Vorgehensweise.<sup>13</sup> In Abbildung 1-2 ist dieser Forschungsprozess beschrieben.

Abbildung 1-2: Explorativer Forschungsprozess<sup>14</sup>

<sup>11</sup> Vgl. ebenda (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre) (1976), S. 305.

<sup>12</sup> Vgl. Ulrich, H. (Die Betriebswirtschaftslehre als anwendungsorientierte Sozialwissenschaft) (1981), S. 5.

<sup>13</sup> Vgl. Tomczak, T. (Forschungsmethoden in der Marketingwissenschaft) (1992), S. 83f.

<sup>14</sup> Vgl. ebenda (Forschungsmethoden in der Marketingwissenschaft) (1992), S. 84.

Zur Schaffung des theoretischen Vorverständnisses wird ausgehend von der Problemstellung eine Literaturanalyse durchgeführt, in die das Vorwissen und die persönlichen Erfahrungen des Autors einfließen. Daran schließt sich eine iterative Vorgehensweise an, die durch den zyklischen Lernprozess systematisch zu einer Methodik führt, die final ein möglichst optimales Forschungsergebnis darstellt.

## 1.4 Forschungskontext und Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit wird anhand des Prozesses der angewandten Forschung nach ULRICH<sup>15</sup> strukturiert. In Abbildung 1-3 sind die Kapitel der Arbeit den unterschiedlichen Phasen des Forschungsprozesses nach Ulrich zugeordnet.

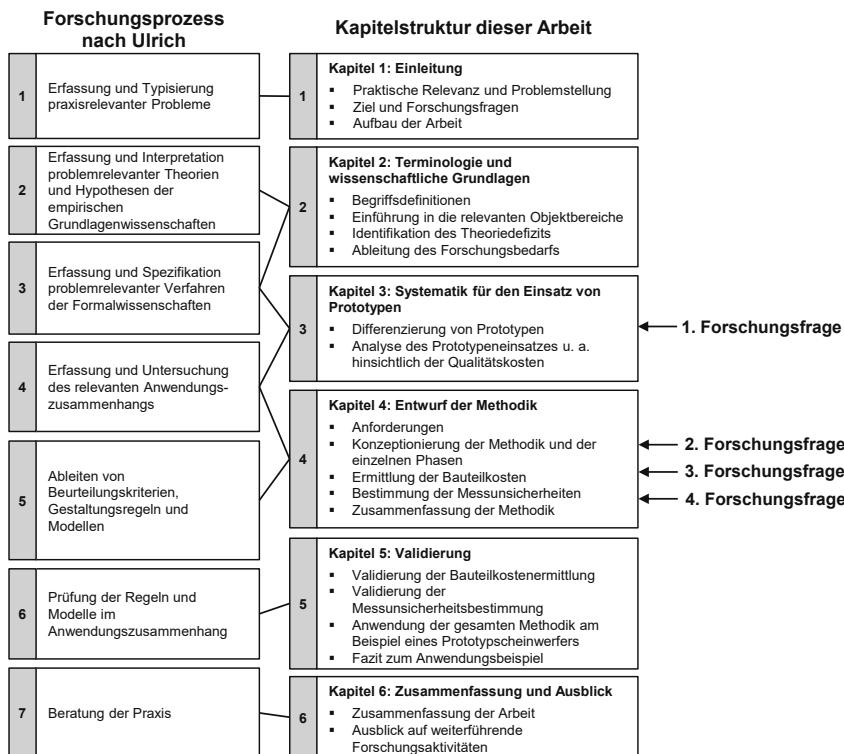


Abbildung 1-3: Zuordnung der Kapitel zu den Phasen des Forschungsprozesses nach ULRICH<sup>16</sup>

In Kapitel 1 der Arbeit werden die praxisrelevanten Probleme erfasst und die Zielstellung sowie die resultierenden Forschungsfragen abgeleitet. In Kapitel 2 werden die problemrelevanten Theorien und wissenschaftlichen Grundlagen in den unterschiedlichen Objektbereichen hergeleitet und der

<sup>15</sup> Vgl. Ulrich, H. (Die Betriebswirtschaftslehre als anwendungsorientierte Sozialwissenschaft) (1981), S. 20.

<sup>16</sup> Vgl. ebenda (Die Betriebswirtschaftslehre als anwendungsorientierte Sozialwissenschaft) (1981), S. 20.

Forschungsbedarf ermittelt. Darauf folgt in Kapitel 3 die Entwicklung und Ausgestaltung einer Systematik für den Einsatz von Prototypen. Mit Hilfe dieser Systematik wird dann die 1. Forschungsfrage beantwortet. Daran schließt sich in Kapitel 4 die Konzeption und Ausgestaltung der Methodik zur Bestimmung der Qualitätskosten an, welche die Grundlage zur Beantwortung der 2. Forschungsfrage darstellt. In der Methodik ist ein Kostenmodell enthalten, das ein Modul zur Bestimmung der Bauteilkosten von additiv gefertigten Komponenten und ein zweites Modul zur Berücksichtigung der Messunsicherheiten in Form des  $\alpha$ - und des  $\beta$ -Fehlers enthält. Anhand der zwei Module lassen sich die 3. und die 4. Forschungsfrage beantworten. In Kapitel 5 erfolgt zunächst eine Validierung der Funktionsweise der zwei Module jeweils anhand eines Fallbeispiels, bevor die Validierung der gesamten Methodik am konkreten Beispiel eines Prototypfrontscheinwerfers aus der Automobilindustrie vorgenommen wird. Abschließend wird die Arbeit in Kapitel 6 zusammengefasst und ein Ausblick auf weiterführende Forschungsaktivitäten gegeben.