

1 Einführung

1.1 Allgemeines

In nahezu jedem Bauverfahren spielen die eingesetzten Maschinen eine elementare Rolle. Ob als Hilfsmittel eingesetzt, wie z.B. Bagger oder Baukräne, oder ob als zentrales Element des Bauprozesses, wie z.B. Schildmaschinen oder Teilschnittmaschinen im Tunnelbau, ermöglichen Baumaschinen die Anwendung von Bauverfahren und sichern Baufortschritte, die sonst nicht vergleichbar erfolgreich durchzuführen wären.

Vor dem Hintergrund dieser zentralen Rolle sind die Hersteller von Baumaschinen bemüht, die Maschinen optimal an die Erfordernisse anzupassen. Geleitet wird dies von dem Gedanken, die eigene Maschine mit dem bestmöglichen Umsatz und Gewinn am Markt zu veräußern. Der Fortschritt im Bauwesen und das Entstehen neuer Betätigungsfelder machen es erforderlich, dass neue Baumaschinen entwickelt oder vorhandene Maschinen angepasst werden. Über Qualität und Preis kann sich ein Maschinenhersteller von den direkten Konkurrenten, die denselben Maschinentyp anbieten, aus eigenem Antrieb absetzen. Ein Erfahrungsaustausch mit Herstellern von Teilschnittmaschinen zeigte, dass bei Anpassung einer Maschine der Blick nicht nur vergleichend auf die unmittelbaren Konkurrenten gerichtet werden sollte, sondern die „Maschinengattung“ an sich besser an die Erfordernisse anzupassen ist. Weiterhin wurde deutlich, dass eine grundlegende Überarbeitung eines Maschinenkonzeptes über reine technische Optimierungen hinausgeht und der Maschinenhersteller trotz langjähriger Erfahrung mit der Konstruktion und dem Einsatz seiner Maschinen hier grundlegende Unterstützung benötigt. Bei der Bereitstellung dieser Unterstützung setzt die Idee dieser Dissertation an.

1.2 Problem

In den Vorüberlegungen zu dieser Arbeit wurde schnell ersichtlich, dass eine gründliche und zielführende Behandlung der in 1.1 vorgestellten Thematik einer weitreichenden Betrachtung bedarf. Für die vielen denkbaren und untersuchungswürdigen Einflussmöglichkeiten ist keine passende bekannte, geregelte Optimierungsstrategie aus Disziplinen wie Verfahrenstechnik oder z.B. der Betriebswirtschaft vorhanden. Auch eine Orientierung am Maschinenbau zeigt keine ausreichenden Lösungsansätze. Es liegt daher nahe, eine ganzheitliche Betrachtung hierfür neu zu strukturieren.

Den herkömmlichen Ablauf einer qualitätsorientierten Maschinenentwicklung, wie sie auch für Baumaschinen die Regel ist, kann man zweiteilen (Bereich 1 und 2 in Bild 1.1). Der Bereich 1 beschreibt das Zustandekommen der Anforderungen an eine Maschine, der Bereich 2 beschäftigt sich mit der Umsetzung und damit eher konstruktionslastigen Aspekten wie Design und Herstellungsqualität (siehe dazu auch Abschnitt 2.2.3.2).

Kostenoptimierte Konstruktionsverfahren oder eine adäquate Preispolitik können Maschinenhersteller aus eigener Kapazität entwickeln und bedürfen keiner externen Unterstützung. Im Gegensatz dazu haben sie teilweise nur geringen Einblick in die Anwendung und Verwendung ihrer Maschinen und die diesbezügliche Entscheidungsfindung der Käufer, also die Bedürfnisse des Marktes. Bei Bearbeitung der in Bild 1.1 beschriebenen Phasen, besonders bei einer „nicht vertraglichen Situation“ wie in der linken Bildhälfte dargestellt, kann es daher an ausreichenden Informationen mangeln. Je weiter der Maschineneinsatz von der fachorientierten Ausbildung des Maschinenbauingenieurs abrückt, umso schwieriger ist es für ihn, eine Maschine einsatzgerecht zu konstruieren. Aufgrund der Einsatzspezifikationen kann es dem Maschinenbauer an spezifischen Fachkenntnissen fehlen (dies können zum Beispiel im Tunnelbau unter anderem die Konsequenzen aus geologischen Einflüssen, Tunnelstatik, Bontotechnik, Sicherungswahl und die sich daraus ergebenden besonderen Einflüsse auf das Bauverfah-

ren und auf die Maschine sein). Bei der Bearbeitung im Bereich 1 haben die Maschinenhersteller daher Interesse, ihre Wissensbildung und Entscheidungsfindung zu optimieren.

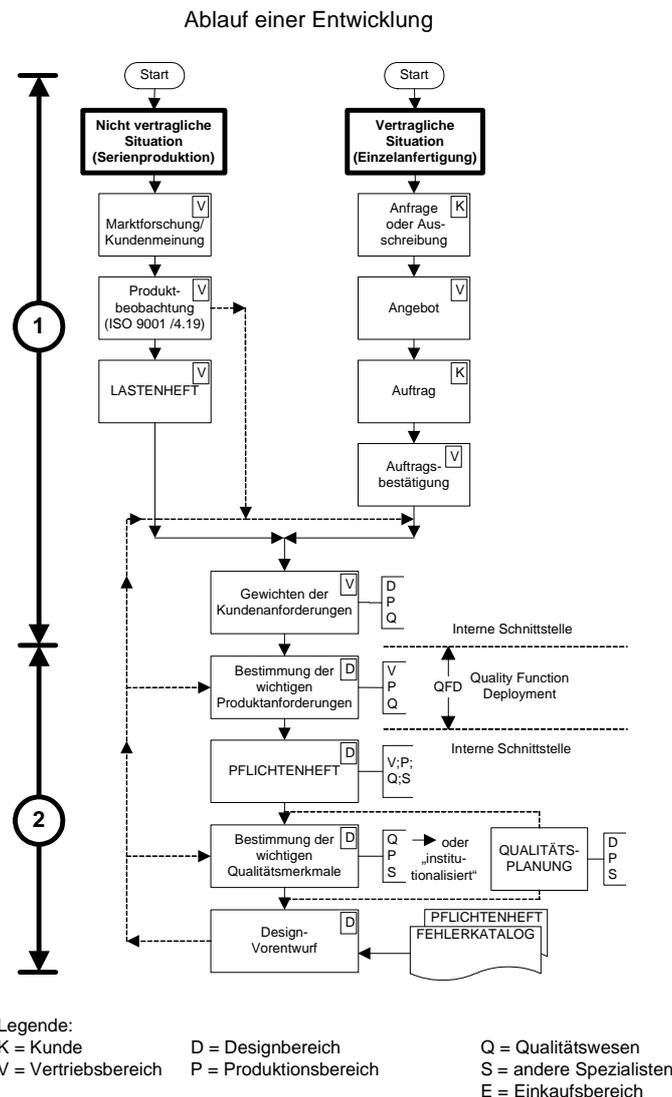


Bild 1.1 Entwicklungsablauf bei Maschinenkonstruktionen in Anlehnung an Voegele [69]

Sollen bei der Optimierung umfassende Verbesserungen erfolgen, auch solche, an die weder Hersteller noch Kunde bei der Maschinenkonzeption anfänglich unmittelbar denken, ist ein komplexes Vorgehen erforderlich, für das bisher keine zielführende Strategie bekannt ist. Da zum Beispiel ein optimiertes Bauverfahren wiederum neue Anforderungen an die Maschine stellen und deren Marktposition verbessern kann, benötigt einerseits der Maschinenhersteller hier also besondere Unterstützung in zusätzlichen Untersuchungsbereichen, andererseits bietet eine Optimierung dann auch Potential für andere Beteiligte am gesamten Bauprozess. Zudem hat der Maschinenhersteller oftmals keinen Kontakt zu allen Kundensichten, die unterschiedliche Anforderungen haben können. Ebenso besteht die Gefahr, dass durch fehlende Detailkenntnisse oftmals Verbesserungsbereiche nicht ausreichend in die Entwicklung mit einbezogen werden können (zum Beispiel die oben am Beispiel des Tunnelbaus genannten). Die Untersuchungsbereiche für Anforderungen an die Maschinentechnik sollten daher ausgeweitet und um Ansätze für Optimierungen ergänzt werden.

Die Forderung nach einer Erhöhung der Anwendungshäufigkeit der betrachteten Maschine verlangt zusätzlich, dass aus solchen erweiterten Untersuchungsbereichen nicht nur Verbesserungen der Ma-

schinentechnik gefunden werden, sondern auch zusätzliche Maßnahmen in allen Untersuchungsbereichen abgeleitet werden. So ist es zum Beispiel für eine Tunnelbaumaßnahme erforderlich, auch das angewandte Bauverfahren zu optimieren und diese Optimierung um weitere relevante Aspekte wie unter anderem den Arbeitsschutz und planerische Bedingungen zu ergänzen. Eine verbesserte Methodik zur Maschinenentwicklung und -überarbeitung muss daher neben Maßnahmen für die reine Maschinentechnik auch möglichst breit gefächert Maßnahmen in weitergehenden Bereiche interdisziplinär behandeln.

Bei der Bewertung von Angeboten im Ingenieurbau sieht die Vergabepraxis als ein hoch gewichtetes Kriterium häufig vor, den Geräteeinsatz und das Gerätekonzept des Anbieters hinsichtlich seiner Erfolgsaussichten und Leistungseigenschaften in die Entscheidungsfindung zur Vergabe mit einzubeziehen [30]. Mit ständig steigender Mechanisierung gewinnt dieser Aspekt stärker an Bedeutung. Ein optimales Maschinensystem ist daher als Grundlage für den technischen und wirtschaftlichen Erfolg einer Baumaßnahme zu sehen. Es ist folglich der Bedarf vorhanden, dem Maschinenhersteller die Konstruktion einer besser adaptierten Maschine durch Vorgabe von Lösungsansätzen zu ermöglichen, die sich dieser umfassenden Problematik annehmen. Ein Hilfsmittel in Form eines vorgezeichneten Untersuchungsrahmens und empfohlenen Arbeitsschritten, Methoden und Instrumenten kann diesen Weg der Analyse und Optimierung vereinfachen und zu besseren Ergebnissen solcher Optimierungsanstrengungen führen. Untersuchungen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Maschineneinsätzen und Optimierung der Maschinen müssen Grundlagen und Lösungsvorschläge bereitstellen, aus denen Maschinenhersteller (durch die Verbesserung der Position der eigenen Maschine im Wettbewerb und vor allem auch im Vergleich mit Konkurrenzmethoden) und Maschinenanwender (durch einen effektiveren und wirtschaftlicheren Einsatz) kreative Ideen schöpfen können.

1.3 Zielsetzung

Begrifflichkeiten

Eine *Methode* ist nach [35] eine „Menge von Vorschriften (Regeln), deren Ausführung den Vollzug einer zweckmäßig erachteten Operationenfolge (Folge von Arbeitsschritten und/oder Denkschritten) unter gegebenen Bedingungen hinreichend sicherstellt“. Eine *Methodik* kann in Anlehnung an [35] definiert werden als ein problem- und objektspezifisches System von Methoden und deren organisierte Anwendung auf das jeweilige Untersuchungsobjekt [VDI 2805]. Unter dem Begriff *Optimierung* versteht die Mathematik die Bestimmung optimaler, zulässiger Optimierungspunkte eines Optimierungsproblems. Die Informatik versteht darunter die Verbesserung der Leistungsfähigkeit eines Computerprogramms [45]. Übertragen auf andere Anwendungsgebiete wird durch den Begriff *Optimierung* eine Verbesserung eines Vorganges, Produktes oder Zustandes hinsichtlich seiner Qualität, Kosten, Geschwindigkeit, Effizienz und Effektivität beschrieben [38, 45].

Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Methodik zur Analyse und Optimierung, die den in Abschnitt 1.2 genannten Bedürfnissen gerecht wird und den Maschinenhersteller bei der Maschinenplanung deutlich besser unterstützt als dies die Vorgehen einer herkömmlichen Maschinenentwicklung (z.B. Bild 1.1) ermöglichen.

Gleichzeitig wird eine weitreichende Optimierung des Maschineneinsatzes mit Vorteilen für alle anderen neben dem Maschinenhersteller am Maschineneinsatz Beteiligten angestrebt. Dieser Grundsatz stellt einen wesentlichen Bestandteil des neuen Denkansatzes für eine solche Aufgabenstellung dar. Aus einem auf diese Weise technisch, wirtschaftlich und in der Qualität optimierten Maschineneinsatz

zieht der Maschinenhersteller den Vorteil, die Häufigkeit der Maschineneinsätze zu steigern und damit seine Verkaufszahlen zu erhöhen. Aus Optimierungen zur direkten Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und aus der Betrachtung weiterer indirekt damit verknüpfter Einflüsse erlangen die Anwender der Maschine die Möglichkeit, Bauleistungen günstiger anzubieten und abzuwickeln. Zudem kann letztlich die Bauherrenseite profitieren, indem die Herstellungskosten eines Bauwerkes sinken.

Die im Folgenden entwickelte Optimierungsmethodik soll gewährleisten, dass mögliche Einflussfaktoren auf einen Baumaschineneinsatz erfasst und bei jeder Anwendung der neuen Methodik entsprechende breit gefächerte Verbesserungsmöglichkeiten entwickelt werden können. Durch eine strukturierte Vorgabe von Optimierungsschritten soll dieses umfassende Aufdecken und Verbessern von Schwachstellen unterstützt werden. Die Anwendung der Optimierungsmethodik soll am Beispiel einer Teilschnittmaschine im Verkehrstunnelbau exemplarisch vorgestellt werden. Das Verfahren wird allgemein und auch für andere Maschinen übertragbar entwickelt. Durch die Anwendbarkeit auf andere Tunnelbaumaschinen, andere Baumaschinen oder zuletzt andere Maschinen jeder Art wird so ein nachhaltiges Analyse- und Optimierungskonzept zur Verfügung gestellt.

Betrachtungsumfang

Bestandteil der zu entwickelnden Methodik ist im Wesentlichen das Auffinden, Entwickeln und Bewerten von Verbesserungsansätzen. Die konkrete Umsetzung, zum Beispiel in konstruktiven Bereichen die Umsetzung jedes maschinenbautechnischen Details oder eine Quantifizierung aller Bauteileigenschaften, soll auch weiterhin z.B. in der Hand der Konstrukteure liegen und wird als nachgeschalteter Prozess zu den hier erarbeiteten Entwicklungsschritten gesehen. Die endgültige Implementation aller mit der neuen Optimierungsmethodik erlangten Verbesserungen bei der Maschinenkonstruktion, der Bauplanung und Bauausführung ist also von den einzelnen am Prozess Beteiligten durchzuführen und wird daher zur Wahrung einer scharfen Fokussierung dieser Arbeit und der entwickelten Methodik nicht als Schwerpunkt für das neue Optimierungskonzept eingeplant.

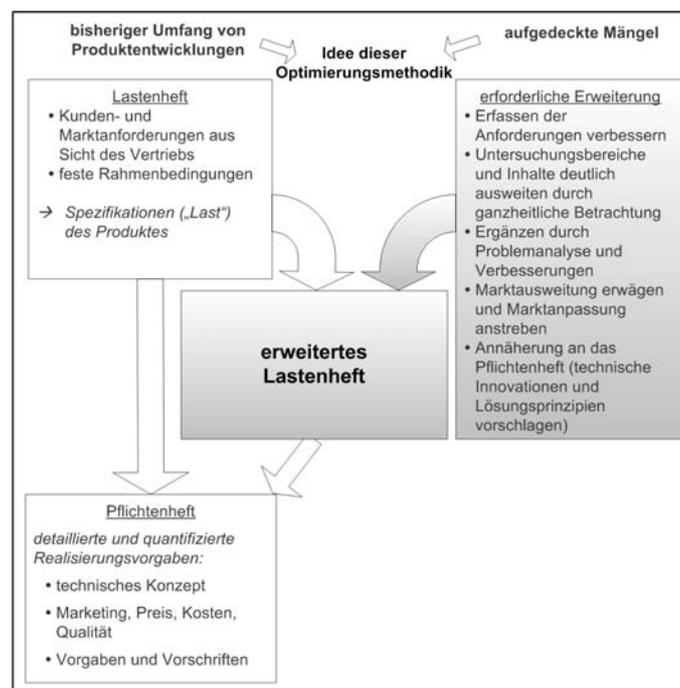


Bild 1.2 Erweitertes Lastenheft gemäß Kapitel 5.1

Die Leistung des hier verfolgten Optimierungsprozesses konzentriert sich folglich auf das Erfassen von Verbesserungsmöglichkeiten, vor allem derjenigen, die im Rahmen der üblichen Maschinenent-

wicklung bisher nicht in ein Lastenheft (vergl. Abschnitt 2.2.3.6) eingehen. Zur Veranschaulichung dieser Abgrenzung wird auf das im Laufe der Arbeit entwickelte Prinzip des „erweiterten Lastenheftes“ verwiesen (vergl. Abschnitt 5.1), welches den Grundgedanken der entwickelten Optimierung veranschaulicht (Bild 1.2).

1.4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in 7 Kapitel unterteilt. Bild 1.3 veranschaulicht den Aufbau und Gang der Arbeit sowie wesentliche Inhaltselemente.

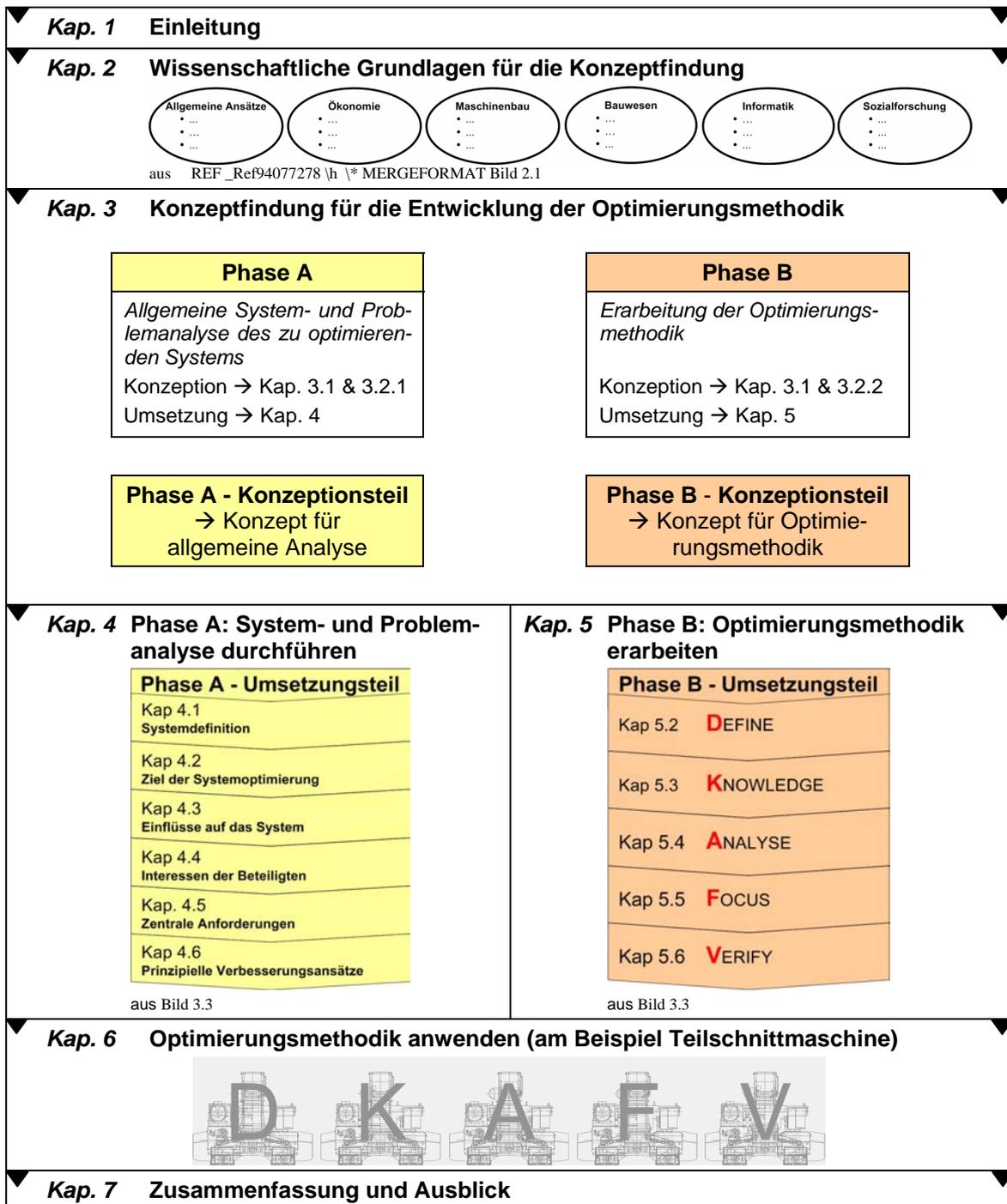


Bild 1.3 Aufbau der Arbeit

Nach Einleitung und Vorstellung des Aufbaus der Arbeit in *Kapitel 1* folgen in *Kapitel 2 die wissenschaftlichen Grundlagen für die Konzeptfindung*. Dort wird festgestellt, welche möglichen Ansätze zur Analyse und zur Optimierung aus verschiedenen Grundlagenbereichen zur Verfügung stehen. Es wird eine Auswahl von möglichen Ansätzen aus zahlreichen Disziplinen getroffen, die sich mit Entwicklungsprozessen oder einer Optimierung ihrer Belange beschäftigen. Schließlich erfolgt eine grundsätzliche Beurteilung, inwieweit diese zur Entwicklung eines neuen Analyse- und Optimierungskonzeptes weiter verwendet werden.

Basierend auf den bereitgestellten Grundlagen wird in *Kapitel 3 ausgearbeitet, wie die Optimierungsmethodik entwickelt und aufgebaut wird* und welche Elemente aus Kapitel 2 übernommen, angepasst und ergänzt werden. Ausgehend von den Grundlagen wird ein Arbeitskonzept gestaltet, nach welchem der Verfasser zur Erreichung seines Ziels im Verlauf der Arbeit vorgeht.

Dazu wird die Entwicklung in zwei Phasen, A und B, aufgeteilt.

- Phase A: Allgemeine System- und Problemanalyse
- Phase B: Erarbeitung der Optimierungsmethodik

Jede Phase umfasst dabei die Ermittlung der Arbeitsstruktur, der Aufgaben und zentraler Inhalte (Konzeptionsteil) sowie die anschließende Umsetzung der Konzepte im Rahmen dieser Arbeit (Umsetzungsteil). In Kapitel 3 werden die Konzeptionsteile der Phasen A und B bearbeitet. Dadurch stehen die Konzepte zur weiteren Bearbeitung der Umsetzungsteile und gleichzeitig Aufbau und grundsätzliche Inhalte der allgemeinen Analyse sowie der Optimierungsmethodik bereit (vergl. Bild 1.3).

Das anschließende *Kapitel 4* umfasst den Umsetzungsteil der *Phase A - „System- und Problemanalyse durchführen“*. Hier wird untersucht, wie sich das Problem der Optimierung darstellt sowie entwickelt, wie es grundsätzlich zu behandeln ist. Ein zu optimierendes System wird definiert, das allgemeine Optimierungsziel ermittelt sowie prinzipielle Einflussmöglichkeiten auf das Systemoptimierungsziel erarbeitet. Dadurch wird eine innovative Betrachtungsweise zur Entwicklung einer Optimierungsmethodik bereitgestellt.

Der Umsetzungsteil der Phase B erfolgt in *Kapitel 5: Phase B - „Optimierungsmethodik erarbeiten“*. Durch die Vorgabe von Untersuchungsbereichen und Vorgehensplänen wird eine Optimierungsmethodik gestaltet, in die elementare Vorgehensschritte und Lösungsansätze eingearbeitet werden. Zudem ist die Methodik hinsichtlich problemspezifischer Erweiterungen bei der Anwendung ausgelegt. Die Methodik setzt dabei die entwickelte Betrachtungsweise und prinzipiellen Einflussmöglichkeiten aus Phase A um.

Der Übergang zur praktischen Anwendungsebene findet in *Kapitel 6 „Anwendungsbeispiel Teilschnittmaschine“* statt. Hier wird eine Anwendung der neuen Optimierungsmethodik für die Optimierung von Teilschnittmaschinen behandelt.

Die Dissertation schließt in *Kapitel 7* mit einer *Zusammenfassung* sowie einem *Ausblick* auf weitere Anwendungsvorschläge und weiterführende Arbeiten auf diesem Gebiet ab.

2 Wissenschaftliche Grundlagen für die Konzeptfindung

Zielsetzung des Kapitels 2 ist es, bekannte Verfahren und Methoden, die für eine Analyse und Optimierung geeignet sind, auszuwählen und zu beurteilen, ob bereits eine passende Optimierungsmethodik aus anderen Fachbereichen für die formulierte Problemstellung vorhanden ist.

Entsprechend der in Kapitel 1 benannten Problemstellung werden dazu in diesem Kapitel verschiedene Grundlagenbereiche ausgewählt und mögliche Ansätze, die für eine weitere Umsetzung in dieser Arbeit von Interesse sind, vorgestellt. Die Bereiche, welche sich später als am besten auf die Problemstellung adaptierbar herausstellen werden, werden zusätzlich ausführlich betrachtet und dienen so als Grundlage für die im anschließenden Kapitel 3 folgende Aufstellung eines Konzeptes zur Entwicklung der Optimierungsmethodik. Zum Abschluss dieses Kapitel werden die grundsätzliche Eignung der Grundlagen für die weitere Verwendung beurteilt sowie der Fehlbedarf festgestellt.

2.1 Auswahl der Grundlagenbereiche

Neben der Nutzung allgemeiner Denkansätze und Methoden beschäftigen sich zahlreiche unterschiedliche Disziplinen mit der Optimierung ihrer spezifischen Belange (Bild 2.1). Die Vorgangsoptimierung sowie die Qualitätsoptimierung sind in den Wirtschaftswissenschaften und der Unternehmensführung ein intensiv behandeltes Thema. Maschinenbau, Informatik und Bauwesen nutzen vergleichbare Ansätze und bieten darüber hinaus zusätzliche Optimierungsansätze für ihre Problemstellungen an. Im Besonderen für qualitative Methoden sind auch Aspekte aus der Sozialforschung von Interesse. Teile der in den genannten Bereichen entwickelten Vorgehensweisen werden daher hier vorgestellt und als Grundlagen mit einbezogen.

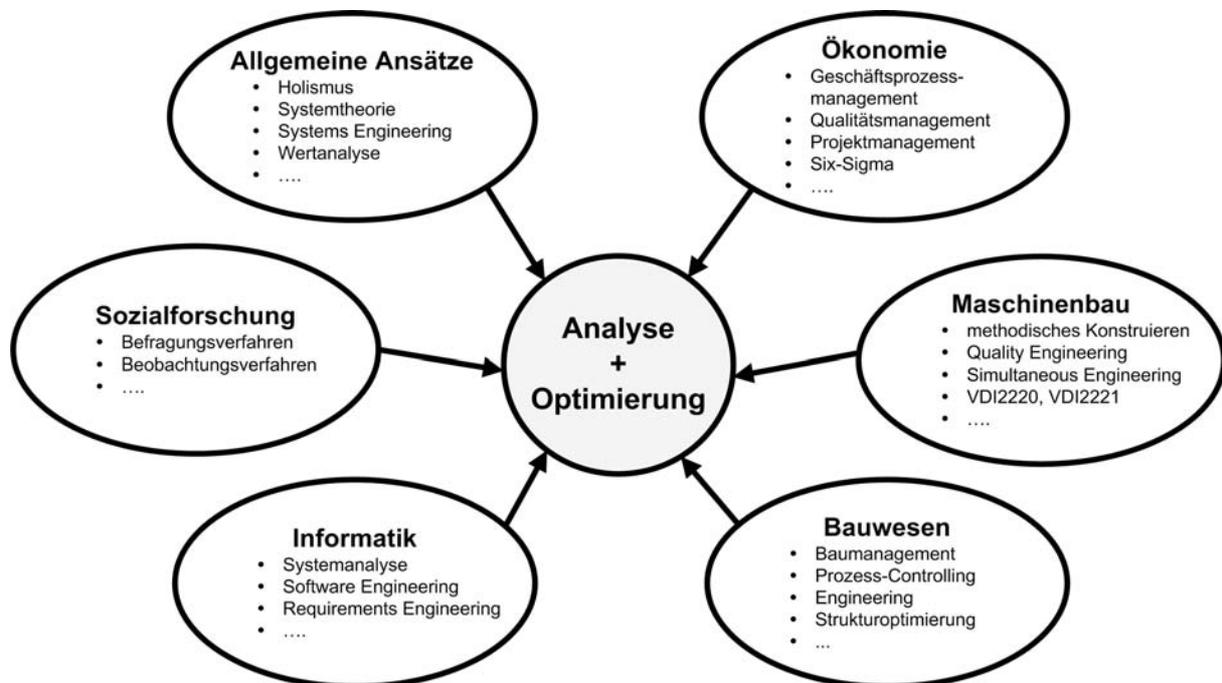


Bild 2.1 Übersicht über die ausgewählten Grundlagenbereiche

2.2 Darstellung der Grundlagenbereiche

2.2.1 Allgemeine Analyse- und Optimierungsgrundlagen

2.2.1.1 Quantitative und qualitative Forschungsrichtung

Das Erlangen von Kenntnissen in der Forschung sowie das Schaffen von Grundlagen für eine Verbesserung können auf verschiedenen Wegen geschehen. Quantitatives und qualitatives Vorgehen sind dabei zwei grundsätzliche, unterschiedliche Forschungsrichtungen. Durch die Darstellung dieser Prinzipien wird für die spätere Auswahl von Vorgehen und Werkzeugen im Rahmen dieser Arbeit eine Entscheidungsgrundlage zur Verfügung gestellt.

Quantitative Forschung

Die quantitative Forschung beschreibt Verhalten, Zusammenhänge und Modelle durch zahlenmäßige Ausprägungen. Dadurch ist eine exakte Erfassung möglich und die Vorhersagbarkeit vereinfacht. Mit Hilfe von mathematischen Hilfsmitteln, z.B. aus der Stochastik oder Statistik, oder mit Hilfe von Optimierungsalgorithmen auf Basis der durch quantitative Forschung erlangten Messwerte kann eine zahlenbasierte Interpretation von Sachverhalten sowie eine rechnerische Optimierung der durch die Kennzahlen und Messwerte beschriebenen Probleme durchgeführt werden.

Eine quantitative Forschung bietet den Vorteil von exakt einteilbaren Ergebnissen, hoher Objektivität, der Möglichkeit, Ergebnisse zu vergleichen sowie eines meist geringeren Aufwandes als qualitative Methoden. Ihr sind allerdings dann Grenzen auferlegt, wenn die so genannte „Quantifizierung“ (das Belegen eines Sachverhaltes mit Messwerten) gar nicht, nicht in ausreichendem Umfang oder nicht in einer dem Sachverhalt gerecht werdenden Tiefe erfolgen kann. Hier besteht die Gefahr, dass die Informationen durch die Quantifizierung in ihrer Aussagekraft beschnitten werden.

Qualitative Forschung

Qualitative Methoden zeichnen sich durch eine große Offenheit und Flexibilität aus. Mit ihnen wird das Ziel verfolgt, die Wirklichkeit tiefgreifender abzubilden als dies mit quantitativen Methoden möglich ist. Rein qualitative Methoden erlauben dabei keine Interpretation basierend auf Zahlenwerten, ermöglichen aber dafür ein grundlegendes Verständnis der Problematik. Subjektive Eindrücke und Ursachen für Verhalten und Entscheidungen sind dadurch oftmals besser zu interpretieren, im Gegensatz zu den in dieser Richtung meist eingeschränkten und durch die Forschungsmethode vorbestimmten Interpretationsmöglichkeiten bei quantitativer Forschung.

Durch eine flexible Anwendungsmöglichkeit der gewählten Methode und durch deren Anpassungsmöglichkeiten sind qualitative Forschungen immer dann im Vorteil, wenn auch unbekannte und nicht genau bestimmbare Sachverhalte aufgedeckt werden sollen.

2.2.1.2 Ganzheitliche (holistische) Betrachtungsweise

Ganzheitliche Betrachtungen leiten sich vom philosophischen Prinzip des Holismus (griech. Holon: „das Ganze“) ab. Der Holismus steht für die Einnahme einer totalen Position, um echtes Verständnis über ein System zu erlangen. Der Grundsatz, etwas vordergründig als Ganzes und nicht als aus Teilen zusammengesetzt zu betrachten, fand aus der Philosophie kommend auch Eingang in weitere Wissenschaften. Zuerst angewandt in der Biologie, wird der Terminus zunehmend für die Benennung des Prinzips herangezogen, einen umfassenden Standpunkt einzunehmen. Dabei werden Problematiken oder Fragestellungen einer ganzheitlichen Betrachtung unterzogen, die eine umgreifende, weitsichtige