

1 Einleitung

Produzierende Unternehmen müssen ihr unternehmerisches Handeln neben ökonomischen Zielen zunehmend an ökologischen Zielen ausrichten [UHLM08]. Eine Ursache dafür ist die zunehmende Verknappung des Rohstoffangebots [EKIN17, S. 32] bei einem gleichzeitigen globalen Anstieg des Rohstoffbedarfs [FISC11, S. 10]. Parallel wächst die Nachfrage nach umweltfreundlichen Produkten von Konsument*innen [KRON20, S. 2] sowie Geschäftskund*innen. Darüber hinaus verstärken staatliche Regelungen wie CO₂-Preise [DEUT20] den Druck auf Unternehmen, den Umwelteinfluss ihrer Produkte zu reduzieren.

Zur Fertigung eines Produkts sind Maschinen sowie Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe erforderlich. Die Bereitstellung der Stoffe sowie der Einsatz der Maschinen wirken sich auf vielfältige Weise auf die Umwelt aus [HERR13, S. 6]. Da die einzusetzenden Maschinen und Stoffe in der Technologieplanungsphase festgelegt werden, bietet diese Phase wesentliche Stellhebel zur Beeinflussung der Umweltwirkung von Produkten [ABEL10, S. 542 f.]. Umwelteinflüsse werden mithilfe von Ökobilanzen erfasst [BRUN18, S. 879]. Um den dargestellten Herausforderungen zu begegnen, müssen Unternehmen fähig sein, Kosten und Umwelteinflüsse eines Produkts zu erfassen und diese sowohl während der Fertigung als auch in der Produktnutzungsphase zu reduzieren. Der Technologieplanung kommt dabei eine entscheidende Bedeutung zu, da sich die Fertigung auf die Umwelteinflüsse, die Produkte während ihrer Nutzungsphase verursachen, auswirken kann [KUHL09, S. 154]. Sie bietet somit die Möglichkeit, die Umwelteinflüsse von Produkten lebensphasenübergreifend zu reduzieren.

Da in der Technologieplanungsphase häufig noch keine Fertigungsmittel vorhanden sind, müssen die zu erwartenden Kosten und Umwelteinflüsse auf Basis von vorhandenem Wissen (Literatur, Datenbanken, Expert*innen) ermittelt werden. Um eine hinreichende Qualität der Ergebnisse sicherzustellen, muss die Unsicherheit der erhobenen Informationen berücksichtigt werden [ATIK00, S. 1]. Technologieplaner*innen müssen fähig sein, ökonomische und ökologische Zielkriterien integriert zu berücksichtigen, wenn sie neue Technologieketten planen. Weiterhin muss der Betrachtungsrahmen der Technologieplanung über die Phase der Fertigung hinausgehen und die Auswirkung der Fertigung auf die Kosten und Umwelteinflüsse, die in der Nutzungsphase des Produkts entstehen, berücksichtigen. Für bereits im Einsatz befindliche Fertigungsprozessfolgen muss es möglich sein, die durch sie verursachten Umwelteinflüsse lebensphasenübergreifend zu reduzieren.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher die Entwicklung einer Methodik zur Gestaltung von Technologieketten sowie Prozessfolgen nach lebensphasenübergreifend ökologisch-ökonomischen Kriterien. Der Forschungsschwerpunkt liegt auf der methodischen Unterstützung bei der Quantifizierung, Bewertung und Reduktion der Umwelteinflüsse und Kosten von Technologieketten bzw. Prozessfolgen bei Vorliegen von unsicheren Informationen.

Introduction

Manufacturing companies must increasingly align their business activities with ecological objectives in addition to economic objectives [UHLM08]. One reason for this is the increasing scarcity of raw materials [EKIN17, p. 32] with a simultaneous global increase in the demand for raw materials [FISC11, p. 10]. In parallel, the demand for environmentally friendly products from consumers [KRON20, p. 2] and business customers is growing. Furthermore, government regulations such as CO₂ prices [DEUT20] increase the pressure on companies to reduce the environmental impact of their products.

Machines as well as raw materials and supplies are required to manufacture a product. The provision of materials and the use of machines have a variety of effects on the environment [HERR13, p. 6]. Since the machines and materials to be used are determined in the technology planning phase, this phase offers significant levers for influencing the environmental impact of products. Environmental impacts are recorded with the help of Life Cycle Assessments [BRUN18, p. 879]. In order to meet the presented challenges, companies must be able to capture the costs and environmental impacts of a product and to reduce both during production and in the product use phase. Technology planning plays a decisive role in this context, as manufacturing can have an impact on the environmental impacts caused by products during their use phase [KUHL09, p. 154]. It thus offers the possibility of reducing the environmental impact of products across their life cycle phases.

Since manufacturing resources are often unavailable in the technology planning phase, the expected costs and environmental impacts must be determined on the basis of existing knowledge (literature, databases, experts, etc.). In order to ensure a sufficient quality of the results, the uncertainty of the collected information must be taken into account [ATIK00, p. 1]. Technology planners must be able to consider economic and ecological target criteria in an integrated way when planning new technology chains. Furthermore, the scope of technology planning must go beyond the manufacturing phase and consider the impact of manufacturing on the costs and environmental impacts that arise in the use phase of the product. For manufacturing process sequences already in use, it must be possible to reduce the environmental impacts caused by them across the life cycle phases.

The aim of the present work is therefore the development of a methodology for the design of technology chains as well as process sequences according to life cycle phase overreaching ecological-economic criteria. The research focus is on methodological support for quantifying, evaluating and reducing the environmental impacts and costs of technology chains or process sequences in the presence of uncertain information.

2 Abgrenzung des Untersuchungsbereichs

Specification of the investigation area

Im folgenden Kapitel wird der heuristische Bezugsrahmen der vorliegenden Arbeit geschaffen. Der heuristische Bezugsrahmen dient der „Systematisierung, Strukturierung und geistigen Durchdringung der den jeweiligen Untersuchungsbereich charakterisierenden Ursachen, Gestaltungen und Wirkungen“ [WOLF20, S. 38]. In Kapitel 2.1 erfolgt die objektbezogene Abgrenzung des Untersuchungsbereichs. In Kapitel 2.2 erfolgt die zeitbezogene Abgrenzung des Untersuchungsbereichs. Abschließend wird in Kapitel 2.3 der heuristische Bezugsrahmen hergeleitet.

2.1 Objektbezogene Abgrenzung

Object-related specification

In den folgenden Abschnitten werden grundlegende Begriffe der operativen Technologieplanung eingeführt. In Abschnitt 2.1.1 wird der Technologiebegriff definiert. In Abschnitt 2.1.2 wird das Betrachtungsobjekt Fertigungsprozessfolge in die Untersuchungsbereiche der Technologieplanung eingeordnet.

2.1.1 Abgrenzung des Technologiebegriffs

Specification of technology and technique

Gemäß der neuzeitlichen Definition nach BECKMANN aus dem 18. Jahrhundert ist die Technologie „die Wissenschaft, welche die Bearbeitung der Naturalien, oder die Kenntniß [*sic*] der Handwerke lehrt“ [BECK77, S. 15]. Im modernen Sprachgebrauch wird der Begriff Technologie synonym zur Technik verwendet. Beide Begriffe bezeichnen demnach die „Wissenschaft von der Umwandlung von Roh- und Werkstoffen in fertige Produkte und Gebrauchsartikel, indem naturwissenschaftliche und technische Erkenntnisse angewendet werden“ [DUDE19]. In der wissenschaftlichen Literatur finden sich unterschiedliche Definitionen der Begriffe Technologie und Technik (Abbildung 2-1).

SCHUHET AL. grenzen die Begriffe mithilfe des Systemansatzes ab. Demnach setzt sich die Technologie aus einer Wissensbasis als Input, einem Prozess als Problemlösungsweg und einer Problemlösung als Output zusammen. Die Technik beinhaltet lediglich den Prozess sowie den Output. [SCHU11, S. 33]

BULLINGER definiert die Technologie nach dem traditionellen Begriffsverständnis als „Wissen um naturwissenschaftlich-technische Zusammenhänge [...], soweit es Anwendung bei der Lösung technischer Probleme finden kann“. Die Technologie bildet somit eine Wissensbasis für einen Problemlösungsprozess. Das materielle Ergebnis dieses Prozesses definiert BULLINGER als Technik. [BULL94, S. 33–34]



Abbildung 2-1: Abgrenzung der Begriffe Technologie und Technik [SCHU11; BULL94; BIND96]
Specification of the terms technology and technique [SCHU11; BULL94; BIND96]

BINDER UND KANTOWSKY schlagen eine integrative Ausweitung des Technologiebegriffs vor [BIND96, S. 91–92]. Demnach beinhaltet die Technologie Wissen, Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten zur Lösung technischer Probleme sowie die Anlagen, Einrichtungen und Verfahren, die dazu dienen, naturwissenschaftliche Erkenntnisse praktisch umzusetzen. Die Technik ist nach diesem Verständnis ein Subsystem der Technologie. Dieser Arbeit liegt das integrative Begriffsverständnis zugrunde.

SCHUH ET AL. unterteilen Technologien gemäß ihres Einsatzgebietes in Material-, Produktions- und Produkttechnologien, vgl. Abbildung 2-2. Materialtechnologien bezeichnen die technischen Eigenschaften von Materialien, die eingesetzt werden, um dem Kundenwunsch nach leistungsfähigen Produkten zu entsprechen. Produktionstechnologien umfassen Fertigungs- und Montagetechnologien, die zur Herstellung von Produkten eingesetzt werden. Produkttechnologien werden zur Erfüllung der Aufgaben von Endprodukten eingesetzt. [SCHU11, S. 35]

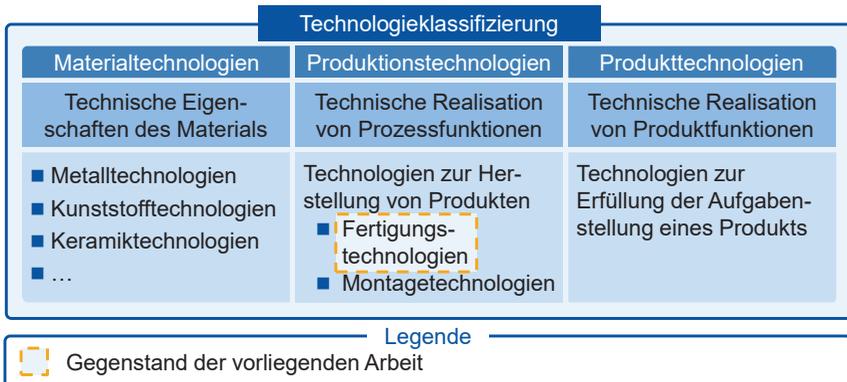


Abbildung 2-2: Klassifizierung von Technologien nach ihren Einsatzgebieten [SCHU11, S. 35]
Classification of technologies according to their fields of application [SCHU11, p. 35]

Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf der Planung der Verkettung von Fertigungstechnologien nach ökologisch-ökonomischen Kriterien. Daher bilden Fertigungs-

technologien das Betrachtungsobjekt der Arbeit. Die Begriffe Technologie und Fertigungstechnologie werden im Folgenden synonym verwendet. In diesem engeren Sinne bezeichnet eine Technologie gemäß DIN 8580 ein Fertigungsverfahren „zur Herstellung von geometrisch bestimmten, festen Körpern“ [DIN03]. Die Anwendungen von Technologien bspw. auf Schleif-, Umform- oder Erodiermaschinen zur direkten oder indirekten Änderung von Fertigungszustand, Form oder Substanz werden nach MÜLLER als Fertigungsmittel bezeichnet [MÜLL17, S. 5].

2.1.2 Abgrenzung des Begriffs Prozessfolge

Specification of manufacturing process sequences

Die in dieser Arbeit fokussierte Verkettung von Technologien nach ökologisch-ökonomischen Kriterien ist Forschungsgegenstand der Technologieplanung. Die originäre Aufgabe der Technologieplanung nach SCHRAFT ist „das Bestimmen der einzusetzenden Technologien nach Art und Zeitpunkt“. Dies beinhaltet indirekt die Abschätzung und Bewertung der Potenziale vorhandener und zukünftiger Technologien [SCHR99, S. 40]. Nach EVERSHEIM wird zwischen *operativer* und *strategischer Technologieplanung* unterschieden (Abbildung 2-3) [EVER96, S. 45–47].

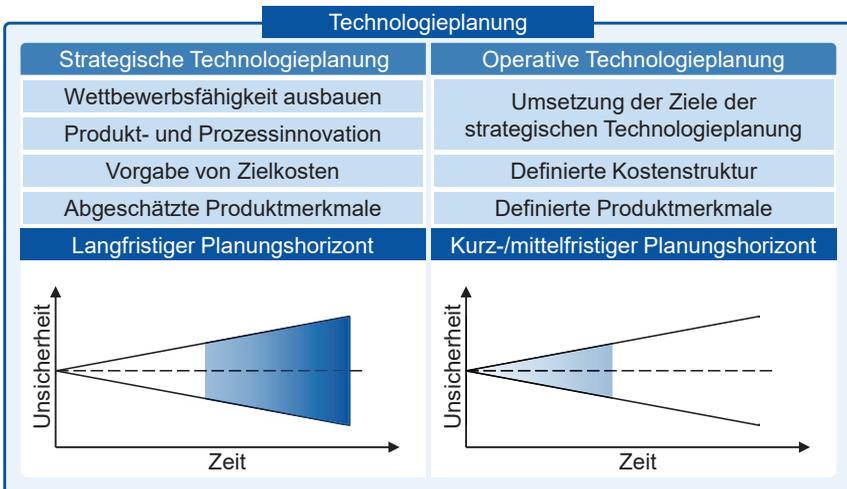


Abbildung 2-3: Planungshorizonte der Technologieplanung i. A. a. [EVER96, S. 45–47]
Planning horizons of technology planning referring to [EVER96, p. 45–47]

Das Ziel der *strategischen Technologieplanung* ist das Schaffen von Potenzialen, um die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens zu stärken oder auszubauen. Dies wird erreicht, indem Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsprozesse auf wettbewerbsrelevante Technologien ausgerichtet werden, um technologische Leistungspotenziale einzubringen. Im Fokus der Betrachtung steht dabei die Effektivität der Technologie.

Das Ziel der *operativen Technologieplanung* ist die Umsetzung der kurz- bis mittelfristigen Ziele der strategischen Technologieplanung durch optimalen Technologieeinsatz. Im Vordergrund steht die Maximierung der Effizienz der eingesetzten Technologie. [EVER96, S. 45–47]

Die vorliegende Arbeit wird der operativen Technologieplanung zugeordnet, da es sich bei den Bewertungsobjekten um Technologien handelt, die definierte Produktmerkmale erzeugen. In Abgrenzung zur Definition nach EVERSHEIM wird nicht von einer definierten Kostenstruktur ausgegangen, sondern die Kosten fließen als ein Bewertungskriterium in die Technologiebewertung ein.

Zur Fertigung eines Produkts werden Technologien in der Regel miteinander verknüpft. Dabei werden in Abhängigkeit vom erforderlichen Detaillierungsgrad der Planung sowie von der verfügbaren Informationsbasis unterschiedliche Gestaltungsebenen genutzt [STAU17, S. 5]. STAUDER unterscheidet im „Ordnungsrahmen für Gestaltungsebenen in der Technologieplanung“ zwischen den Ebenen Fertigungstechnologie, Technologiekette, Prozessfolge, Fertigungsfolge, Fertigungssystem und Produktionssystem (Abbildung 2-4) [STAU17, S. 6].

Die erste Gestaltungsebene umfasst *Fertigungstechnologien* gemäß Abschnitt 2.1.1. Die Kombination von Fertigungstechnologien in definierter Reihenfolge zur Herstellung eines Produkts wird als *Technologiekette* bezeichnet und bildet die zweite Gestaltungsebene [FALL00, S. 14]. Technologieketten umfassen primär wertschöpfende Aktivitäten. Transport-, Handhabungs- oder Lagerungsvorgänge werden nicht betrachtet [TROM01, S. 24]. Eine Erweiterung der Technologieketten stellen die *Prozessfolgen* dar (Ebene drei). Die Betrachtungsobjekte von Prozessfolgen sind primär wertschöpfende, verkettete Fertigungsmittel (vgl. Abschnitt 2.1.1) [TROM01, S. 32]. Prozessfolgen sind ein Bestandteil der nächsthöheren Gestaltungsebenen Fertigungsfolge und Fertigungssystem. Eine *Fertigungsfolge* besteht neben produktionsmittelbezogenen Fertigungsprozessen zusätzlich aus sekundär-wertschöpfenden Zwischenschritten wie Transport-, Handhabungs- oder Lagerungsvorgängen [KLOC98, S. 463]. Ein *Fertigungssystem* ist nach WESTKÄMPER eine Leistungseinheit im Sinne des Stuttgarter Unternehmensmodells. Es verfügt über eigene Ressourcen, beinhaltet Führungs- und Leitungsaufgaben und führt einen Transformationsprozess möglichst effizient durch. Ein Fertigungssystem ist ein offenes, veränderbares System, das einen eigenständigen Beitrag zur Wertschöpfung leistet [WEST06, S. 51]. Im Gegensatz zur Fertigungsfolge beinhaltet ein Fertigungssystem keine Handhabungs-, Prüf-, Lager- und Transportschritte [BUCH14, S. 8]. Die oberste Gestaltungsebene der Technologieplanung beinhaltet das *Produktionssystem* als eine technisch, organisatorisch und kostentechnisch selbstständige Allokation von Potenzial- und Mittelfaktoren zu Produktionszwecken. Das Produktionssystem ist die kleinste Unternehmenseinheit, die selbstständig eine Sachleistung erbringen kann. Es ist der Oberbegriff für alle Systeme, die die Erzeugung einer Sachleistung bezwecken [EVER92, S. 2059].

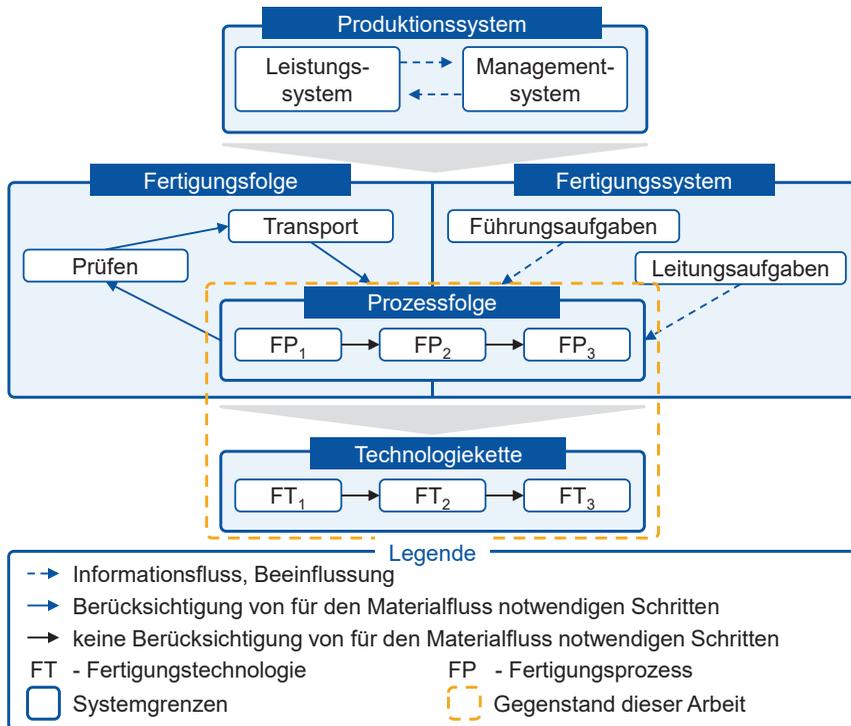


Abbildung 2-4: Gestaltungsebenen der Technologieplanung [STAU17, S. 6]

Design levels of technology planning [STAU17, p. 6]

In der vorliegenden Arbeit wird eine Methodik zur Auswahl und Verkettung von nach ökologischen und ökonomischen Kriterien optimierten Fertigungsmitteln entwickelt. Sekundär-wertschöpfende Prozesse werden nicht betrachtet. Im Fokus der Betrachtung liegen demnach Prozessfolgen. Zur Gestaltung von Prozessfolgen in frühen Planungsphasen ist die Betrachtung von Einzeltechnologien und von Technologieketten erforderlich. Die Gestaltungsebene der Technologieketten liegt daher ebenfalls im Betrachtungsrahmen der Arbeit.

2.2 Zeitbezogene Abgrenzung

Time-related specification

Für die zeitliche Eingrenzung des Untersuchungsbereichs eignet sich das Konzept des Produktlebenszyklus. Im Folgenden werden bestehende Ansätze zur Modellierung des Produktlebenszyklus vorgestellt. Für diese Arbeit eignet sich das flussorientierte Lebenszykluskonzept am besten, da es den physischen Lebensweg eines Produkts beschreibt. In der vorliegenden Arbeit werden primär die Phasen der Fertigung und der Produktnutzung betrachtet.

Alle Arten von Systemen durchlaufen in ihrem Lebenszyklus Phasen des Werdens, des Bestehens sowie des Vergehens [SCHL17, S. 110]. Nach HERRMANN verändern sich die relevanten Zustandsgrößen über die Zeit. Er teilt Konzepte zur Beschreibung des Produktlebenszyklus in *zustandsorientierte*, *flussorientierte* und *integrierte Lebenszykluskonzepte* ein. [HERR10, S. 63 f.]

Zustandsorientierte Lebenszykluskonzepte beschreiben den Verlauf von Zustandsgrößen über die Zeit [HERR10, S. 64]. Sie werden in der Betriebswirtschaft für die Darstellung des Lebenswegs eines Produkts am Markt genutzt (Abbildung 2-5). EHRENSPIEL unterscheidet die vier Präsenzphasen Markteinführung, Reifezeit, Sättigung und Abstieg eines Produkts am Markt. Den Präsenzphasen vorgelagert sind die Phasen der Produktplanung sowie der Produktentwicklung. Die modellierten Zustandsgrößen sind der Gewinn und die Kosten eines Produkts. [EHRL14a, S. 127]

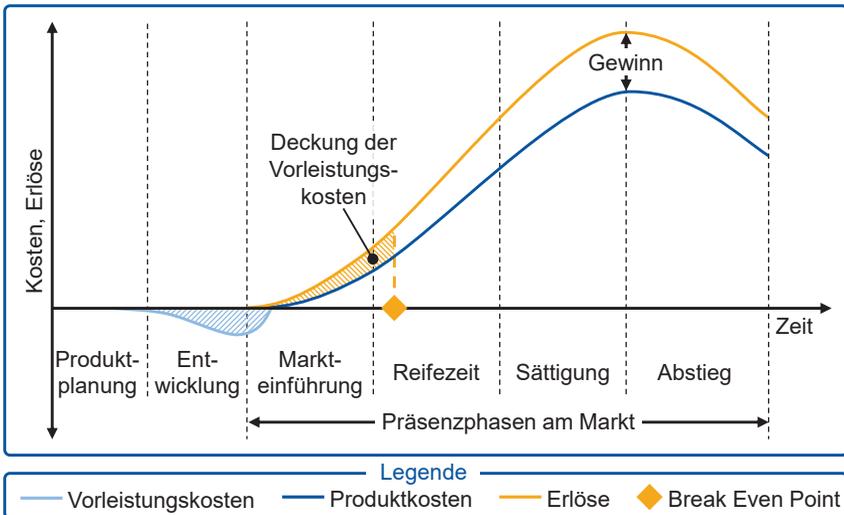


Abbildung 2-5: Zustandsorientiertes Lebenszykluskonzept i. A. a. [EHRL14a, S. 127]

State-oriented life cycle concept referring to [EHRL14a, p. 127]

Flussorientierte Lebenszykluskonzepte beschreiben Stoff- und Energieflüsse, die über den zeitlich-logischen Lebensweg eines Produkts verursacht werden, vgl. Abbildung 2-6. Einzelne Sequenzen werden als Lebensphasen bezeichnet. In der vorliegenden Arbeit werden i. A. a. KIMURA die Phasen *Rohstoffgewinnung*, *Fertigung*, *Nutzung* und *Entsorgung* unterschieden [KIMU96, S. 82].

Während der *Rohstoffgewinnung* werden Primärrohstoffe aus der Umwelt entnommen und zu Rohstoffen, die als Inputs von Fertigungsprozessen dienen, weiterverarbeitet. Primärrohstoffe sind Materialien, die unbearbeitet als Reserve oder Ressource in der Umwelt vorkommen [KAUM16, S. 25]. Der Begriff Reserve bezeichnet die in der Umwelt verfügbare Menge eines Rohstoffs, die mit verfügbaren Technologien gefördert

werden kann. Demgegenüber umfassen Ressourcen zusätzlich zu den Reserven auch diejenigen Rohstoffvorkommen, die zwar bekannt sind, deren Förderung derzeit aus technologischen oder wirtschaftlichen Gründen jedoch nicht verfolgt wird [WELL14, S. 127].

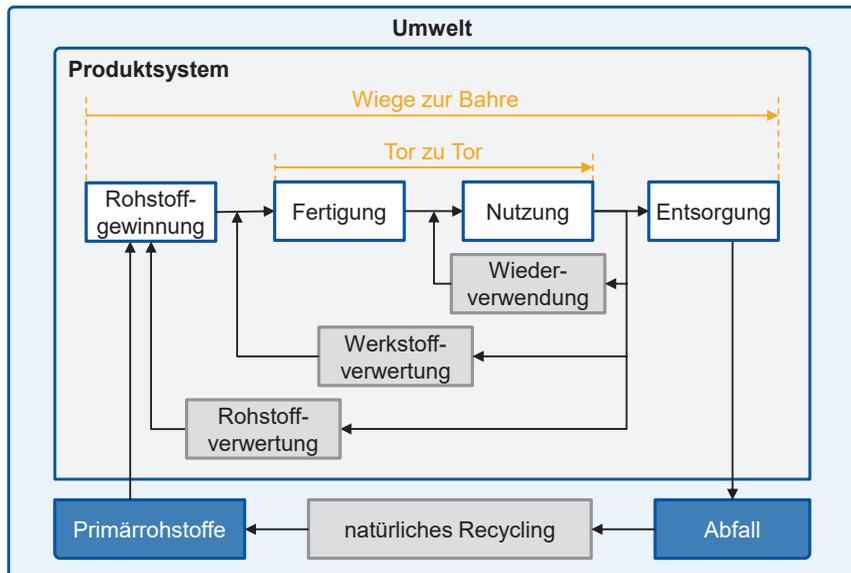


Abbildung 2-6: Flussorientiertes Lebenszykluskonzept i. A. a. KIMURA [KIMU96, S. 82]
Flow-oriented life cycle concept referring to KIMURA [KIMU96, p. 82]

Während der *Fertigung* werden Produkte mit vorgegebenen Qualitätsmerkmalen in der geforderten Menge zur Verfügung gestellt [KLOC18, S. 6]. Die den Vorgaben entsprechende Ausprägung der Qualitätsmerkmale befähigt ein Produkt zur Erfüllung der vorgesehenen Funktion, indem physikalische Effekte ausgenutzt werden [FELD13a, S. 247]. Die Funktion ist definiert als „der allgemeine und gewollte Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang eines Systems mit dem Ziel, eine Aufgabe zu erfüllen“ [FELD13b, S. 242]. Qualitätsmerkmale werden durch Produktmerkmale auf der Makro-, Mikro- und Mesoebene definiert. Makrogeometrische Merkmale sind bspw. die Maß-, Form- und Lagegenauigkeit von Geometrieelementen. Mikrogeometrische Merkmale sind bspw. Oberflächenkennwerte. Beispiele für Merkmale auf der Mesoebene sind Härte und Eigenspannungen in der Randzone. [KLOC05a, S. 23]

Nach der Auslieferung an den/die Nutzer*in geht das Produkt in die *Nutzungsphase* über. Hier finden die Prozesse statt, für die das Produkt vorgesehen ist. Die Ausgestaltung der Nutzung ist von der Art des Produkts abhängig. Das Produkt wird gebraucht oder verbraucht, bis es in einen Zustand übergeht, in dem die Funktionalität nicht mehr erfüllt wird. Mögliche Ursachen dafür sind technischer Natur (z. B. Ver-

schleiß), wirtschaftlicher Natur (z. B. veränderte Randbedingungen) oder regulatorischer Natur (z. B. vorgegebenes Wartungsintervall erreicht), vgl. [NIEM09, S. 261–263].

Auf die Nutzungsphase folgt die *Entsorgung* oder *Aufbereitung* des Produkts. Mit der Entsorgung wird das Produkt der Natur übergeben und auf natürlichem Wege verwertet. Die natürliche Verwertung erfordert häufig einen großen Zeitraum und kann erhebliche Umweltschäden verursachen [UMWE12, S. 57]. Bei der Aufbereitung wird zwischen den drei Pfaden Wiederverwendung, Wiederverwertung und Rohstoffverwertung unterschieden, vgl. [SIEB74, S. 121].

Integrierte Lebenszykluskonzepte stellen sowohl die Lebensphasen, die ein Produkt durchläuft, als auch die Entwicklung von Zustandsgrößen in diesen Lebensphasen dar [HERR10, S. 64]. Somit wird es ermöglicht, die Kosten und die Erlöse, die ein Produkt verursacht, über den gesamten Produktlebensweg zu analysieren und diese Zustandsgrößen konkreten Lebensphasen zuzuordnen [HERR10, S. 71–73].

In Abschnitt 2.1.2 wurde der Untersuchungsbereich der vorliegenden Arbeit auf Technologieketten sowie Prozessfolgen eingegrenzt. Im Fokus der Arbeit liegen die Fertigung eines Produkts sowie die Auswirkungen der Fertigung auf die Produktnutzung. Der Untersuchungsbereich wird daher zeitbezogen auf die Lebensphasen Fertigung und Nutzung abgegrenzt.

2.3 Zwischenfazit und Definition des heuristischen Bezugsrahmens

Interim conclusion and definition of the heuristic reference frame

In der vorliegenden Arbeit wird eine Methodik erarbeitet, die es ermöglicht, Technologieketten und Prozessfolgen so zu gestalten, dass nach einer integrierten Bewertung der Kosten und Umwelteinflüsse die bestgeeignete Lösung ausgewählt wird. Der Untersuchungsrahmen schließt Auswirkungen der Fertigung auf die Nutzungsphase mit ein. Die Betrachtungsobjekte sind Technologieketten sowie Prozessfolgen. Im Fokus stehen die Fertigung und die Nutzungsphase des hergestellten Produkts. Die Methodik wird daher den Lebensphasen Fertigung und Nutzung zugeordnet. Der heuristische Bezugsrahmen dieser Arbeit ist in Abbildung 2-7 dargestellt.

Die Methodik wird insbesondere für die Optimierung von Prozessfolgen zur Fertigung von Präzisionswerkzeugen entwickelt. „Präzisionswerkzeuge sind Maschinenwerkzeuge, die in allen Bereichen der Metallbearbeitung [...] eingesetzt werden.“ [VDMA17] Dazu zählen insbesondere Zerspan-, Schnitt- und Stanzwerkzeuge [VDMA17]. Präzisionswerkzeuge zeichnen sich dadurch aus, dass ihre während der Fertigung erzeugten Eigenschaften einen signifikanten Einfluss auf die Werkzeuglebensdauer in der Nutzungsphase haben. Die Werkzeuglebensdauer wird durch die Einstellung von Parametern (z. B. Schnittgeschwindigkeit) während der Nutzungsphase beeinflusst. Die Lebensdauer beeinflusst, wie hoch die Kosten sowie die Umweltauswirkungen eines Präzisionswerkzeugs bezogen auf ein durch das Werkzeug hergestelltes Produkt sind. Aufgrund der Vielzahl von Einflüssen der Fertigung sowie der Nutzungsphase auf die

Lebensdauer von Präzisionswerkzeugen eignen sich Präzisionswerkzeuge besonders als Betrachtungsobjekt für eine lebensphasenübergreifende Analyse der Fertigung und der Nutzungsphase im Kontext der operativen Technologieplanung.

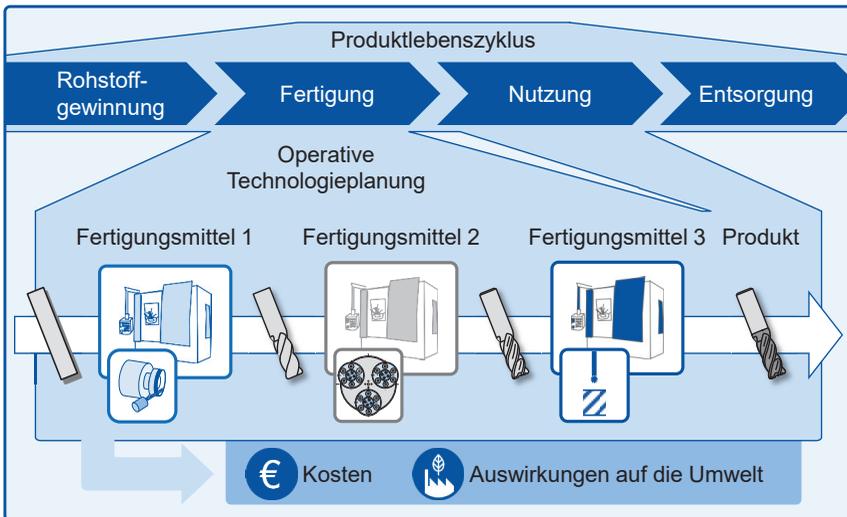


Abbildung 2-7: Heuristischer Bezugsrahmen der vorliegenden Arbeit
Heuristic reference frame of the thesis