

Uwe Dombrowski, Sibylle Hennersdorf, Mustafa Celik, Sebastian Weckenborg, Tim Mielke, Carsten Roth, Antje Voigt, Regina Sonntag, Werner Kaag, Christian Laviola, Sima Rustom

# **Planungsleitfaden Zukunft Industriebau**

## **Ganzheitliche Integration und Optimierung des Planungs- und Realisierungsprozesses für zukunftsweisende und nachhaltige Industriegebäude**

**Teil A:**

**Einleitung**

**Teil B:**

**Szenariotechnik**

**Teil C:**

**Lebenszyklusbetrachtung**

F 2756/1

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2011

ISBN 978-3-8167-8516-3

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

[www.irb.fraunhofer.de/tauforschung](http://www.irb.fraunhofer.de/tauforschung)

# Schlussbericht **Planungsleitfaden Zukunft Industriebau**

Forschung an der Technischen Universität Braunschweig

„Ganzheitliche Integration und Optimierung des Planungs- und Realisierungsprozesses für zukunftsweisende und nachhaltige Industriegebäude“

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert. (Aktenzeichen: Z6 – 10.08.18.7 – 08.2 / II 2 – F20-07-69)  
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt beim Autor.

# Schlussbericht **Planungsleitfaden Zukunft Industriebau**

Forschung an der Technischen Universität Braunschweig

## **Technische Universität Braunschweig**

### **IFU - Institut für Fabrikbetriebslehre und Unternehmensforschung**

Prof. Dr. - Ing. Uwe Dombrowski

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Sibylle Hennersdorf

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Mustafa Celik

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Sebastian Weckenborg

Tim Mielke, M. Eng.

Langer Kamp 19 | 38106 Braunschweig

tel. + 49 (0)531 391 2714 | fax. + 49 (0)531 391 8237

tim.mielke@tu-bs.de www.ifu.tu-bs.de

### **IIKE - Institut für Baukonstruktion und Industriebau**

#### **Abteilung Industriebau und konstruktives Entwerfen**

Prof. Carsten Roth

Dipl.-Ing. Architektin Antje Voigt

Dipl.-Ing. Regina Sonntag RIBA

Pockelsstraße 3 | 38106 Braunschweig

tel. + 49 (0)531 391 2531 | fax. + 49 (0)531 391 5948

r.sonntag@tu-bs.de www.iike.tu-bs.de

### **IBK - Institut für Baukonstruktion und Industriebau**

#### **Abteilung Baukonstruktion**

Prof. Werner Kaag

Dipl.-Ing. Architekt Christian Laviola

M. Arch. Architektin Sima Rustom

Schleinitzstraße 21b | 38106 Braunschweig

tel. + 49 (0)531 391 5944 | fax. + 49 (0)531 391 8117

ch.laviola@tu-bs.de www.kaag.tu-bs.de

#### **Industriepartner:**

Bauforumstahl (BFS) e.V.

Forschungsvereinigung der deutschen Beton- und Fertigteilindustrie e. V.

Gesamtverband Dämmstoffindustrie

Hochtief Construction AG

M+W Zander Group

# Übersicht

**A - Einleitung**

**B - Szenariotechnik im Industriebau**

**C - Lebenszyklusbetrachtung im Industriebau**

**D - Planungssystematik**

**E- Strukturen zukunftsfähiger Industriebauten**

# Teil A

## Einleitung

**TU BRAUNSCHWEIG | IFU - INSTITUT FÜR FABRIKBETRIEBSLEHRE UND UNTERNEHMENSFORSCHUNG**  
**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Dombrowski**

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Mustafa Celik

Schlussbericht im Rahmen des Forschungsvorhabens „Planungsleitfaden Zukunft Industriebau“ -  
gefördert mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau | Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung

# Schlussbericht **Planungsleitfaden Zukunft Industriebau**

Forschung an der Technischen Universität Braunschweig

**TU BRAUNSCHWEIG | IFU - INSTITUT FÜR FABRIKBETRIEBSLEHRE UND UNTERNEHMENSFORSCHUNG**  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Dombrowski

Langer Kamp 19  
38106 Braunschweig  
[www.ifu.tu-bs.de](http://www.ifu.tu-bs.de)

Im Rahmen des Abschlussberichtes „Planungsleitfaden Zukunft Industriebau“, Aktenzeichen: Z 6 - 10.08.18.7-08.2 / II 2 – F20-07-69, sind verwendete Abbildungen, Diagramme, Tabellen und Fotos als großes Bildzitat nach § 51 UrhG unter korrekter Quellenangabe zulässig. Eine gewinnbringende Veröffentlichung/Publikation ist aus urheberrechtlichen Gründen nicht zulässig.

# Inhalt

## A - Einleitung

A1	Projektübersicht	6
A2	Motivation	7
A3	Ziele	8
3.1	Ganzheitliche Integration der Disziplinen (1. Hauptziel)	8
3.2	Integration der Planungsphasen (2. Hauptziel)	9
3.3	Relevanz der Hauptziele	9
3.4	Erstellung eines Planungsleitfadens	9
A4	Arbeitsform	10
A5	Arbeitspakete	12
A6	Gliederung	14
A7	Verzeichnisse	15

# A Einleitung

## A Einleitung

### A1 Projektübersicht

Das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) fördert wissenschaftliche Forschungsvorhaben aus dem Bereich des Hochbaus, die den in der Ausschreibung des Programms genannten Zielen dienen und für die ein öffentliches Interesse besteht. Ziel der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ ist es, die Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Bauwesens im europäischen Binnenmarkt zu stärken und bestehende Defizite, insbesondere im Bereich technischer, baukultureller und organisatorischer Innovationen, zu beseitigen. Mit innovativen Techniken und Verfahren sowie durch die Verbesserung von Prozessen im Bauwesen sollen spürbare Beiträge zum nachhaltigen Bauen, zum zukunftsorientierten Bauen im Bestand, zur Verbesserung und Instandhaltung der Infrastruktur und zum Aufbau eines modernen „Leitbildes Bau“ geleistet werden.

Vor diesem Hintergrund wurde die Forschungsarbeit „Ganzheitliche Integration und Optimierung des Planungs- und Realisierungsprozesses für zukunftsweisende und nachhaltige Industriegebäude“, Kurztitel „Planungsleitfaden Zukunft Industriebau“, Aktenzeichen Z 6 – 10.08.18.7- 08.2 / II 2-F20-07-69 laut Zuwendungsbescheid von 18.04.2008, mit Mitteln der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung bis zum 31.05.2010 gefördert. Die Forschungsarbeit ist keine Vertragsforschung für den Bund, sondern eine Eigenforschung des Zuwendungsempfängers.

Um die gesetzten Ziele zu erreichen und Synergien zu nutzen, haben Ingenieure und Architekten der TU Braunschweig als Forschungsteam interdisziplinär zusammengearbeitet. Seitens des Instituts für Baukonstruktion und Industriebau haben aus den beiden Abteilungen - Abteilung Industriebau und konstruktives Entwerfen (IKE) sowie Abteilung Baukonstruktion (IBK) - Architekten an dem Forschungsprojekt gearbeitet. Die Ingenieure vom Institut für Fabrikbetriebslehre und Unternehmensforschung (IFU) befassten sich mit den fabrikplanerischen Aspekten und Fragestellungen des Projekts. Um einen Transfer der Forschungsergebnisse in die Praxis sicherzustellen sowie praxisnahe Erfahrungen in die Forschung einzubeziehen, wurde das Projekt in enger Kooperation mit Industrieunternehmen aus der Baubranche, Branchenverbänden und weiteren Forschungseinrichtungen durchgeführt. Namentlich zu erwähnen sind hier:

- Hochtief Constructions AG, Frankfurt am Main
- Bauforumstahl e.V., Düsseldorf
- M+W Group GmbH, Stuttgart
- Gesamtverband Dämmstoffindustrie (GDI), Berlin
- Forschungsvereinigung der deutschen Beton- und Fertigteilindustrie e.V., Berlin.

### A2 Motivation

Industriebetriebe sind durch den Konkurrenzdruck der globalisierten Märkte sich ständig ändernden Rahmenbedingungen und daraus resultierenden kürzeren Strategie- und Entscheidungszyklen unterworfen.

Daraus ergeben sich für den Industriebau neue Anforderungen: Flexibilität, Wandlungsfähigkeit und Reaktionsschnelligkeit als Basis für den langfristigen wirtschaftlichen Erfolg erfordern zukunftsfähige und nachhaltige Industriegebäude. Die bisher gängige Praxis kurzfristiger, den Änderungen der Produktion folgender Neubauten, Erweiterungen und Umbauten bedeutet vor diesem Hintergrund nicht nur eine Verschwendung von baulichen Ressourcen, sondern hat aufgrund der oftmals fehlenden Absicherung der Planungsanforderungen und -ergebnisse unmittelbare Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit einer Produktionsstätte. Das Fehlen eines langfristig angelegten, interdisziplinären Szenariomanagements hat insbesondere für den Nutzer weitreichende Folgen, da hierdurch der optimale Betrieb der Fabrik ggf. nur über einen kurzen Zeitraum nach der Realisierung des Industriegebäudes möglich ist. Bisher gehören umfangreiche Anpassungen von Industriebauten nach der Fertigstellung oder spätestens bei Umstellungen im Produktionsprozess zum Alltag. Hierdurch können erhebliche Ausfallzeiten entstehen, wodurch entscheidende Marktanteile für das Unternehmen verloren gehen können. Die nachträgliche kontinuierliche Anpassung des Industriegebäudes verursacht einerseits hohe Kosten und vermeidet andererseits oft die Verfolgung von langfristigen Produktionsstrategien, da bei einem Umbau die Bedürfnisse der Produktion oft nicht in dem Maße berücksichtigt werden können wie bei einer zukunftsorientierten Planung des Neubaus. Da auch bei einer zukunftsorientierten Planung nachträgliche Umbauten nicht vermeidbar sind, wird hier besonderer Wert auf die Wandlungsfähigkeit des Gebäudes gelegt.

Resultierend aus den Erfahrungen in Praxis und Forschung der beteiligten Institute und den geführten Vorgesprächen mit Unternehmen und Verbänden konnte insbesondere der aktuell vorherrschende Prozessablauf in der Planung von Industriebauten als Schwachstelle identifiziert werden. Eine fehlende Einbindung aller Planungsbeteiligten kann zu steigenden Planungszeiten und –aufwänden führen, da oft nicht alle relevanten Anforderungen von Anfang an berücksichtigt werden. Eine zu hohe Schnittstellenanzahl kann ebenfalls zu Fehlern und Redundanzen während des Prozessablaufs führen, wodurch eine effiziente, nachhaltige und zielorientierte Planung nicht gewährleistet werden kann.

Aus diesen Gründen werden in einer integrativen Planung deutliche Chancen für eine Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit im Umgang mit den Ressourcen Zeit und Baustruktur (Material- und Energieeinsatz) gesehen. Die in Deutschland tätigen Planer, Ingenieure und Bauunternehmen sind weltweit gefragte Exporteure von Dienstleistungen, gerade auch in den Bereichen der Fabrikplanung, des Industriebaus und der industriellen Standortentwicklung. In Folge von EU-Ausschreibungen und der weltweiten Konkurrenz steigt der Druck auf die Bauindustrie, zukunftsfähige Gebäudestrukturen und Baukomponenten aber auch die dafür erforderlichen Planungsdienstleistungen anzubieten. Ebenso sind Kenntnisse im Bereich der interdisziplinären Kooperation und des Schnittstellenmanagements auszubauen, um sich durch Qualität und Nachhaltigkeit gegenüber günstigeren Anbietern am Markt zu positionieren.

## A3 Ziele

Das Forschungsvorhaben dient der Erarbeitung eines innovativen, integrierten und ganzheitlichen Konzepts zur Planung und Realisierung von zukunftsfähigen Industriegebäuden. Abbildung 1 illustriert die Hauptziele des Projekts, die Vorgehensweise zur Zielerreichung sowie das Ergebnis.

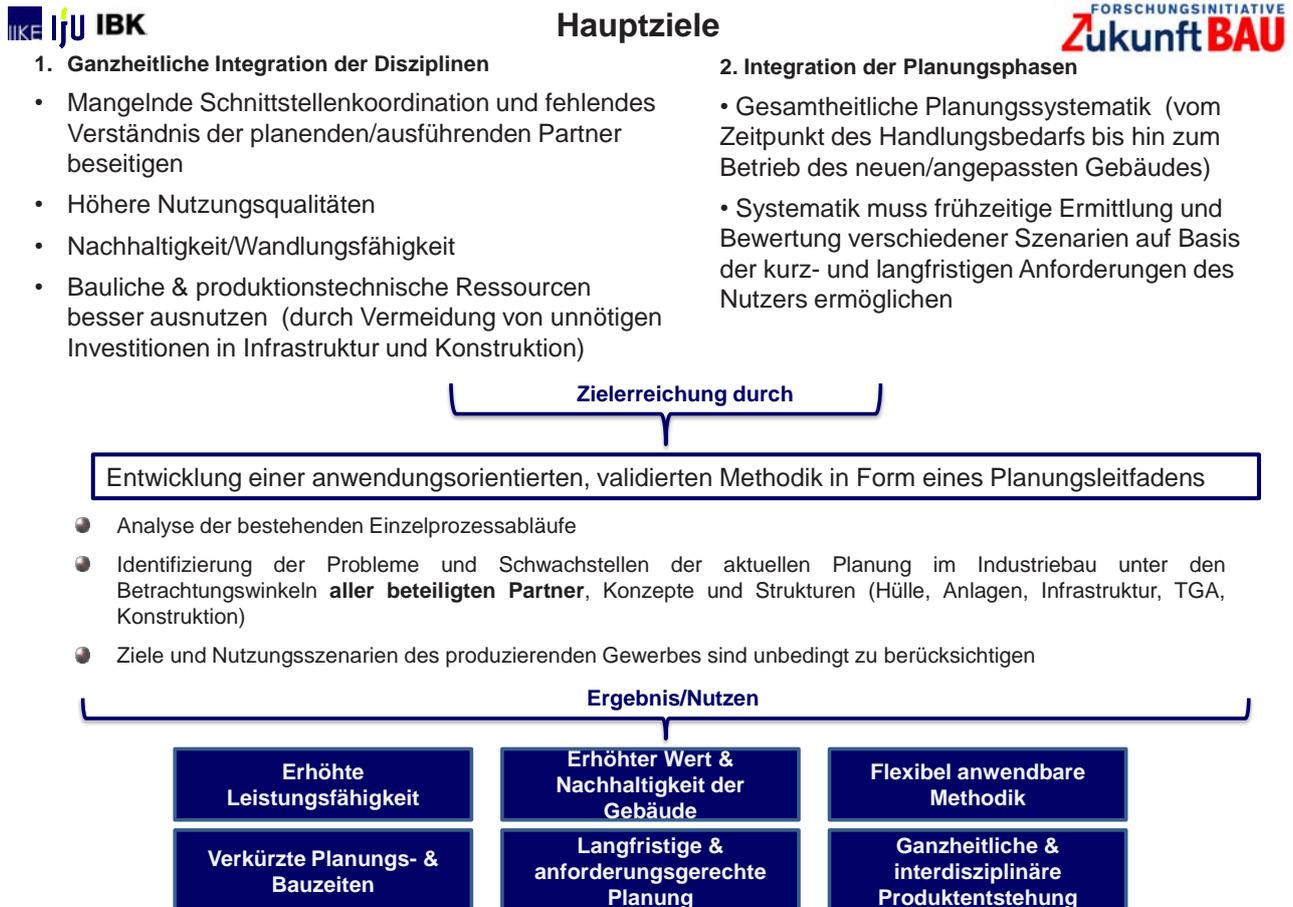


Abb. A1: Ziele des Forschungsprojekts

### 3.1 Ganzheitliche Integration der Disziplinen (1. Hauptziel)

Probleme in der Nutzungsqualität und Wandlungsfähigkeit von Industriebauten sind oftmals begründet in einer mangelnden Kommunikation und einem fehlenden gegenseitigem Verständnis der planenden und ausführenden Partner. Hierbei stellt sich die besondere Herausforderung, die Partner der unterschiedlichen Disziplinen wie Architekten, Bauingenieure, Fabrikplaner, Maschinenbauer, Facility Manager und bauausführendes Gewerbe zu koordinieren und Kommunikationsschnittstellen zu definieren. Durch die Entwicklung einer Systematik zur integrierten Betrachtung von Hülle und Produktionsanlagen sollen folgende Hauptziele des Forschungsvorhabens erreicht werden:

- höhere Nutzungsqualitäten, Flexibilität/Nachhaltigkeit/Wandlungsfähigkeit

- bessere Ausnutzung der baulichen und produktionstechnischen Ressourcen durch Vermeidung von unnötigen Investitionen in Infrastruktur und Konstruktion (bau- und produktionsseitig)
- Optimierung von Effektivität und Wirtschaftlichkeit des gesamten Planungsprozesses zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit, Vermeidung von Redundanzen im Planungsablauf und Verbesserung des Daten-/ Informationsaustauschs.

### 3.2 Integration der Planungsphasen (2. Hauptziel)

Ein zweiter Schwerpunkt des Vorhabens liegt auf der Konzeption einer Planungssystematik, welche den Planungsablauf beginnend mit der Identifikation des Handlungsbedarfs (z.B. Verlust des optimalen Betriebspunktes bzw. der Wirtschaftlichkeit der Fabrik) über die Neu-/Umplanung bis hin zur Realisierung und dem anschließenden Betrieb der neuen/angepassten Produktionsstätte berücksichtigt. Die Systematik muss hierbei nicht nur Meilensteine, Prozess- und Planungsbeteiligte (Rollen), benötigte Qualifikationen der Planer und anderen Beteiligten während des Planungsablaufs ausweisen, sondern auch eine Methodik zur frühzeitigen Entwicklung und Bewertung verschiedener Szenarien auf Basis der kurz- und langfristigen Anforderungen des Bauherren/Nutzers bieten. Über den gesamten Planungsprozess hinweg sollen Fragen des Baus, des Betriebs, und der Produktion betrachtet werden. Im Vordergrund des Planungsvorgehens steht die Zukunftsfähigkeit des Industriegebäudes.

### 3.3 Relevanz der Hauptziele

Bestätigt werden die zuvor genannten Hauptziele durch Erkenntnisse aus Vorarbeiten der beteiligten Institute sowie aus Vorgesprächen und Arbeitssitzungen mit Industrieunternehmen. Allgemein ist festzustellen, dass für eine langfristige, globale Sicherung und Steigerung der wirtschaftlichen Bedeutung des deutschen Baugewerbes diese Ziele eine hohe Bedeutung aufweisen. Hierdurch werden Vorteile wie ein deutlicher Geschwindigkeitsvorsprung gegenüber globalen Mitbewerbern, eine abgesicherte, nachhaltige Planung sowie eine schnelle, effiziente Inbetriebnahme und langfristige, kostenoptimierte Nutzung von Industriegebäuden ermöglicht.

### 3.4 Erstellung eines Planungsleitfadens

Zur Erreichung der Hauptziele des Forschungsvorhabens ist eine anwendungsorientierte, validierte Methodik in Form eines Planungsleitfadens erforderlich. Einfließen in den Leitfaden muss die Analyse der:

- aktuell bestehenden Einzelprozessabläufe, Probleme und Defizite der Planung im Industriebau unter den Betrachtungswinkeln aller Beteiligten,
- innovativen Konzepte und Strukturen von Industriegebäuden (Hülle, Anlagen, Infrastruktur, TGA, Konstruktion etc.) unter Einbindung neuer verfahrenstechnischer Maßnahmen (standardisierte Bauverfahren, vorgefertigte Elemente etc.),
- Entwicklungsziele und Nutzungsszenarien des produzierenden Gewerbes zur Einschätzung der benötigten Wandlungsfähigkeit und Nachhaltigkeit.

Auf der Basis des Planungsleitfadens wird das zeitnahe Erreichen der angestrebten Ziele unter Zuhilfenahme geeigneter Methoden und Werkzeuge, wie digitale Planungsverfahren und Wissensmanagementmethoden, ermöglicht.

## A4 Arbeitsform

Während der Projektlaufzeit wurden insgesamt sieben Industriekreistreffen sowie zwei ganztägige Workshops mit Experten des Heinz-Nixdorf-Institutes (HNI) der Universität Paderborn durchgeführt. Einen Überblick über Termine und Inhalte dieser Treffen und Workshops gibt Tabelle 1.

Art	Datum/Ort	Kernthemen
Industriekreistreffen 1	19.02.2008, IFU TU Braunschweig	Zur Definition der Projektstrukturen wird eine Analyse durchgeführt, bei der alle Teilnehmer ihre Ziele in dem Forschungsvorhaben benennen. Die genannten Ziele werden anschließend erläutert und thematisch geclustert. Die geclusterte Projektstruktur wird anhand jedes Teilnehmers bewertet.
Industriekreistreffen 2	25.06.2008, IIKE TU Braunschweig	Das Vorgehen des Szenariomanagements zur Bildung von Szenarien für den zukünftigen Industriebau wird vorgestellt. Es wird diskutiert, inwieweit die ermittelten Einflussfaktoren tatsächlich als Schlüsselfaktoren herangezogen werden können.
Industriekreistreffen 3	16.09.2008, IFU TU Braunschweig	Kernthemen in diesem dritten Industriekreistreffen sind insbesondere die Standortwahl von Industriebauten, Möglichkeiten zur Einbeziehung von innovativen Entwicklungen in den Strukturbaukasten sowie die Erarbeitung von relevanten Aspekten zur Neuentwicklung einer sogenannten „Planungsphase 0“.
Industriekreistreffen 4 und Workshop 1 (Moderiert vom HNI)	04./05.02.2009, M+W Zander EF GmbH, Stuttgart	Die Grundlagen der Prämissen für den Industriebau und Integrationsansätze für die Einbindung der ermittelten Prämissen in den aktuellen Industriebau werden diskutiert. Zudem wird die Bearbeitungsstruktur für den Strategienkatalog, basierend auf der Best-Practice-Sammlung, thematisiert. Im Rahmen des Workshops werden Schlüsselfaktoren ausgewählt und eine Grobbeschreibung der Zukunftprojektionen ermittelt.

Industriekreistreffen 5	26.03.2009, Bauforumstahl e.V., Düsseldorf	Im Zuge der Bearbeitung ist es in der Arbeitsgruppe zu einem Perspektivwechsel gekommen. Anstelle der bisher analysierten Prämissen, Leistungsphasen und Rollenmodelle der Leistungserbringer sollen für den zu erstellenden Leitfaden als Zielgrößen die Eigenschaften (nach Zeit, Kosten und Qualität) des zu erstellenden Industriegebäudes und für den Planungsprozess die benötigten Kompetenzen, Konstellationen und Meilensteine im Fokus stehen. Anhand dieser Parameter soll versucht werden, allgemeine Anforderungsprofile zu entwickeln, die den Anwender des Leitfadens befähigen, spezifische Anforderungen für seinen Planungsprozess zu generieren.
Workshop 2 (moderiert vom HNI)	28.04.2009, IFU TU Braunschweig	Experten auf dem Gebiet der Szenariotechnik vom HNI in Paderborn leiten eine offene Diskussion/Gruppenarbeit, aus der für jedes der drei Szenarien Chancen und Risiken abgeleitet werden. Im Nachgang werden hieraus Anforderungen für das Produkt (Gebäude) sowie die Dienstleistung (Planungsprozess) entwickelt.
Industriekreistreffen 6	03.06.2009, IFU TU Braunschweig	Neben einem Gesamtüberblick über die Szenarien, mit separater Betrachtung des Gebäudes und des Planungsprozesses, wird die Methodik vorgestellt, mit der die Clusterung der im vorherigen Workshop erarbeiteten Anforderungen durchgeführt wird.
Industriekreistreffen 7	04.11.2009, Hochtief Construction AG, Frankfurt am Main	Im letzten Industriekreistreffen vor der Abgabe des Abschlussberichts werden letzte Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge seitens der Projektbeteiligten gemacht. Insgesamt werden keine Mängel an den bisherigen Ergebnissen festgestellt.

Tab. A1: Überblick der Industriekreistreffen und Workshops

## **A5 Arbeitspakete**

Im Folgenden werden die zu Projektbeginn definierten Arbeitspakete (AP) vorgestellt.

### **AP-1: Szenarien für Industriegebäude der Zukunft**

Die Anforderungen des produzierenden Gewerbes bezüglich Flexibilität, Wandlungsfähigkeit und Nachhaltigkeit zukünftiger Gebäude- und Produktionsstrukturen müssen in Szenarien überführt werden. Um dies zu erreichen, werden die bei den Industriepartnern eingesetzten Verfahren analysiert und optimiert. Darüber hinaus werden weiterführende branchenübergreifende Szenariomanagementverfahren untersucht und ihre Anwendbarkeit für den Betrachtungsbereich geprüft, um so eine effektive umfassende Einbindung der Nutzerinteressen zu gewährleisten.

- AP-1.1: Szenario Fabrikplanung und Industriebau
- AP-1.2: Szenarioauswertung Nachhaltigkeit/konstruktive Aspekte

### **AP-2: Analyse der Strukturen und Prozesse im Industriebau**

**Baustrukturen:** Die Analyse aktueller Strukturen (Hülle, TGA, Anlagen, Infrastrukturen, Raumkonzepte, Konstruktionen) ist Grundlage für die Ableitung zukünftig benötigter Strukturen und der zu bewältigenden Probleme und Defizite des Bestands im Bezug auf die Ergebnisse aus (AP-1).

**Planungsverfahren:** Bestehende Kommunikations- und Datenstrukturen werden analysiert, um Defizite und Probleme in der Schnittstellenbildung transparent zu machen. Im Rahmen einer Gesamtübersicht über die bisherigen zeitlichen Abläufe (Meilensteine, Zeitpunkt der Einbindung von Projektpartnern etc.) werden während des Prozessablaufs eingesetzte Methoden und Werkzeuge detailliert betrachtet. Die Datenaufnahme erfolgt im Industriekreis sowie bei Industriepartnern der beteiligten Institute.

- AP-2.1: Analyse Baustrukturen/Konstruktion/Nachhaltigkeit (Hülle, Bauteile, Klima, integrierte Versorgung)
- AP-2.2: Analyse Planungsprozess Industriebau
- AP-2.3: Analyse Planungsprozess Fabrikplanung

### **AP-3: Entwicklung von innovativen Industriegebäudestrukturen**

Innovative Gebäude-, Einrichtungs- und Infrastrukturen (inkl. TGA) werden basierend auf den Ergebnissen (AP-1 und AP-2) mit dem Ziel der Bereitstellung der identifizierten Anforderungen an Flexibilität, Wandlungsfähigkeit und Nachhaltigkeit entwickelt. Besonders berücksichtigt werden soll die Energieeffizienz des Gebäudes. Ziel ist die Erstellung eines Gebäudestrukturbaustens. Inhalt des Baustens ist die systematische Abbildung von szenariobedingten Typologien und Strukturen und entsprechenden Bauteilen, Komponenten und spezifischen Lösungen. Zusätzlich bietet sich zur Erhöhung der Anschaulichkeit die Darstellung von umgesetzten Best-Practice-Beispielen an.

- AP-3.1: Entwicklung, Abbildung innovativer Strukturen und Konzepte, Best-Practice, integrierte Betrachtung
- AP-3.2: Aufzeigen und Abbilden von Potenzialen für innovative Bauteile, Komponenten, spezifische Lösungen

### **AP-4: Untersuchung von verfahrenstechnischen Maßnahmen**

Zur Umsetzung der aus dem Betrachtungswinkel des Szenariomanagements erforderlichen Strukturen werden neue Bau- u. Fertigungstechnologien abgeleitet und verfahrenstechnische Maßnahmen untersucht (z.B. standardisierte Bauverfahren, Einsatz vorgefertigter Bauelemente, TGA). Zur ganzheitlichen Berücksichtigung innovativer Technologien, Baustoffe u. Verfahren werden Experten einbezogen.

- AP-4.1: Einsatz industrialisierter Fertigungstechnologien
- AP-4.2: Entwickeln/Bewerten nachhaltiger Konstruktionen
- AP-4.3: Spezifische konstruktive Lösungen (Dienstleistung)
- AP-4.4: Bewertung u. Optimierung aus Sicht der Fabrikplanung

### **AP-5: Entwicklung einer Planungssystematik (Soll-Konzept)**

Unter Einbeziehung des Industriearbeitskreises, der Industriepartner und weiterer Fachkollegiaten wird eine Planungssystematik zur Umsetzung zukunftsorientierter Industriegebäude entwickelt. Dies erfolgt unter Berücksichtigung von innovativen digitalen Werkzeugen und Methoden der Planung. Ziel ist die umfassende Strukturierung und Optimierung des Planungsprozesses zur Verbesserung der Faktoren Zeit, Kosten, Bau- und Betriebsqualität sowie Ressourcennutzung, zur Erhöhung von Transparenz und Wirtschaftlichkeit sowie der Verringerung des Risikos über den gesamten Planungsprozess. Hierdurch soll eine integrative, schnelle und nachhaltige Planung sichergestellt werden. Die Planungssystematik muss erforderliche Prozessschritte und -beteiligte sowie das von diesen benötigte Qualifikationsprofil ausweisen und mit Hilfe geeigneter Informationswerkzeuge/-träger einen zielgerichteten Informationsfluss und Wissenstransfer ermöglichen (Wissensmanagement).

- AP-5.1: Entwicklung Planungssystematik, integrierte Betrachtung Standort und Struktur, Konstruktion und Ausbau, Fabrik und Anlagen sowie Produktionsanlauf und Betrieb

### **AP-6: Validierung in der Praxis**

Die Validierung der in AP-5 entwickelten Planungssystematik erfolgt anhand von neuen bzw. laufenden Projekten beteiligter Partner sowie über bereits abgeschlossene Referenzprojekte. Die Übertragbarkeit der Systematik auf Bauvorhaben im Ausland ist zu prüfen und Defizite sowie erforderliche Anpassungen für diese Anwendung sind aufzuzeigen.

- AP-6.1: Validierung Bereich strukturelle Planung
- AP-6.2: Validierung Bereich konstruktive Planung
- AP-6.3: Validierung Bereich Fabrikplanung

### **AP-7: Überführung in ein Gesamtkonzept (Leitfaden)**

Die in AP-6 identifizierten Schwachstellen der Planungssystematik werden behoben. Des Weiteren werden die Ergebnisse in ein Gesamtkonzept zur Übertragung in die Praxis integriert. Hierzu sind diese unter Zuhilfenahme geeigneter Methoden und Werkzeuge des Wissensmanagements in einen anwendungsorientierten Leitfaden zur Planung und Realisierung zukunftsfähiger Industriegebäude zu überführen. Kernelemente des Leitfadens sind eine Gesamtprozessablaufbeschreibung sowie detaillierte Teilprozessbeschreibungen (textuell, graphisch). Die Erstellung des Leitfadens erfolgt unter Zuhilfenahme moderner Prozessvisualisierungsmethoden und -werkzeuge. Das entsprechende Wissensmanagement kann internetbasiert realisiert werden.

- AP-7.1: Entwicklung Leitfaden, Prozessmodellierung und -visualisierung, integrierte Betrachtung der Bereiche Fabrik, Anlagen und Produktionsanlauf
- AP-7.2: Integrierte Betrachtung der Bereiche Standort und Struktur
- AP-7.3: Integrierte Betrachtung der Bereich Konstruktion und Ausbau

## **AP-8: Dokumentation und Veröffentlichung der Ergebnisse**

Die Dokumentation der Forschungsergebnisse erfolgt projektbegleitend. Bereits während der 1. Projektphase ist die Bildung eines Fachkollegiaten-/Expertenkreises aus dem Industriearbeitskreis sowie weiteren Interessenten geplant. Im 2. Projektjahr ist die Initiierung eines Fachkolloquiums „Industriebau“ vorgesehen. Beide Foren gelten der Validierung wie auch der Veröffentlichung der Ergebnisse. Während der gesamten Bearbeitung werden (Teil-) Projektergebnisse in Fachzeitschriften und auf Fachtagungen veröffentlicht, um einen Wissenstransfer in die Industrie sicherzustellen.

## **A6 Gliederung**

Der Abschlussbericht zum Forschungsprojekt „Ganzheitliche Integration und Optimierung des Planungs- und Realisierungsprozesses für zukunftsweisende und nachhaltige Industriegebäude“ gliedert sich in insgesamt fünf Teile:

**Teil A: Einleitung**

**Teil B: Szenariotechnik im Industriebau**

**Teil C: Lebenszyklusbetrachtung im Industriebau**

**Teil D: Planungssystematik**

**Teil E: Strukturen zukunftsfähiger Industriebauten**

**Nach der Einleitung A** wird in **Teil B „Szenariotechnik im Industriebau“** die Basis des Forschungsprojekts gelegt. Hier lag der Fokus auf der Zukunft des Industriebaus, für dessen wissenschaftliche Analyse, Abbildung und Dokumentation die Szenariotechnik als Werkzeug herangezogen wurde. Hierfür wird die Bedeutung der Szenariotechnik für das Forschungsprojekt, das methodische Vorgehen zur Entwicklung der Szenarien sowie die daraus abgeleiteten Anforderungen für den Industriebau beschrieben. Anschließend wurden aus den Zukunftsszenarien für den Industriebau Anforderungen an zukunftsfähige Industriegebäude und Planungsprozesse abgeleitet.

**Im dritten Teil C „Lebenszyklusbetrachtung im Industriebau“** wird der Lebenszyklus von Maschinen und Anlagen, die für den Produktionsprozess im Industriebau verwendet werden, sowie der Lebenszyklus des Gebäudes betrachtet. Nach einer Grundlagenbetrachtung und Abgrenzung der Begriffe werden verschiedene Lebenszyklusmodelle und ihre Merkmale skizziert. Im Anschluss werden im Teilkapitel „Lebenszyklus Maschinen und Anlagen“ die Lebenszykluskosten betrachtet und Möglichkeiten zur Reduzierung der einzelnen Kostenelemente aufgezeigt. Im zweiten Teilkapitel „Lebenszyklus Gebäude“ wird auf die einzelnen Lebensphasen eines Industriebaus eingegangen. Zudem wird die Bedeutung des Lebenszyklus für den Planungsprozess thematisiert. Wie auch im Teilkapitel „Lebenszyklus Maschinen und Anlagen“ liegt ein Schwerpunkt in der Lebenszykluskostenbetrachtung.

**Im vierten Teil D „Planungssystematik“** wird aufbauend auf die in Teil B vorgestellten Szenarien eine Planungssystematik für Planungs- und Erstellungsprozesse zukünftiger Industriebauten vorgestellt. Bei der Entwicklung der Planungssystematik wurden Experten aus verschiedenen Disziplinen mittels Interviews, Workshops und Umfragen einbezogen. Die Erkenntnisse zu den bestehenden Defiziten wurden durch umfangreiche Quellenrecherchen ergänzt. Ziel ist es, die Zukunftsfähigkeit von Industriegebäuden mit Hilfe eines ganzheitlichen, anwendungsorientierten und praxisnahen Planungsleitfadens zu verbessern. Ergänzend werden dem Anwender 30 Methoden, Hilfsmittel und Werkzeuge zur Verfügung gestellt, die bei der Planung und Erstellung eines Industriegebäudes unterstützen. Desweiteren ermöglicht die entwickelte Planungssystematik eine bessere Koordination der am Planungs- und Erstellungsprozess beteiligten Disziplinen.

**Im fünften Teil E „Strukturen zukunftsfähiger Industriegebäude“** ist es das Ziel, in einem Strategienkatalog mittels eines entwickelten Analyseverfahrens gebäudestrukturelle Aspekte, welche hinsichtlich der Zukunftsfähigkeit von Industriegebäuden relevant sind, abzubilden und praxisnahe und anwendbare Umsetzungsstrategien auszuweisen. Es wird dargestellt, wie sich der Strategienkatalog aus den Ergebnissen der aufeinanderfolgenden Forschungsschritte ableitet. Diese Ableitung erfolgt von der szenariospezifischen Identifizierung von Kernanforderungen, über die Definition von Systemebenen des Industriebaus bis zur systematischen Abbildung von Strategien in Form von Strukturen und entsprechenden Bauteilen, Komponenten und spezifischen Umsetzungsmöglichkeiten aus der Praxis. Um dieses Analyseverfahren methodisch durchzuführen, wurde ein Untersuchungsfeld aus dem Anforderungskatalog für einen zukunftsfähigen Industriebau und den Systemebenen des Industriebaus aufgespannt.

## A7 Verzeichnisse

### Abbildungsverzeichnis

Abb. A1: Ziele des Forschungsprojekts 8

### Tabellenverzeichnis

Tab. A1: Überblick der Industriekreistreffen und Workshops 11

# Teil B

## Szenariotechnik im Industriebau

TU BRAUNSCHWEIG | IFU - INSTITUT FÜR FABRIKBETRIEBSLEHRE UND UNTERNEHMENSFORSCHUNG  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Dombrowski

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Mustafa Celik

Schlussbericht im Rahmen des Forschungsvorhabens „Planungsleitfaden Zukunft Industriebau“ -  
gefördert mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau | Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung

**TU BRAUNSCHWEIG | IFU - INSTITUT FÜR FABRIKBETRIEBSLEHRE UND UNTERNEHMENSFORSCHUNG**  
**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Dombrowski**

Langer Kamp 19  
38106 Braunschweig  
[www.ifu.tu-bs.de](http://www.ifu.tu-bs.de)

Im Rahmen des Abschlussberichtes „Planungsleitfaden Zukunft Industriebau“, Aktenzeichen: Z 6 - 10.08.18.7-08.2 / II 2 – F20-07-69, sind verwendete Abbildungen, Diagramme, Tabellen und Fotos als großes Bildzitat nach § 51 UrhG unter korrekter Quellenangabe zulässig. Eine gewinnbringende Veröffentlichung/Publikation ist aus urheberrechtlichen Gründen nicht zulässig.

# Inhalt

## B - Szenariotechnik im Industriebau

B1	Bedeutung von Szenarien	6
B2	Szenarioentwicklung	7
2.1	Methodisches Vorgehen	7
2.2	Szenarioentwicklung für den zukünftigen Industriebau	9
B3	Szenarien für den Industriebau	18
3.1	Szenario 1	18
3.2	Szenario 2	19
3.3	Szenario 3	20
B4	Anforderungen	21
4.1	Szenario 1	21
4.2	Szenario 2	23
4.3	Szenario 3	25
B5	Themenclusterung	27
B6	Verzeichnisse	29

# B Szenariotechnik im Industriebau

## **B Szenariotechnik im Industriebau**

### **B1 Bedeutung von Szenarien**

Wie der Kurztitel „Planungsleitfaden Zukunft Industriebau“ andeutet, steht die Zukunftsorientierung bei der Planung und Realisierung von Industriebauten im Mittelpunkt des Forschungsvorhabens. Es ist das Ziel, eine Methodik zur Abbildung von zukünftigen Rahmenbedingungen zu entwickeln und das Vorgehen dazu zu dokumentieren. In diesem Kapitel wird mit Hilfe der Szenariotechnik die Basis für die Zukunftsorientierung der späteren Abschnitte gelegt. Die Szenariotechnik – wobei im Folgenden die Begriffe Szenariotechnik und Szenariomanagement synonym verwendet werden – bietet eine ideale Methode, zukünftige Entwicklungen analytisch zu projizieren und bereits während der Planung zu berücksichtigen.

Unter einem Szenario wird eine allgemeinverständliche Beschreibung einer möglichen Situation in der Zukunft verstanden, die auf einem komplexen Netz von Einflussfaktoren beruht sowie die Darstellung einer Entwicklung, die aus der Gegenwart zu dieser Situation führen kann. [Gaus 96] Explizit zu betonen ist hier das Wort „kann“. Die Szenariotechnik trifft keine absolute Aussage über eine zukünftige Situation, sondern vermittelt vielmehr ein Gesamtbild. Ein Szenario stellt dabei eine von mehreren möglichen Entwicklungen dar. In diesem Zusammenhang wird auch von der „Multiplen Zukunft“ gesprochen. Keines dieser möglichen Zukunftsbilder kann als richtig oder falsch bezeichnet werden. Der Entscheidungsprozess kann jedoch allein durch das Bewusstsein, dass eines dieser Szenarien eintreten könnte, maßgeblich beeinflusst und unterstützt werden. [Gaus 96]

Unter Berücksichtigung dieser Grundlagen können die zukünftigen Auswirkungen von Entscheidungen bereits zum Zeitpunkt der Entscheidung berücksichtigt werden. Das Szenariomanagement ist eine Methode, die systematisch Zukunftsbilder entwickelt. [Gaus 96] Das Szenariomanagement ist besonders für Projekte geeignet, die unsichere zukünftige Situationen jeglicher Art thematisieren und eignet sich somit auch zur Abbildung zukünftiger Zustände und Rahmenbedingungen im Industriebau. Besonderen Nutzen bietet die Szenariotechnik in folgenden Fällen [Bull 03]:

- In schwierigen und komplexen Situationen wird das interaktive Denken gefördert.
- Strategische und operative Entscheidungen werden unterstützt.
- Die Zusammenarbeit und Kommunikation in Projektteams wird gefördert.

Speziell letzterer Punkt stellt einen großen Mehrwert dar, da die Effizienz von Projektteams oftmals durch Kommunikationsbarrieren blockiert wird. Diesen Barrieren kann durch die gemeinsame Erstellung von unterschiedlich gearteten Szenarien mit einer situationsgerechten und adäquaten Kommunikation entgegengewirkt werden. Insgesamt entsteht im Projekt durch die Szenariotechnik eine gemeinsame Sichtweise auf die multiple Zukunft (vgl. Abbildung 1) wobei einzelne, bis dato möglicherweise abgewiesene oder vernachlässigte Argumente in den Entscheidungsprozess zurückgeholt werden. Auch durch die Rückmeldung der Industriepartner lässt sich bestätigen, dass die Szenariotechnik sehr gut für den Entwurf komplexer Zukunftsbilder geeignet ist. Besonders die im Rahmen der Industriekreistreffen und Workshops detailliert diskutierten Problemstellungen und unterschiedlichen Meinungen lassen sich mit diesem Werkzeug auf eine sachliche Ebene zurückführen und bieten anschließend die Möglichkeit zur weiteren Bearbeitung. Aufgrund der fehlenden Planungssicherheit erwarten Entscheidungsträger oftmals exakte Zukunftsbilder und wenn dies nicht realisierbar ist, zumindest eine erkennbare Eintrittswahrscheinlichkeit. Beides kann das Szenariomanagement nicht leisten.

Letztlich ist es der Ausführende, der dies operativ entscheiden und verantworten muss. [Gaus 96]

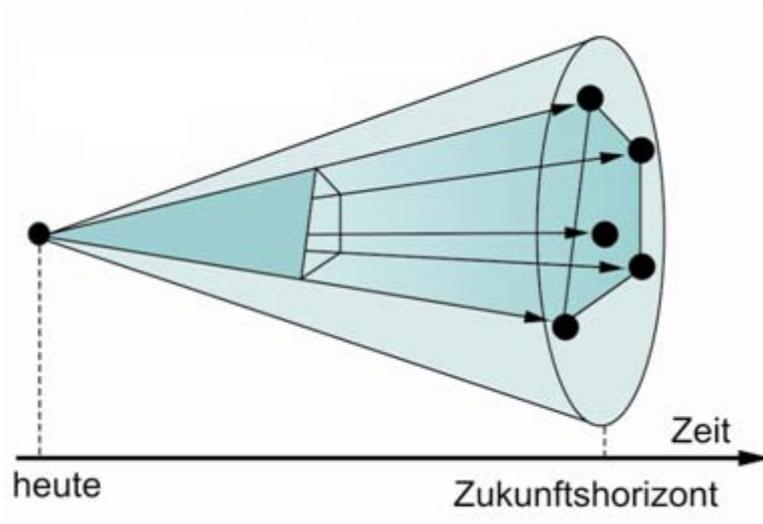


Abb. B1: Multiple Zukunft [Gaus 96]

Damit ein finaler Erfolg und Mehrwert aus den Forschungsergebnissen zu verzeichnen ist, bedarf es eines Szenario- und Projektteams, das sich nicht durch Homogenität, sondern Heterogenität auszeichnet. [Bull 03] Erst wenn Projektbeteiligte aus unterschiedlichen Abteilungen, Forschungsgebieten und Branchen interaktiv und interdisziplinär zusammenarbeiten und somit verschiedene Sichtweisen auf die jeweilige Thematik sicherstellen ist garantiert, dass eine erfolgversprechende Basis für das Szenariomanagement gelegt ist.

Die Vielzahl der Meinungen und unterschiedlichen Sichtweisen steigert die Akzeptanz der Projektergebnisse und stellt eine breite Basis zur Verfügung, auf der aufgebaut werden kann. Einhergehend mit oben erwähnter positiver Rückmeldung der Projektpartner lässt sich abschließend festhalten, dass der Nutzen des Szenariomanagements, gerade bei einem solch interdisziplinär aufgestellten Projektteam, eine ideale Methode zur Erreichung der Projektziele darstellt und die Grundlage für weiterführende und detaillierte Betrachtung der Themengebiete Baustrukturen und Planungsprozess bildet.

## B2 Szenarioentwicklung

### 2.1 Methodisches Vorgehen

In Zusammenarbeit mit Experten des Heinz-Nixdorf-Instituts (HNI) wurde zur Entwicklung der Szenarien ein methodisches Vorgehen angewandt. In dieser fünfstufigen Methodik (vgl. Abbildung 2) erfolgt während der ersten Stufe eine Szenario-Vorbereitung, in der das Gestaltungsfeld und das umgebende Szenariofeld definiert werden. Das Szenariofeld beschreibt „das, was durch die erstellten Szenarien erklärt werden soll.“ [Gaus 96] Zudem werden eine Gestaltungsfeldanalyse und eine Beschreibung seiner gegenwärtigen Situation durchgeführt. Die beiden Kernaufgaben während der Szenario-Vorbereitung sind die Projektbeschreibung sowie die Gestaltungsfeld-Analyse.

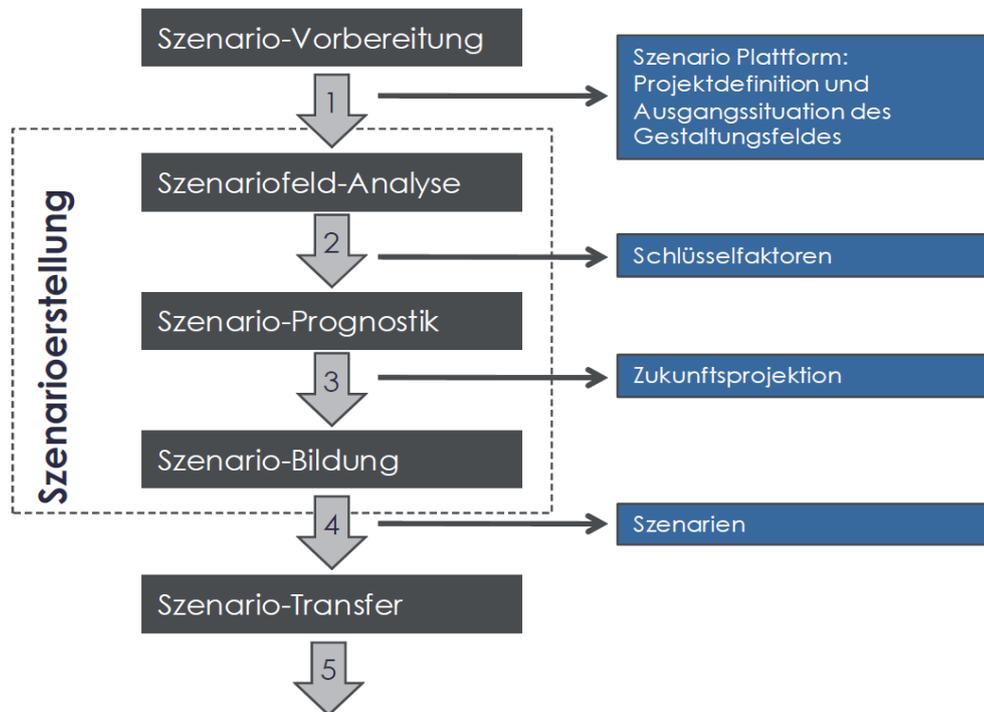


Abb. B2: Phasenmodell des Szenariomanagements nach Gausemeier [Gaus 96]

Während der Szenariofeld-Analyse wird das Ziel verfolgt Schlüsselfaktoren zu identifizieren und zu dokumentieren. Das Szenariofeld wird hierzu in Einflussbereiche unterteilt, innerhalb derer Einflussfaktoren ermittelt werden. Die wesentlichen bzw. relevanten Einflussfaktoren werden schließlich als Schlüsselfaktoren in einem Katalog zusammengeführt. Die Szenariofeld-Analyse besteht somit aus den drei Kernaufgaben:

1. Bildung von Einflussbereichen, indem man das Szenariofeld in Teilsysteme gliedert,
2. Identifikation von Einflussfaktoren sowie
3. Ermittlung von Schlüsselfaktoren.

Im Rahmen der dritten Stufe (Szenario-Prognostik) werden Zukunftsprojektionen entworfen. Sie kann als Kernphase des Szenariomanagements angesehen werden, denn hier werden Schlüsselfaktoren, die in ihrer gegenwärtigen Lage beschrieben werden, aufbereitet sowie für jeden einzelnen Schlüsselfaktor Projektionen entworfen und in einem Projektionskatalog aufgeführt. So wird in dieser dritten Stufe ein erster Blick in die Zukunft ermöglicht. Darauf aufbauend werden die Zukunftsprojektionen in Stufe vier zu Projektionsbündeln zusammengefasst und schließlich, unter Verwendung der Werkzeuge Konsistenz- und Clusteranalyse zu Szenarien verdichtet. Den Abschluss der vierten Stufe stellt die bildhafte Beschreibung und Interpretation der Rohszenarien dar, so dass schlussendlich in sich homogene Zukunftsbilder vorliegen. Die Ermittlung der Szenarienauswirkung auf das Gestaltungsfeld erfolgt während des Szenariotransfers, mit dem Ziel Innovationspotenziale aus den Szenarien abzuleiten.

## 2.2 Szenarioentwicklung für den zukünftigen Industriebau

Als Basis für das Forschungsvorhaben sollen drei Szenarien für den zukünftigen Industriebau entwickelt werden. Die Entwicklung der Szenarien erfolgt in mehreren Workshops, in einem Team aus Wissenschaftlern und Industrievertretern. Nachdem sich das Projektteam im Rahmen der Szenario-Vorbereitung ein gemeinsames Bild über die Ausgangssituation im Industriebau gemacht hat, wird mit der Szenariofeld-Analyse begonnen.

Hierfür wurden mit Hilfe von Cognitive Mapping Wirkungsgefüge, vernetzte Bilder und System-Skizzen erstellt, die bildhafte Skizzen der Betrachtungsbereiche abbilden. In einem Brainstorming konnten folgende Einflussbereiche gebildet werden:

- Externe Einflussfaktoren
- Bauwerk und Produktion
- Produkt
- Image
- Kunde

Jedem dieser Einflussbereiche wurden verschiedene Einflussfaktoren zugeordnet. (vgl. Tabelle 1)

Externe Einflussfaktoren		
Politischer Einfluss - Produkt	Politischer Einfluss - Produktion	Politischer Einfluss - Bauwerk
Politischer Einfluss - Standorte	Demographischer Wandel	Arbeitskräfteverfügbarkeit - Produktion
Arbeitskräfteverfügbarkeit - Bauwerk	Bildung und Wissen	Wirtschaftsentwicklung
Bauwerk und Produktion		
Wettbewerb - Produktion	Wettbewerb - Bauwerk	Rohstoffpreis / -verfügbarkeit - Produkt / Produktion
Rohstoffpreis / -verfügbarkeit - Bauwerk	Energiepreis/ -verfügbarkeit	Klima
Lebensumfeldqualität	Erschließung	Raumverfügbarkeit - Baugrund
Technologischer Wandel - Produktion	Technologischer Wandel - Bauwerk	Bedeutung der Sozialfaktoren in der Produktion
Sozialstruktur	Flexibilität der Produktion	Stückzahl
Materialfluss	Raumbedarf - Produktion	Automatisierungsgrad der Produktion
Medienbedarf	Benötigte Raumqualität	Lebenszyklus der Produktionstechnik
Produkt		
Produkteigenschaften	Herstellungs- und Logistikkosten in der Produktion	Produktlebenszyklus
Geforderte Lieferzeit	Time to market	Produktionszyklus
Realisierbare Durchlaufzeit		

# Schlussbericht Planungsleitfaden Zukunft Industriebau

Forschung an der Technischen Universität Braunschweig

Image		
Bedeutung der Produktion für das Unternehmens- oder Produktimage	Bedeutung des Bauwerks für das Unternehmens- oder Produktimage	
Kunde		
Haushaltseinkommen	Fragmentierung der Kundenbedürfnisse	Umweltbewusstsein

Tab. B1: Katalog Einflussfaktoren

Durch eine sogenannte Cross-Impact-Matrix - beispielhaft in Tabelle 2 dargestellt - in der die gegenseitige Beeinflussung dieser Faktoren beurteilt wird, entstehen Aktiv- und Passivsummen. Der Einflussfaktor 1 wird beispielsweise mit Einflussfaktor 2 verglichen und bewertet. Hierbei stellt sich die Frage, wie stark Einflussfaktor 1 Einflussfaktor 2 beeinflusst. Wenn die Frage mit

- „gar nicht“ beantwortet wird, ist eine 0 einzutragen,
- „schwach“ beantwortet wird, ist eine 1 einzutragen,
- „mittelmäßig“ beantwortet wird, ist eine 2 einzutragen,
- „stark“ beantwortet wird, ist eine 3 einzutragen.

	Einflussfaktor 1	Einflussfaktor 2	Einflussfaktor 3	Einflussfaktor 4	Einflussfaktor 5	Einflussfaktor 6	Einflussfaktor 7	Einflussfaktor 8	Einflussfaktor n	Aktivsumme
Einflussfaktor 1	■	2	0	2	1	1	2	2	3	13
Einflussfaktor 2		■								
Einflussfaktor 3			■							
Einflussfaktor 4				■						
Einflussfaktor 5					■					
Einflussfaktor 6						■				
Einflussfaktor 7							■			
Einflussfaktor 8								■		
Einflussfaktor n									■	
Passivsumme										

Tab. B2: Beispiel Cross-Impact-Analyse

Durch Addition der Zeilen- und Spaltenwerte ergeben sich Aktiv- und Passivsummen. Die Aktivsumme eines Einflussfaktors beschreibt die Stärke, mit der der Einflussfaktor direkt auf die anderen Einflussfaktoren wirkt. In obigem Beispiel wäre die Stärke von Einflussfaktor 1 die Stärke 13. Die Passivsumme

wiederum ist das Maß dafür, wie stark der jeweilige Einflussfaktor von allen anderen Einflussfaktoren beeinflusst wird. [Gaus 96]

Zur Veranschaulichung der Ergebnisse werden sogenannte System-Grids erstellt. Neben den Ergebnissen der Einflussanalyse wird in den System-Grids die Relevanz der Einflussfaktoren berücksichtigt. Bei der Relevanzanalyse werden die Einflussfaktoren wie in der Einflussanalyse in einer Matrix dargestellt. Statt der gegenseitigen Beeinflussung wird hier jedoch die Wichtigkeit eines Faktors im paarweisen Vergleich zum anderen bewertet. Als Ergebnis der Relevanzanalyse wird für jeden Einflussfaktor die Relevanzsumme gebildet.

Im System-Grid werden die ermittelten Aktiv- und Passivsummen aus der Einflussanalyse für jeden Einflussfaktor eingetragen. Hierbei entsteht das Abbild der Beziehungen im Szenariofeld. Auf der Abszisse ist die Passivsumme und auf der Ordinate die Aktivsumme eingetragen. Die Relevanz des Einflussfaktors wird durch den Durchmesser des eingezeichneten Punktes abgebildet. In den folgenden Grafiken sind beispielhaft fünf Bewertungen in Form der System-Grids der Forschungspartner IIKE, IFU und IBK sowie der Mitarbeiter des HNI dargestellt.

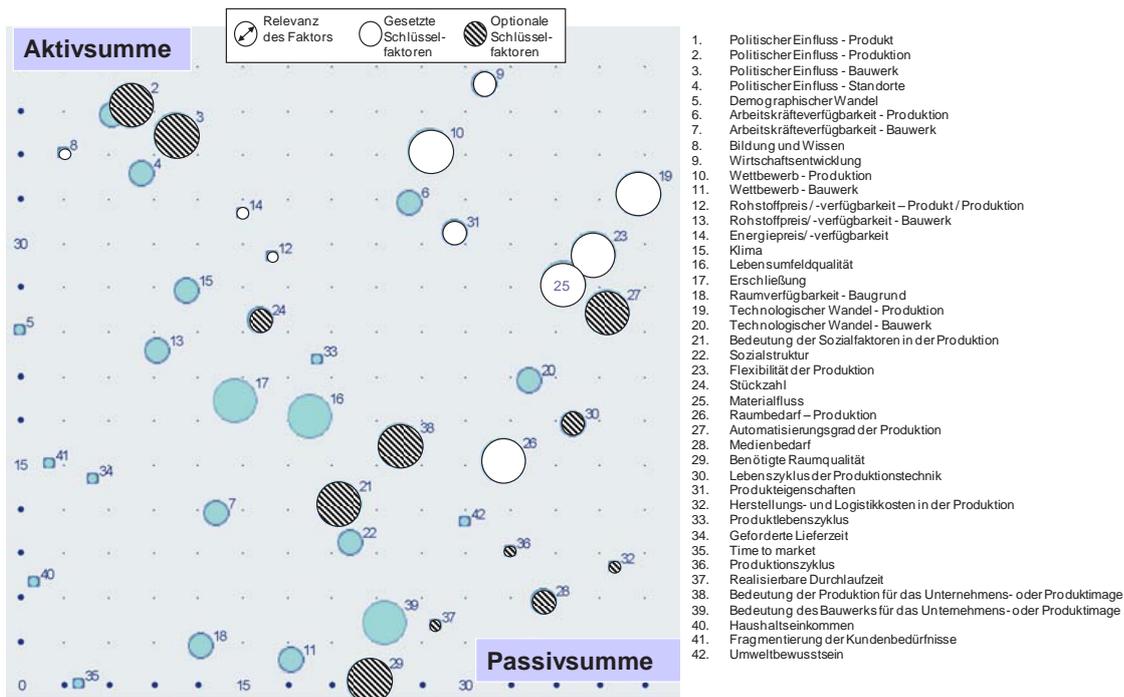


Abb. B3: System-Grid HNI

# Schlussbericht Planungsleitfaden Zukunft Industriebau

Forschung an der Technischen Universität Braunschweig

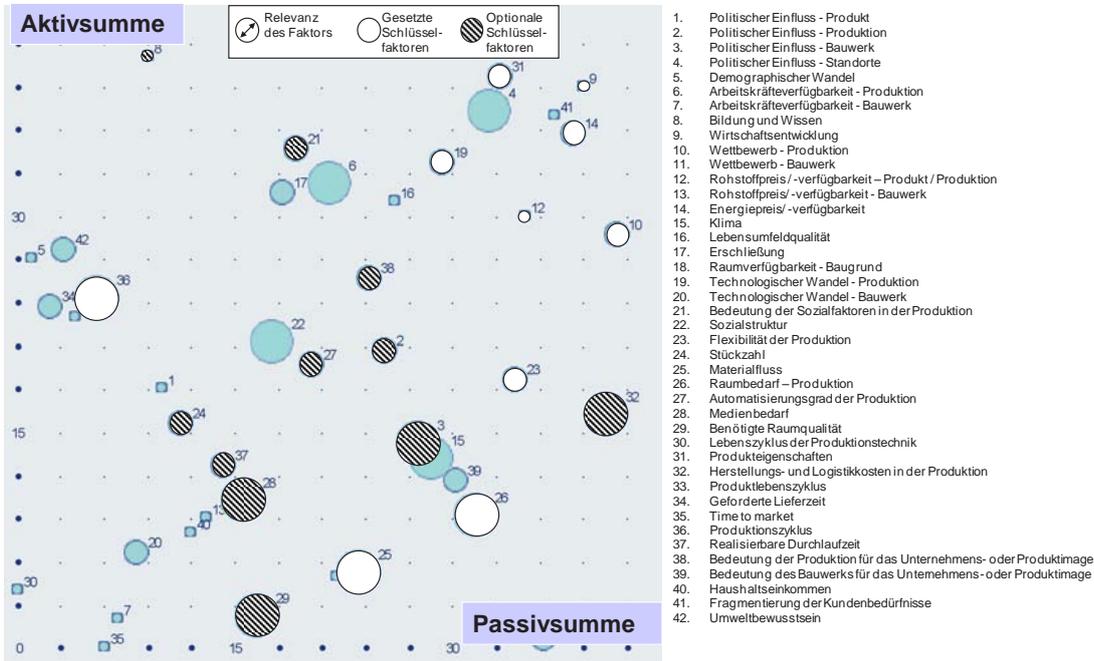


Abb. B4: 1. System-Grid IIKE

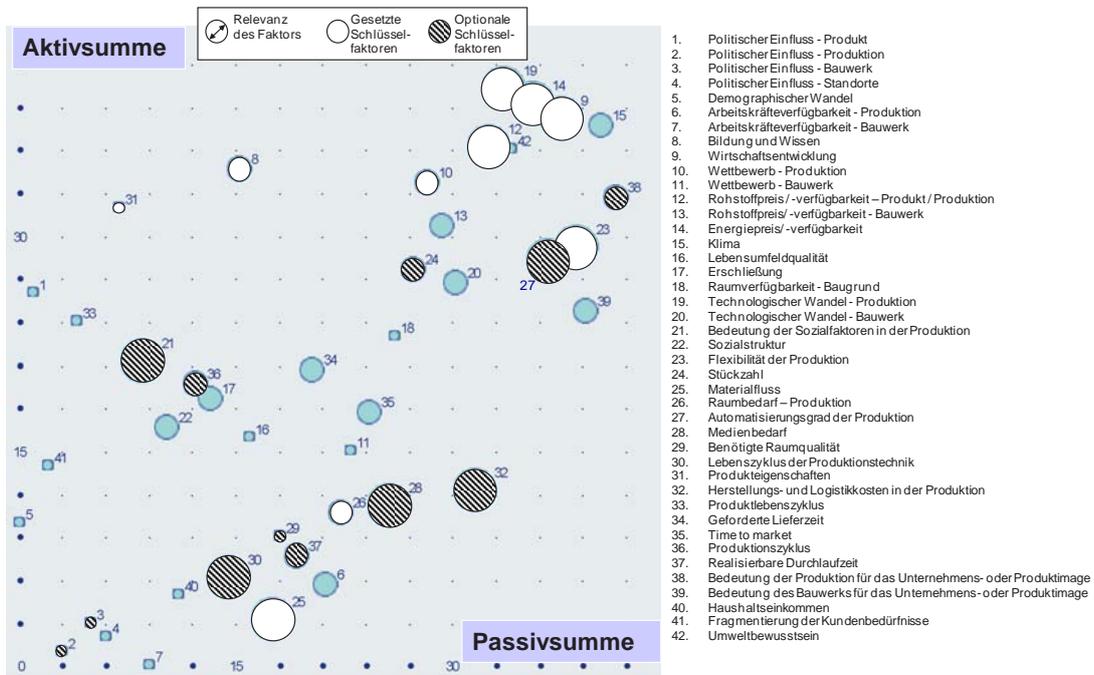
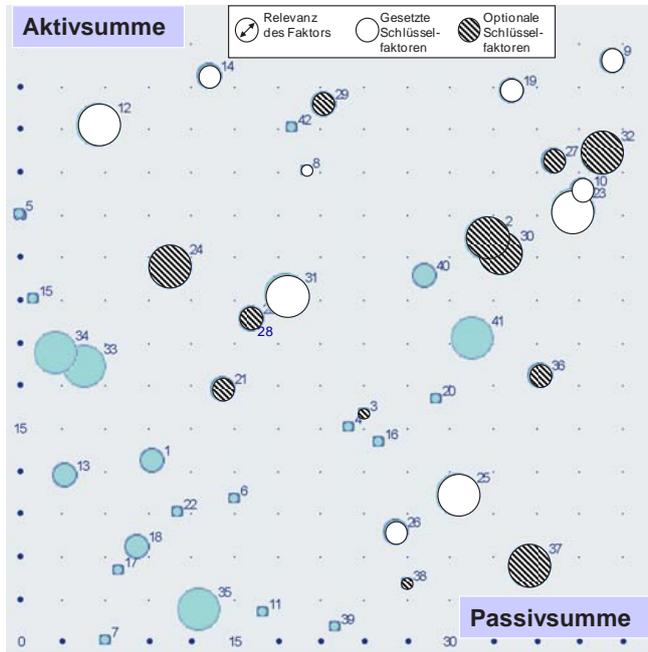
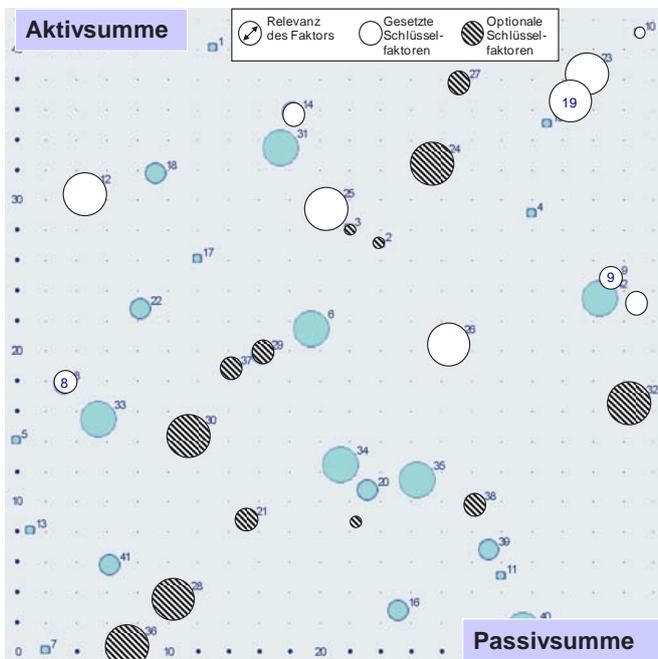


Abb. B5: 2. System-Grid IIKE



1. Politischer Einfluss - Produkt
2. Politischer Einfluss - Produktion
3. Politischer Einfluss - Bauwerk
4. Politischer Einfluss - Standorte
5. Demographischer Wandel
6. Arbeitskräfteverfügbarkeit - Produktion
7. Arbeitskräfteverfügbarkeit - Bauwerk
8. Bildung und Wissen
9. Wirtschaftsentwicklung
10. Wettbewerb - Produktion
11. Wettbewerb - Bauwerk
12. Rohstoffpreis/-verfügbarkeit – Produkt / Produktion
13. Rohstoffpreis/-verfügbarkeit - Bauwerk
14. Energiepreis/-verfügbarkeit
15. Klima
16. Lebensumfeldqualität
17. Erschließung
18. Raumverfügbarkeit - Baugrund
19. Technologischer Wandel - Produktion
20. Technologischer Wandel - Bauwerk
21. Bedeutung der Sozialfaktoren in der Produktion
22. Sozialstruktur
23. Flexibilität der Produktion
24. Stückzahl
25. Materialfluss
26. Raumbedarf – Produktion
27. Automatisierungsgrad der Produktion
28. Medienbedarf
29. Benötigte Raumqualität
30. Lebenszyklus der Produktionstechnik
31. Produkteigenschaften
32. Herstellungs- und Logistikkosten in der Produktion
33. Produktlebenszyklus
34. Geforderte Lieferzeit
35. Time to market
36. Produktionszyklus
37. Realisierbare Durchlaufzeit
38. Bedeutung der Produktion für das Unternehmens- oder Produktimage
39. Bedeutung des Bauwerks für das Unternehmens- oder Produktimage
40. Haushaltseinkommen
41. Fragmentierung der Kundenbedürfnisse
42. Umweltbewusstsein

Abb. B6: System-Grid IFU



1. Politischer Einfluss - Produkt
2. Politischer Einfluss - Produktion
3. Politischer Einfluss - Bauwerk
4. Politischer Einfluss - Standorte
5. Demographischer Wandel
6. Arbeitskräfteverfügbarkeit - Produktion
7. Arbeitskräfteverfügbarkeit - Bauwerk
8. Bildung und Wissen
9. Wirtschaftsentwicklung
10. Wettbewerb - Produktion
11. Wettbewerb - Bauwerk
12. Rohstoffpreis/-verfügbarkeit – Produkt / Produktion
13. Rohstoffpreis/-verfügbarkeit - Bauwerk
14. Energiepreis/-verfügbarkeit
15. Klima
16. Lebensumfeldqualität
17. Erschließung
18. Raumverfügbarkeit - Baugrund
19. Technologischer Wandel - Produktion
20. Technologischer Wandel - Bauwerk
21. Bedeutung der Sozialfaktoren in der Produktion
22. Sozialstruktur
23. Flexibilität der Produktion
24. Stückzahl
25. Materialfluss
26. Raumbedarf – Produktion
27. Automatisierungsgrad der Produktion
28. Medienbedarf
29. Benötigte Raumqualität
30. Lebenszyklus der Produktionstechnik
31. Produkteigenschaften
32. Herstellungs- und Logistikkosten in der Produktion
33. Produktlebenszyklus
34. Geforderte Lieferzeit
35. Time to market
36. Produktionszyklus
37. Realisierbare Durchlaufzeit
38. Bedeutung der Produktion für das Unternehmens- oder Produktimage
39. Bedeutung des Bauwerks für das Unternehmens- oder Produktimage
40. Haushaltseinkommen
41. Fragmentierung der Kundenbedürfnisse
42. Umweltbewusstsein

Abb. B7: System-Grid IBK

Anhand des System-Grids und der dafür erstellten Analysen werden die Schlüsselfaktoren für den zukünftigen Industriebau entwickelt. Auch wenn die Einflussfaktoren im Nachhinein auf wenige Schlüsselfaktoren begrenzt werden, ist die anfänglich hohe Anzahl an Einflussfaktoren erforderlich. Einflussfaktoren, die nicht als Schlüsselfaktoren ausgewählt werden, haben während der Einfluss- und Relevanzanalysen zu einer fundierten Betrachtung der Interdependenzen beigetragen.

In der Szenario-Prognostik werden die erkannten Schlüsselfaktoren zur Erstellung eines Projektionskatalogs aufbereitet. Hierfür werden die Schlüsselfaktoren genauer beschrieben und Merkmale zur Charakterisierung der Faktoren festgelegt. Anschließend erfolgt die Beschreibung des aktuellen Zustands jedes Faktors. Auf Basis des heutigen Ist-Zustands werden für jeden Schlüsselfaktor mindestens drei Projektionen gebildet.

Die Zukunftsprojektionen werden bei der Szenario-Bildung zu Projektionsbündeln zusammengefasst, aus denen Rohszenarien gebildet werden. Ein Projektionsbündel stellt eine Kombination der Zukunftsprojektionen dar, die für jeden Schlüsselfaktor je eine Projektion enthält. Ähnliche Projektionsbündel werden zu konsistenten Rohszenarien zusammengefasst. Hierbei kann eine Clusteranalyse angewendet werden, deren Ziel es ist, in sich möglichst homogene Szenarien zu bilden, die zueinander möglichst heterogen sind. Im Folgenden wird der Katalog der Schlüsselfaktoren mit ihren jeweiligen Projektionen und der Zuordnung der Projektionen zu den Rohszenarien dargestellt. Die Werte in der Spalte der Rohszenarien geben an, zu welchem Anteil das Rohszenario in der jeweiligen Projektion enthalten ist.

Schlüsselfaktor		Projektion	SZ1	SZ2	SZ3
Bildung und Wissen	1A	Weitsichtige Bildungspolitik	68	0	0
	1B	Bildungsschere	31	100	0
	1C	Bildungswüste	0	0	100
Wirtschaftsentwicklung	2A	Prosperierendes Europa	82	0	0
	2B	Opfer der Globalisierung	0	0	39
	2C	Starke regionale Unterschiede	17	100	0
	2D	Gefangen im globalen Abwärtsstrudel	0	0	60
Energiepreis / -verfügbarkeit	3A	Geringe Verfügbarkeit zu hohen Kosten	0	0	100
	3B	Verfügbarkeit zu hohen Kosten	17	100	0
	3C	Innovationen sichern die Versorgung	82	0	0
Wettbewerb - Produktion	4A	Europäische Kooperation	0	0	60
	4B	Intensiver internationaler Wettbewerb	0	0	39
	4C	Intensiver europäischer Wettbewerb	43	52	0
	4D	Globale Kooperation	56	47	0
Rohstoffpreis/ -verfügbarkeit - Produkt/ Produktion	5A	Innovationen sichern die Versorgung	76	0	0
	5B	Recycling sichert eine stabile Versorgung bei hohen Preisen	23	100	0
	5C	Recycling ist die einzige Möglichkeit	0	0	100
Flexibilität der Produktion	6A	Flexibilität als Notwendigkeit	15	100	0
	6B	Flexibilität als Chance	84	0	0
	6C	Statische Produktion	0	0	100
Berücksichtigung des Materialflusses	7A	Integration des Materialflusses in die Planung	94	0	0
	7B	Vernachlässigung des Materialflusses bei der Planung	0	0	100
	7C	Starre Gebäudestruktur	5	100	0
Logistikkonzepte der Produktion	8A	Flexibilität	88	0	0
	8B	Lagerhaltung auf der Straße	11	100	0
	8C	Vernachlässigung von Logistikkonzepten	0	0	100
Technologischer Wandel - Produktion	9A	High-Tech-Verfahren lösen etablierte Fertigungstechnologie ab	90	0	0
	9B	Es bleibt bei Prozess-Inventionen	9	100	0
	9C	Bewährtes wird optimiert	0	0	100
Raumbedarf - Produktion	10A	Keine bedarfsgerechte Dimensionierung	0	0	100
	10B	Planung trifft die Anforderungen	5	95	0
	10C	Multifunktionalität der Industriebauten	94	4	0

# Schlussbericht Planungsleitfaden Zukunft Industriebau

Forschung an der Technischen Universität Braunschweig

Berücksichtigung der Medienführung in der Planung	11A	Keine Anpassungsfähigkeit	0	0	82
	11B	Anpassungsfähigkeit durch freie Flächen	11	100	17
	11C	Vollständige Flexibilität	88	0	0
Raumqualität	12A	Erstinvestitionen dominieren	0	0	75
	12B	Geschlossenes System	7	85	25
	12C	Raumqualität spielt eine große Rolle	92	14	0
Bedeutung des Wissenskaptals - Produktion & Bauwerk	13A	Wissenskapital als fünfter Produktionsfaktor	88	9	0
	13B	Automatisierung	0	0	100
	13C	Taylorismus	11	90	0
Rohstoffpreis/ -verfügbarkeit - Bauwerk	14A	Lokale Verfügbarkeit von Rohstoffen zu erhöhten Preisen	92	19	0
	14B	Steigender Wettbewerb um Rohstoffe zu hohen Preisen	0	0	75
	14C	Lebenszyklusbetrachtung	7	80	25
Technologischer Wandel - Bauwerk	15A	Regel Forschungstransfer	86	0	0
	15B	Technologische Individualisierung	7	42	14
	15C	Standardisierung	5	57	7
	15D	Stillstand	0	0	78
Geforderte Lieferzeit - Bauwerk	16A	Kontinuierliche Halbierung der Erstellungszeit	0	78	0
	16B	Investitionskosten dominieren	7	21	71
	16C	Lieferzeit steht nicht mehr im Fokus	92	0	28
Nachhaltigkeit	17A	Nachhaltigkeit setzt sich durch	92	9	0
	17B	Lippenbekenntnisse	7	90	10
	17C	Nachhaltigkeit nahezu bedeutungslos	0	0	89
Bedeutung der Erstellungskosten - Bauwerk	18A	Total cost of ownership	86	28	0
	18B	Zeit ist Geld	13	71	25
	18C	Konkurrenzdruck	0	0	75
Bedeutung des Bauwerks für das Unternehmens- oder Produktimage	19A	Image, Image, Image	90	47	0
	19B	Produktivität vor Image	0	0	46
	19C	Synthese von Image und Produktivität	9	52	53

Tab. B3: Schlüsselfaktoren und Projektionen für die Rohszenarien

Die Projektionsbündel konnten zu folgenden Szenarien zusammengefasst werden:

- Szenario 1 „Innovative Unternehmen nutzen ihre Chance in einem prosperierenden Europa.“
- Szenario 2 „Zeitdruck und Innovationskraft dominieren das Geschehen im Industriebau.“
- Szenario 3 „Minimale Handlungsspielräume für den europäischen Industriebau in einer am Boden liegenden Weltwirtschaft.“

Abbildung 8 zeigt die Zusammenstellung der drei Projektionsbündel für die Rohszenarien.

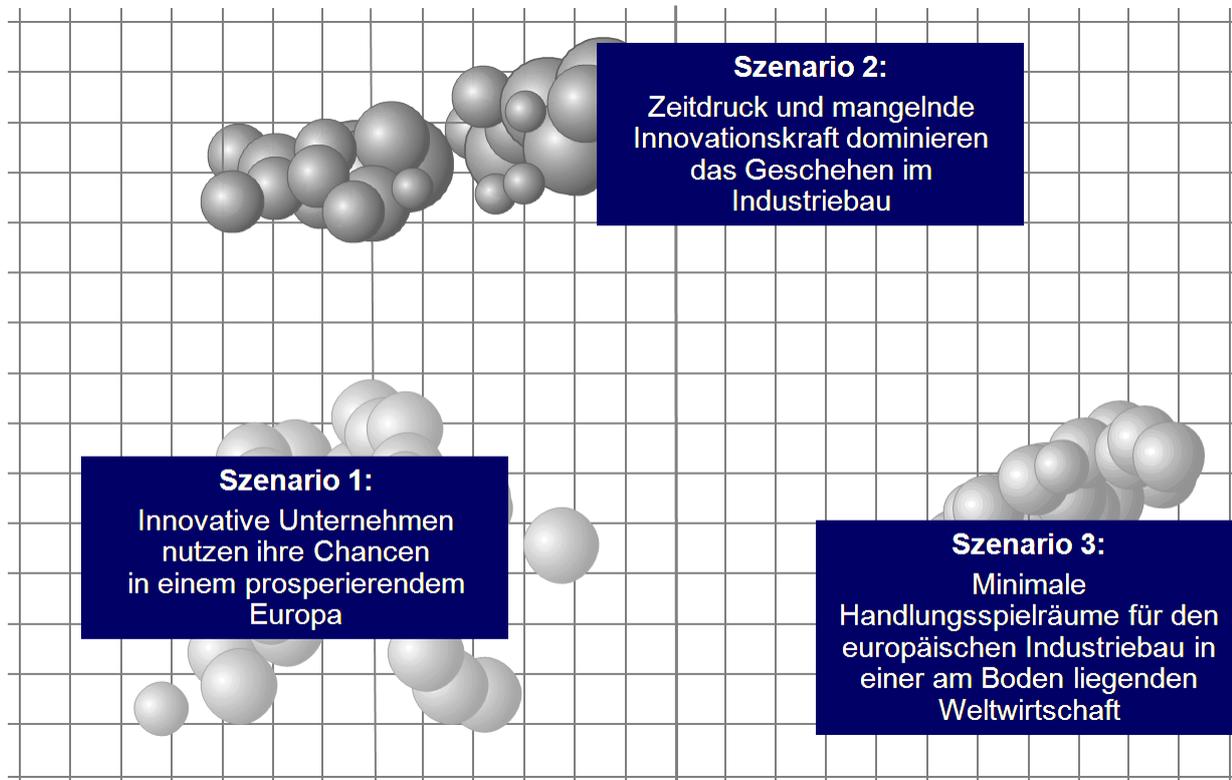


Abb. B8: Mapping der Projektionsbündel für die Rohszenarien

Hierbei beschreibt eine Kugel ein Projektionsbündel, das von jedem Schlüsselfaktor genau eine Projektion enthält. Je größer der Durchmesser der Kugel, desto stärker wurde die Teilprojektion des Schlüsselfaktors von dem jeweiligen Szenario erfüllt.

Auf Basis der vorher durchgeführten Schritte ist im Anschluss an das Mapping die Formulierung der Szenarien durchzuführen. Da ein Szenario ein „Schnappschuss der Zukunft“ [Gaus 96] darstellt, sind die Szenarien in Prosa so zu formulieren, dass die Anwender sich in die zukünftige Situation hineinversetzen können. Die Anwender sollten in der Lage sein, die Zusammenhänge der einzelnen Beschreibungen und Einflussfaktoren nachzuvollziehen.

## **B3 Szenarien für den Industriebau**

Wie in Abbildung 8 illustriert, ließen sich für zukunftsfähige Industriegebäude drei Rohszenarien bilden. Szenario 1 kann als positives Trendszenario, Szenario 2 als Standardszenario und Szenario 3 als negatives Trendszenario bezeichnet werden. Auf die genauen Inhalte und Abgrenzungen zwischen den Szenarien wird im Folgenden eingegangen.

### **3.1 Szenario 1**

Die Inhalte des möglichen Szenarios 1 mit dem Titel „Innovative Unternehmen nutzen ihre Chance in einem prosperierenden Europa“ werden, wie auch Szenario 2 und 3 bezüglich der Themengebiete externe Faktoren, Produktion, Schnittstelle Produktion-Bauwerk, des Bauwerks an sich sowie Image analysiert und detailliert. Diese Themengebiete basieren auf den ermittelten Einflussbereichen, wurden jedoch nach der Festlegung der Schlüsselfaktoren neu geclustert. Die externen Faktoren im Szenario 1 beinhalten hohe Investitionen in die Bildung, ein stetiges Wirtschaftswachstum und eine homogene Wirtschaftsentwicklung Europas als eine der führenden Wirtschaftsregionen. Weiterhin sind innovative Energiekonzepte der Schlüssel zum Erfolg, denn sie sichern die Versorgung mit primären und sekundären Energieträgern sowie Rohstoffen für das Produkt und die Produktion zu relativ stabilen Preisen. In der Produktion besteht ein forciertes europäisches Wettbewerbsverhältnis, Produzenten sichern sich Vorteile durch globale Kooperation sowie Flexibilität der Produktion, des Materialflusses und der Logistikkonzepte.

In der Schnittstelle Produktion-Bauwerk ermöglichen flexiblere Gebäudekonzeptionen eine Anpassung des Raumbedarfs zu jeder Zeit. Eine flexible Medienführung und die Raumqualität spielen zusätzlich eine wichtige Rolle und werden bei der Planung explizit berücksichtigt. Des Weiteren lösen in diesem Szenario High-Tech-Verfahren etablierte Fertigungsverfahren ab und Unternehmen betrachten Wissen als vierten Produktionsfaktor. Darüber hinaus spielen Mitarbeiter eine wesentliche Rolle für die Unternehmen, so dass auch der soziale Aspekt der Nachhaltigkeit an Bedeutung gewinnt.

Für das Bauwerk ist mit einem moderaten Preisanstieg für Rohstoffe zu rechnen. Alle Baustoffe sind jedoch bei Bedarf verfügbar. Die Nachhaltigkeit ist im Industriebau von sehr großer Bedeutung. Standardisierte Bauweisen und trennbare Verbundbauweisen ermöglichen die Wiederverwendung von Industriebauten, Bauteilen und Baustoffen. Eine modulare Bauweise ermöglicht eine Reduzierung von Bauzeit und -kosten. Außerdem wird durch regen Forschungstransfer der technologische Wandel massiv vorangetrieben, wodurch innovative Bauverfahren im Industriebau verstärkt zum Einsatz kommen. Weiterhin ist in diesem Szenario eine verringerte Bedeutung der Erstellungskosten zu verzeichnen. Sie werden bei der Betrachtung der über den gesamten Lebenszyklus anfallenden Gesamtkosten, den sogenannten „total cost of ownership“, mitberücksichtigt und verlieren in der Gesamtbewertung an Gewicht. Verbesserte Planungsprozesse sichern letztlich die Erstellung langfristig wirtschaftlicher und anforderungsgerechter Gebäude. In Szenario 1 wird das Bauwerk als Mittel zur Imagebildung verstanden und eingesetzt. Imageaspekte werden dementsprechend schon früh in der Planung berücksichtigt.

### 3.2 Szenario 2

Das Szenario 2 „Zeitdruck und Innovationskraft dominieren das Geschehen im Industriebau“ stellt den Standard unter den drei Szenarien dar. Eine geringe strategische Ausrichtung der Bildungspolitik und starke regionale wirtschaftliche Unterschiede sind im externen Themenfeld Kennzeichen einer heterogenen Wirtschaftsentwicklung in Europa. Recycling sichert eine teure, jedoch stabile Energie- und Rohstoffversorgung. Primäre und sekundäre Energieträger sowie Rohstoffe für das Produkt und die Produktion sind - zu hohen Kosten - immer verfügbar.

Ähnlich wie in Szenario 1 sichern sich Produzenten Wettbewerbsvorteile durch globale Kooperationen, wobei der Markt ein flexibles Produktionsprogramm fordert. Die Gebäudestruktur ist extrem starr, so dass eine nachträgliche Anpassung des Materialflusses nicht möglich ist. Die Lagerhaltung wird auf die Straße verlegt. Im Themengebiet Schnittstelle Produktion und Bauwerk lassen sich folgende Aussagen formulieren:

- Mit geeigneten Methoden wird bereits bei der Planung aktueller und zukünftiger Raumbedarf dimensioniert, so dass die Gebäudekonzeptionen auf die langfristige Erfüllung des Bedarfs ausgerichtet sind. Die Starrheit der einzelnen Gebäudestrukturelemente (Tragwerk, Hülle etc.) verhindert jedoch nachträgliche Anpassungen an den Materialfluss.
- Die Flexibilität der Medienführung spielt eine große Rolle. Mangelnde Standardisierung und Planungstiefe verhindern jedoch eine Optimierung der Medienführung. Kunden behelfen sich damit toten Raum für zukünftige Entwicklungen bereit zu halten. Die Raumqualität spielt bei der Planung von Industriebauten keine Rolle: Maschinen werden in geschlossenen Systemen betrieben und stellen die benötigte Raumqualität selbst her.
- Neue Fertigungsverfahren werden nur punktuell eingesetzt. Es überwiegen Prozessinnovationen.
- Durch eine detaillierte Strukturierung der Produktionsprozesse wird der Kommunikationsbedarf in der Produktion begrenzt und verbale durch nonverbale Kommunikation ersetzt. Die Mitarbeiter werden als wichtiger Faktor wahrgenommen. Im Zweifelsfall werden jedoch soziale Aspekte aufgrund produktionstechnischer oder ökonomischer Motive vernachlässigt.

Das Themengebiet Bauwerk lässt sich durch folgende Inhalte charakterisieren:

- Durch eine Verknappung der Rohstoffe für das Bauwerk werden auch diese verstärkt über den Lebenszyklus betrachtet und wiederverwertet. Die Preise der Rohstoffe für das Bauwerk sind gestiegen.
- Die ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit hat in der öffentlichen Wahrnehmung stark an Bedeutung gewonnen. Lobbyismus führt jedoch zur einseitigen Verbreitung vermeintlich ökologischer Detaillösungen, die ganzheitlich betrachtet keinen Mehrwert bieten.
- Ein technologischer Wandel wird nur teilweise vollzogen.
- Zeit ist Geld: Es zählt einzig eine schnelle Projektabwicklung. Die Zeitvorgaben können nur durch eine Integration der Planungsphasen, allerdings bei gleichzeitiger Vernachlässigung von Anforderungen (Raumbedarf, Medienführung etc.), eingehalten werden.

- Aufgrund des hohen Wettbewerbsdrucks ist die Lieferzeit der dominierende Faktor im Bauprozess: Je eher ein Gebäude fertiggestellt wird, desto eher kann es in Betrieb genommen werden. Die Lieferzeit wird sich zukünftig kontinuierlich verringern.

Im Unterschied zum ersten Szenario ist festzustellen, dass Image und Produktionsaspekte bei der Planung gleichwertig betrachtet werden.

### 3.3 Szenario 3

Das dritte Szenario mit dem Titel „Minimale Handlungsspielräume für den europäischen Industriebau in einer am Boden liegenden Weltwirtschaft“ ist in der Gesamtbetrachtung kaum durch erfolgversprechende Zukunftsprojektionen gekennzeichnet und stellt daher das Negativszenario dar. Im externen Bereich lässt sich dies durch folgende Projektionen bestätigen:

- Ein wenig flexibles Bildungssystem und durch staatlichen Protektionismus geschützte Wirtschaftssysteme kennzeichnen eine weiterhin angeschlagene Weltwirtschaft.
- Recycling ist die einzige Möglichkeit für eine stabile jedoch teure Energie- und Rohstoffversorgung. Primäre und sekundäre Energieträger sind selbst zu hohen Kosten nicht immer verfügbar. Rohstoffe für das Produkt und die Produktion können ausschließlich durch Recycling gewonnen werden und sind aufgrund der Rohstoffknappheit sehr teuer.

Die Produktion wird in diesem Szenario durch folgende Projektionen beschrieben:

- Produzenten sind bestrebt, sich in einem forcierten weltweiten Wettbewerb die erforderlichen Vorteile durch europäische Kooperationen zu sichern, da sich die Weltwirtschaft in einer Rezession befindet und sie verstärkt auf lokale Zusammenarbeit angewiesen sind.

Der negative Charakter dieses Szenarios lässt sich besonders in der Schnittstelle Produktion-Bauwerk spezifizieren:

- Zunächst ist mit einer erheblichen Reduzierung der Planungszeit aufgrund des kontinuierlich wachsenden Kostendrucks zu rechnen.
- Anpassungsfähigkeit von Medienführung und Raumqualität spielen eine geminderte Rolle und werden bei der Planung nicht weiter berücksichtigt. Der Fokus liegt eindeutig auf den Investitionskosten. Das Wissenskapital und dessen Bedeutung für die Produktion schwinden und in der weitgehend automatisierten Produktion spielen Mitarbeiter eine nur noch untergeordnete Rolle. Soziale Aspekte der Nachhaltigkeit werden daher gänzlich vernachlässigt.

In der Kategorie Bauwerk lassen sich folgende Projektionen entwerfen:

- Der Mangel und die Endlichkeit von Rohstoffen machen sich zunehmend bemerkbar. Infolge eines gestiegenen Wettbewerbs, um Rohstoffe ziehen die Preise massiv an. Die aufgrund hoher Rohstoffpreise erforderliche Minimierung des Energieverbrauchs im Betrieb wird in der Regel zugunsten niedriger Investitionen vernachlässigt.
- Nachhaltigkeitsbetrachtungen im Industriebau werden bedeutungslos. Der aktuelle Status bleibt erhalten.

- Der technologische Wandel im Industriebau kommt komplett zum Stillstand. Dies liegt auch an der marktbeherrschenden Bedeutung von Umbau und Sanierung aufgrund des großen Angebots von Bestandsgebäuden, die durch althergebrachte handwerkliche Lösungen besser zu bewältigen scheinen.
- Infolge der geringen Gewinnmargen steigt der Kostendruck. Das verfügbare Investitionskapital schwindet. Minimale Erstellungskosten sind entscheidend. Diese können nur durch eine integrative Planung oder durch Abstriche im Ergebnis eingehalten werden.
- Die Lieferzeit steht nicht mehr im Fokus, Investitionskosten dominieren den Bauprozess.

Das Image spielt in diesem Negativszenario keine Rolle. Industriebauten werden nicht mehr nach Imageaspekten bewertet und die Planung fokussiert ausschließlich auf die Faktoren Kosten und Produktivität.

Nach einer ausführlichen Beschreibung der Szenarien erfolgt eine Ableitung von daraus entstehenden Anforderungen an den zukünftigen Industriebau.

## B4 Anforderungen

Im Rahmen eines weiteren Workshops wurden aus den Zukunftsszenarien für den Industriebau Anforderungen an zukunftsfähige Industriegebäude und Planungsprozesse abgeleitet. In einem ersten Schritt wurden die Chancen und Bedrohungen aus den drei Szenarien analysiert. Im Anschluss konnten daraus Anforderungen für das Gebäude und Anforderungen an den Planungsprozess abgeleitet werden. Das Ziel dieses Schritts ist der Transfer der Erkenntnisse aus den Anforderungen an Gebäude und Planungsprozess in den Handlungsleitfaden.

### 4.1 Szenario 1

Die aus den Szenarien resultierenden Chancen und Bedrohungen sind in die Bereiche Externe Kriterien, Produktion, Schnittstelle Produktion - Bauwerk, Bauwerk und Image gegliedert. In Szenario 1: „Innovative Unternehmen nutzen ihre Chancen in einem prosperierenden Europa“ konnten folgende Chancen identifiziert werden:

**Extern:** Es besteht eine hohe Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal, es entstehen neue und größere Märkte und ein hoher Bedarf an innovativen Lösungen (z. B. Energieerzeugung) kann identifiziert werden.

**Produktion:** Industrieunternehmen befinden sich im Wachstum, die Erschließung neuer Märkte ist möglich und Produktlebenszyklen verlängern sich.

**Schnittstelle Produktion - Bauwerk:** Es ist ein steigender Bedarf an neuen Industriebauten zu identifizieren, die Anforderungen an die Flexibilität von Industriebauten sinken und Anforderungen an den Industriebau verändern sich grundlegend.

**Bauwerk:** Ressourceneffiziente Industriegebäude sind gefragt (Null-Energie, Niedrigenergie, Mehrfachnutzung von Energie, etc.). Es werden innovative Konzepte für Industriebauten entwickelt und angewendet, neue Industrieformen werden gefördert und es erfolgt eine Kopplung der Energieflüsse

von Wohn- und Industriegebäuden. Bei Industriegebäuden ist eine steigende Wertigkeit zu erwarten. Des Weiteren wird der Industriebau ein Arbeitsfeld für Architekten. Die Fähigkeit benötigte Rohstoffe eigens herzustellen ist besonders gefragt und der Gestaltungszwang (Nachhaltigkeit, Energieeffizienz etc.) bzw. Kostenzwänge (total cost of ownership) führen zu neuen Bauweisen, Baustoffen und Technologien.

**Image:** Das gesellschaftliche Engagement von Industrieunternehmen ist verstärkt gefragt.

Als Bedrohungen sind im ersten Szenario weiterhin zu nennen:

**Extern:** Eine florierende Wirtschaft verringert den Gestaltungszwang und bremst die Wirtschaftsentwicklung somit aus.

**Produktion:** Es entstehen soziale Risiken durch eine globale Vernetzung, eine weltweite Mobilität der Arbeitskräfte und einen sinkenden Arbeitskräftebedarf infolge von Rationalisierung und Automatisierung in der Produktion.

**Schnittstelle Produktion - Bauwerk:** Infolge erhöhter Bautätigkeit treten Umweltschäden auf.

**Bauwerk:** Infolge erhöhter Anforderungen an die Qualifikation der Arbeitskräfte im Planungs- und Erstellungsprozess resultiert eine Abhängigkeit von Fachpersonal und steigender Wettbewerb um qualifizierte Arbeitskräfte im Industriebau. Nachhaltigkeit erweist sich als politische „Eintagsfliege“ und die Flächenkonkurrenz steigt. Weitere Bedrohungen sind die Renaissance von bewährten Technologien (da Menschen mit neuen Technologien nicht umgehen können) und steigende Erstellungskosten von Industriebauten (infolge hoher Ansprüche der Facharbeitskräfte an das Arbeitsumfeld).

**Image:** Bedrohungen in Bezug auf das Image entstehen auf Basis des Szenario 1 nicht.

Aus den Chancen und Bedrohungen für das erste Szenario werden im nächsten Schritt die konkreten Anforderungen an Gebäude (Produkt) und Planungsprozess (Dienstleistung) abgeleitet. (vgl. Abbildung 9 und Abbildung 10):

Anforderungen Produkt	Anforderungen Dienstleistung
<p><b>Extern</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Umsetzbarkeit neuer Energiekonzepte.</li> </ul> <p><b>Schnittstelle Produktion – Bauwerk</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Räumliche Erweiterung zu jeder Zeit (z.B. durch flexible/ verschiebbare Fassaden und Strukturen, modulare Bauweisen, trennbare Verbindungen etc.).</li> <li>• Räumliche Erweiterung in Höhe und Fläche.</li> <li>• Vorhaltung struktureller Überkapazitäten (z.B. durch verschiebbare Stützen).</li> <li>• Effiziente Ausnutzung verfügbarer Flächen (z.B. durch effiziente Logistikkonzepte).</li> <li>• Trennung von Struktur und Medienführung.</li> <li>• Flexible Medienführung (z.B. durch Vorhaltung räumlicher Kapazitäten für nachträgliche Anpassung der Medien).</li> <li>• Sicherstellung der internen und externen Medienverträglichkeit.</li> <li>• Berücksichtigung des „Faktor Mensch“.</li> <li>• Berücksichtigung von Life-Balance Angeboten.</li> </ul>	<p><b>Schnittstelle Produktion – Bauwerk</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bereitstellung eines Konzeptes zur Berücksichtigung und Definition der Flexibilitätsaspekte.</li> <li>• Bauherrnsensibilisierung bezüglich der Notwendigkeit zur Definition der Flexibilitätsaspekte.</li> <li>• Bereitstellung einer Methode zur Unterstützung des Denkens in Varianten.</li> <li>• Berücksichtigung alternativer Nutzungsszenarien für das zu errichtende Industriegebäude.</li> <li>• Berücksichtigung des „Faktor Mensch“.</li> </ul>

Abb. B9: Szenario 1 - Anforderungen Produkt und Dienstleistung (1/2)

Anforderungen Produkt	Anforderungen Dienstleistung
<p><b>Bauwerk</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximierung der Ressourceneffizienz (z.B. durch Nutzung überschüssiger Energie infolge der städtebaulichen Vernetzung von Industrie- und Stadtgebäuden).</li> <li>• Berücksichtigung stadträumlicher Fragestellungen bei der Erstellung des Bauwerks.</li> <li>• Bevorzugung von Neubauten gegenüber Bestandsbauten.</li> <li>• Sicherstellung der Stabilität bautechnischer Systeme.</li> </ul> <p><b>Image</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximale Erfüllung ästhetischer Ansprüche.</li> </ul>	<p><b>Bauwerk</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bereitstellung einer Methode zur ganzheitlichen Kostenbetrachtung.</li> <li>• Bauherrnsensibilisierung bezüglich des Verhältnisses von Erstellungs- zu Betriebskosten.</li> <li>• Sicherstellung einer Integrativen Planung.</li> <li>• Bereitstellung von Beratungsmodellen.</li> <li>• Verdeutlichung der Bedeutung der ersten Planungsphase.</li> <li>• Transparenz der Dienstleistungen für den Kunden sicherstellen.</li> <li>• Berücksichtigung, der fachlichen Qualität und des Profils der am Planungsprozess beteiligten Personen.</li> <li>• Berücksichtigung, dass die Anforderungen an das Profil und die Kompetenzen der am Planungsprozess beteiligten Personen steigen.</li> <li>• Sicherstellung, dass die am Planungsprozess beteiligten Personen über die erforderten Kompetenzen und Qualitäten verfügen.</li> <li>• Infragestellung althergebrachter Typologien.</li> <li>• Kompetenzen für die Planung der Medienführung bereitstellen.</li> </ul> <p><b>Image</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximale Erfüllung ästhetischer Ansprüche.</li> </ul>

Abb. B10: Szenario 1 - Anforderungen Produkt und Dienstleistung (2/2)

## 4.2 Szenario 2

In Szenario 2 „Zeitdruck und Innovationskraft dominieren das Geschehen im Industriebau“ konnten folgende Chancen identifiziert werden:

**Extern:** Die Notwendigkeit zur Entwicklung von innovativen Lösungen (z.B. Energieerzeugung) ist gegeben.

**Produktion:** Der steigende Wettbewerbsdruck unterstützt die Entwicklung innovativer Lösungen. Zudem erfolgt eine Kanalisierung der Innovationsaktivitäten durch starre Systeme. Weiterhin sind Vorhaltungen für langfristige Produktionen gefragt.

**Schnittstelle Produktion – Bauwerk:** Die Profilierung erfolgt über eine vorausschauende Planung. Die Bedeutung der Arbeitnehmerbindung steigt und starre Systeme verringern die Erstellungskosten von Industriebauten.

**Bauwerk:** Es erfolgt eine Profilierung durch kreativen Umgang mit zyklischer Rohstoffverfügbarkeit. Außerdem setzt die konsequente Umsetzung von Nachhaltigkeitsaspekten finanzielle Mittel frei und die Bauherrendisziplin steigt infolge verkürzter Planungszeiten. In diesem Szenario sind besonders erfahrene Planer gefragt. Zudem werden der Planungs- und Produktionsprozess immer transparenter und der Industriebau wird industrialisiert und modularisiert. Allgemeingültige Standards und individuelle Elemente werden differenziert. Insgesamt sinkt die Anzahl der benötigten Materialien.

**Image:** Die Form von Industriebauten folgt aus Ihrer Funktion.

Als Bedrohungen sind im zweiten Szenario zu nennen:

**Extern:** Die fehlende Harmonisierung zwischen europäischen Staaten verhindert eine technisch-administrative Harmonisierung. Zudem verhindert Protektionismus einen freien Wirtschaftsverkehr.

**Produktion:** Es erfolgt eine Abwanderung von Arbeitskräften und Industriebetrieben in Schwellenländer, Konkurrenzländer sind Gewinner des Wettbewerbs. Innovationsaktivitäten werden durch starre Systeme behindert. Zudem sind Vorhaltungen für kurzlebige Produktionen gefragt und Verkehrsnetze kollabieren zunehmend.

**Schnittstelle Produktion – Bauwerk:** Durch die geringe Innovationskraft wird der Wettbewerb eingeschränkt. Die Abhängigkeit vom Fachpersonal in der Fertigung steigt an und die Bedeutung von Produktion und Technik ist größer als die der Mitarbeiter.

**Bauwerk:** Der Rohstoffmangel führt zur Reduzierung des Anforderungsniveaus an das Baumaterial. Nachhaltigkeitsbetrachtungen bringen fragwürdige Lösungen hervor und der Zeitdruck führt zu minderwertigen Baulösungen.

**Image:** Bedrohungen in Bezug auf das Image entstehen auf Basis des Szenario 2 nicht.

Wie in Szenario 1 werden an dieser Stelle aus den Chancen und Bedrohungen für das zweite Szenario im nächsten Schritt die konkreten Anforderungen an Gebäude und Planungsprozess abgeleitet. (vgl. Abbildung 11 und Abbildung 12):

Anforderungen Produkt	Anforderungen Dienstleistung
<p><b>Extern</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Umsetzbarkeit neuer Energiekonzepte.</li> </ul> <p><b>Produktion</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bedeutung des Produktionsprozesses ist größer als die des Mitarbeiters.</li> </ul> <p><b>Schnittstelle Produktion – Bauwerk</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorhaltung räumlicher Überkapazitäten (z.B. „toter Raum“).</li> <li>• Effiziente Ausnutzung verfügbarer Flächen (z.B. durch effiziente Logistikkonzepte).</li> <li>• Rückbaubarkeit der Strukturen.</li> <li>• Trennung von Struktur und Medienführung.</li> <li>• Flexible Medienführung (z.B. durch Vorhaltung räumlicher Kapazitäten für nachträgliche Anpassung der Medien).</li> <li>• Sicherstellung der internen und externen Medienverträglichkeit.</li> <li>• Berücksichtigung des „Faktor Mensch“</li> <li>• Berücksichtigung von Life-Balance Angeboten</li> </ul>	<p><b>Extern</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Berücksichtigung der Kreislaufwirtschaft.</li> </ul> <p><b>Schnittstelle Produktion – Bauwerk</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bereitstellung eines Konzeptes zur Berücksichtigung und Definition der Flexibilitätsaspekte.</li> <li>• Bauherrensensibilisierung bezüglich der eingeschränkten Flexibilität infolge der Starrheit der Struktur.</li> <li>• Bereitstellung einer Methode zur Identifizierung des Raumbedarfs.</li> <li>• Berücksichtigung alternativer Nutzungsszenarien für das zu errichtende Industriegebäude im Rahmen der Möglichkeiten.</li> <li>• Berücksichtigung des „Faktor Mensch“.</li> </ul>

Abb. B11: Szenario 2 - Anforderungen Produkt und Dienstleistung (1/2)

Anforderungen Produkt	Anforderungen Dienstleistung
<p><b>Bauwerk</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximierung der Ressourceneffizienz (z.B. durch Nutzung überschüssiger Energie infolge der Vernetzung von Industrie- und Funktions-/ Nebengebäuden).</li> <li>• Gleichberechtigung von Neubauten und Bestandsbauten.</li> <li>• Sicherstellung der Stabilität bautechnischer Systeme.</li> <li>• Etablierung von Standards und klaren Rastern (z.B. standardisierten Bauelementen).</li> <li>• Struktur ist allgemeingültig, offen und fehlerfreundlich konzipiert.</li> </ul> <p><b>Image</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erfüllung ästhetischer Ansprüche.</li> </ul>	<p><b>Bauwerk</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bereitstellung einer Methode zur ganzheitlichen Kostenbetrachtung.</li> <li>• Bauherrensensibilisierung bezüglich des Verhältnisses von Erstellungs- zu Betriebskosten.</li> <li>• Sicherstellung einer Integrativen Planung.</li> <li>• Bereitstellung von Beratungsmodellen.</li> <li>• Verdeutlichung der Bedeutung der ersten Planungsphase vor dem Hintergrund der eingeschränkten Möglichkeiten.</li> <li>• Transparenz der Dienstleistungen für den Kunden sicherstellen.</li> <li>• Berücksichtigung, der fachlichen Qualität und des Profils der am Planungsprozess beteiligten Personen.</li> <li>• Berücksichtigung, dass die Anforderungen an das Profil und die Kompetenzen der am Planungsprozess beteiligten Personen steigen.</li> <li>• Annäherung der Prozessstufen (Entwicklung und Fertigung) berücksichtigen.</li> <li>• Sicherstellung, dass die am Planungsprozess beteiligten Personen über die erforderlichen Kompetenzen und Qualitäten verfügen.</li> <li>• Kompetenzen für die Planung der Medienführung bereitstellen.</li> <li>• Hohe Kompetenzen für die Planung des Anlagenbaus infolge der Starrheit der Struktur erforderlich.</li> <li>• Erweiterung der Planungskompetenzen berücksichtigen (z.B. Investitionen, Finanzierung etc.).</li> <li>• Den Aufbau strikter Verantwortlichkeiten unterstützen.</li> <li>• Bereitstellung klarer Schnittstellendefinition für den Planungsprozess.</li> <li>• Standardisierung des Planungsprozesses.</li> <li>• Gewährleistung schneller und starrer Entscheidungen.</li> </ul> <p><b>Image</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erfüllung ästhetischer Ansprüche.</li> </ul>

Abb. B12: Szenario 2 - Anforderungen Produkt und Dienstleistung (2/2)

## 4.3 Szenario 3

In Szenario 3 „Minimale Handlungsspielräume für den europäischen Industriebau in einer am Boden liegenden Weltwirtschaft“ konnten folgende Chancen identifiziert werden:

**Extern:** Hier erfolgt eine Neuausrichtung des kulturellen Wertesystems. Eine Profilierung wird über maximierte Ressourceneffizienz (z.B. Bauteilrecycling) realisiert.

**Produktion:** Eine dezentrale und autarke Fertigung ist gefragt. Die Produktion hat in diesem Szenario Potenzial zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit. Insgesamt wird die Belastung durch die Logistik reduziert.

**Schnittstelle Produktion – Bauwerk:** Für die Planung und Errichtung eines Industriebaus steht in diesem Szenario vergleichsweise mehr Zeit zur Verfügung. Eingefahrene Prozesse werden überdacht und die Konzentration und Neuausrichtung der Bedürfnisse ermöglichen ein „Gesund schrumpfen“. Das Gebäude und die Produktion schrumpfen zwar, aber dies geht mit einem Profit für die Unternehmung einher. Des Weiteren ist die Konzentration auf Kernkompetenzen gefragt. Abhängigkeiten von Technologien werden reduziert und regionale Ideen als Motor des Wiederaufbaus generiert.

**Bauwerk:** Es erfolgt eine Renaissance der Rolle des klassischen Bauherrn. Der Baubestand wird weiter genutzt und es wird in regionalen und kleineren Einheiten gebaut.

**Image:** Chancen in Bezug auf das Image entstehen auf Basis des Szenario 3 nicht.

Als Bedrohungen sind im dritten Szenario zu nennen:

**Extern:** Ein stabiler Produktionsprozess ist in diesem dritten Szenario gefährdet. Produktion und Industriebau sind abhängig von lokalen Bedingungen.

**Produktion:** Es ist eine verstärkte Abwanderung von Arbeitskräften und Industriebetrieben in Schwellenländer zu erwarten. Außerdem sinkt die Innovationskraft auf Minimalniveau.

**Schnittstelle Produktion – Bauwerk:** Der Lebenszyklus eines Industriebaus wird in diesem Szenario sehr kurzfristig betrachtet. Kleine Schritte verhindern vorausschauende und langfristige Planung. Das Know-how im Industriebau verkümmert in der Schnittstelle Produktion – Bauwerk und die geringe Flexibilität der Gebäude ist ein Hemmnis für den Industriebau. Weiterhin spielen hier die Mitarbeiter eine untergeordnete Rolle. Sozialstrukturen werden abgebaut und es treten vermehrt soziale Unruhen auf.

**Bauwerk:** Die Berufsbilder im Industriebau verändern sich. Außerdem wird der Faktor Zeit zu einem knappen Gut.

**Image:** Bedrohungen in Bezug auf das Image entstehen auf Basis des Szenario 3 nicht.

Wie in Szenario 1 und 2 werden an dieser Stelle aus den Chancen und Bedrohungen für das dritte Szenario im nächsten Schritt die konkreten Anforderungen an Gebäude und Planungsprozess abgeleitet. (vgl. Abbildung 13):

Anforderungen Produkt	Anforderungen Dienstleistung
<p><b>Extern</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Umsetzbarkeit stabiler, autarker Energiekonzepte.</li> </ul> <p><b>Produktion</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bedeutung des Produktionsprozesses ist größer als die des Mitarbeiters.</li> </ul> <p><b>Bauwerk</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximierung der Ressourceneffizienz unter Berücksichtigung von Kostenaspekten (z.B. durch Nutzung überschüssiger Energie infolge der Vernetzung von Industrie- und Funktions-/ Nebengebäuden).</li> <li>• Bevorzugung von Bestandsbauten gegenüber Neubauten.</li> <li>• Etablierung von einfachen Standards und klaren Rastern.</li> <li>• Etablierung von robusten Systemen.</li> <li>• Konzentration auf die Umsetzung wirklich notwendiger Bedürfnisse.</li> <li>• Verwendung regional verfügbarer Bauelemente.</li> <li>• Minimal-invasive Anbindung an bestehende Infrastruktur.</li> <li>• Kurzfristige Lösung: Fliegende Bauten.</li> </ul>	<p><b>Extern</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Berücksichtigung der Kreislaufwirtschaft.</li> </ul> <p><b>Bauwerk</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planung und Erstellung von Industriebauten zu minimalen Kosten ermöglichen.</li> <li>• Kompetenzen für die Planung der Medienführung bereitstellen.</li> <li>• Erweiterung der Planungskompetenzen berücksichtigen (z.B. Investitionen, Finanzierung etc.).</li> <li>• Standardisierung des Planungsprozesses.</li> <li>• Funktionstüchtigkeit auch bei hierarchischer Entscheiderstruktur sicherstellen.</li> <li>• Abwicklung des kompletten Prozess durch einen Generalisten.</li> <li>• Handlungsfähigkeit trotz eingeschränkter Einbindung in den Planungsprozess sicherstellen.</li> <li>• Reaktionsfähigkeit durch spezifische Lösungen sicherstellen.</li> <li>• Adäquate Handlungsstrategie für Umgang mit Protektionismus im Planungsprozess bereitstellen.</li> <li>• Regionale Anpassung vorkonfektionierte Angebote.</li> <li>• Mietparks als Geschäftsmodell in Betracht ziehen.</li> <li>• Impulse für neue Lösungen geben.</li> </ul>

Abb. B13: Szenario 3 - Anforderungen Produkt und Dienstleistung

## B5 Themenclustering

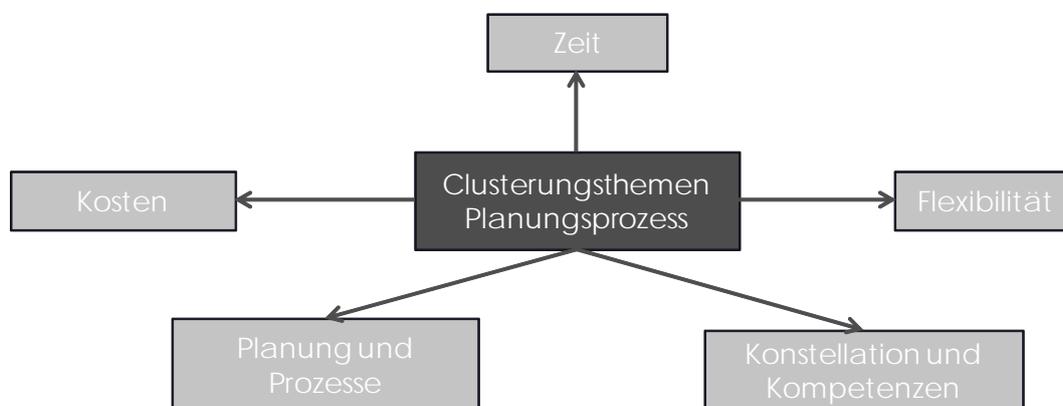
Aus den identifizierten Anforderungen wurden die relevanten Themen für den Industriebau in der Zukunft abgeleitet. Für das Industriegebäude als Produkt sind dafür die im Workshop identifizierten Anforderungen geclustert und die prägendsten Anforderungen identifiziert worden. Die Clusterung und die Ableitung von Anforderungen daraus soll an dieser Stelle nur eine Einleitung zu den detaillierten Ausführungen in Teil D und Teil E darstellen.

Bei der Betrachtung der geclusterten Anforderungen lassen sich die drei Anforderungsgruppen Wandlungsfähigkeit, Ressourceneffizienz und Unternehmensidentität ableiten, die jeweils unterschiedlich stark ausgeprägt in den drei Szenarien vorkommen.

**Wandlungsfähigkeit:** Unter Wandlungsfähigkeit eines Industriebetriebs wird die Fähigkeit verstanden, Veränderungen, die alle Produkte und die gesamte Fabrik bzw. das gesamte Werk betreffen, durchzuführen. Für den Industriebau definiert sich die Wandlungsfähigkeit über Variabilität und Flexibilität. Unter Variabilität wird die Veränderlichkeit bzw. Variationsfähigkeit innerhalb einer Grundgesamtheit verstanden. Dies bedeutet für das Industriegebäude das Potenzial auf Änderungen z.B. Nutzungsänderung oder Änderungen im Produktionsablauf innerhalb des Gebäudes an einem festen Standort reagieren zu können. Flexibilität bedeutet die Veränderlichkeit der Grundgesamtheit. Das bedeutet für ein Industriegebäude z. B. Wachsen, Schrumpfen und Verlagerung. [Wien 05], [West 00]

**Ressourceneffizienz:** „Die Ressourceneffizienz analysiert die Nutzung von Ressourcen in Form von Potenzialfaktoren (Maschinen, humane Faktoren, immaterielle Faktoren). [Hütt 08]

**Unternehmensidentität:** Der Begriff der Unternehmensidentität ist definiert als die Summe seiner charakteristischen Eigenschaften, die es von allen anderen Unternehmen gleicher Größe und Branche differenziert. Als Kern dieser Identität sehen Birkigt, Stadler & Funck die Unternehmenspersönlichkeit als das manifestierte Selbstverständnis des Unternehmens an. [Birk 92] Sie kann als schlüssiger Zusammenhang von Erscheinung, Worten und Taten eines Unternehmens mit seinem Wesen verstanden werden. Die Corporate Identity beschreibt die Einheit und Übereinstimmung von Erscheinung, Worten und Taten eines Unternehmens mit seinem formulierten Selbstverständnis. [Fenk 87]



© IFU/IBK/IKE

Abb. B14: Thematische Clusterung der Anforderungen - Dienstleistung

Für die Dienstleistung wurden exemplarisch die einzelnen Anforderungen thematisch sortiert und deckungsgleiche Anforderungen, d.h. Anforderungen, die aus mehreren Szenarien resultieren, identifiziert. Aus der Clusterung konnten die fünf wichtigsten Kriterien aus dem Planungsprozess abgeleitet werden: Zeit, Kosten, Flexibilität, Planung und Prozesse und Konstellationen und Kompetenzen.

**Zeit:** Dieser Aspekt bezieht sich insbesondere auf die Bauzeiten.

**Kosten:** Hier werden die Themen ganzheitliche Kostenbetrachtung und Bauherrensensibilisierung betrachtet.

**Flexibilität:** Die Flexibilität ist abhängig von Konzepten sowie der Bauherrensensibilisierung.

**Planung und Prozesse:** Dieses Kriterium enthält die Aspekte Bereitstellung einer Methode zur Unterstützung des Denkens in Varianten, den „Factor Mensch“, Sicherstellung einer integrativen Planung, Bedeutung der 1. Planungsphase und Annäherung in Prozessstufen.

**Konstellationen und Kompetenzen:** Diese Aspekte sind geprägt durch Fachwissen & Profil, Anlagenbaukompetenz, Erweiterung, Planungskompetenz, Medienführungskompetenz, klare Schnittstellendefinition und Transparenz der Dienstleistung.

## B6 Verzeichnisse

### Literaturverzeichnis

- [Bull 03] Bullinger, H. J.; Warnecke, H. J.; Westkämper, E.: Neue Organisationsformen im Unternehmen. Ein Handbuch für das moderne Management. Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2003.
- [Birk 92] Birkigt, K.; Stadler, M.; Funck, H.: Corporate Identity. Grundlagen Funktionen Fallbeispiele. Verlag modern Industrie, München 1992.
- [Fenk 87] Fenkart, P.: Corporate Identity. Leitbild, Erscheinungsbild, Kommunikation. Verlag Orell Füssli, Zürich 1987.
- [Gaus 96] Gausemeier, J.; Fink, A.; Schlake, A.: Szenario-Management. Planen und führen mit Szenarien. Carl Hanser Verlag, München 1996.
- [Hütt 08] Hüttenrauch, M.; Baum, M.: Effiziente Vielfalt. Die dritte Revolution in der Automobilindustrie. Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2008.
- [West 00] Westkämper, E.; Zahn, E.; Balva, P.; Tilebein, M.: Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen. Ein Bezugsrahmen für die Unternehmensentwicklung im turbulenten Umfeld. wt Werkstatttechnik 90, 2000.
- [Wien 05] Wiendahl, H.: Planung modularer Fabriken, Vorgehen und Beispiele aus der Praxis. Hanser Fachbuchverlag, München 2005.

## **Abbildungsverzeichnis**

Abb. A1: Multiple Zukunft [Gaus 96]	7
Abb. A2: Phasenmodell des Szenariomanagements nach Gausemeier [Gaus 96].	8
Abb. A3: System-Grid HNI	11
Abb. A4: 1.System-Grid IIKE	12
Abb. A5: 2.System-Grid IIKE	12
Abb. A6: System-Grid IFU	13
Abb. A7: System-Grid IBK	13
Abb. A8: Mapping der Projektionsbündel für die Rohszenarien	17
Abb. A9: Szenario 1 - Anforderungen Produkt und Dienstleistung (1/2)	23
Abb. A10: Szenario 1 - Anforderungen Produkt und Dienstleistung (2/2)	23
Abb. A11: Szenario 2 - Anforderungen Produkt und Dienstleistung (1/2)	25
Abb. A12: Szenario 2 - Anforderungen Produkt und Dienstleistung (2/2)	25
Abb. A13: Szenario 3 - Anforderungen Produkt und Dienstleistung	27
Abb. A14: Thematische Clusterung der Anforderungen - Dienstleistung	28

## **Tabellenverzeichnis**

Tab. A1: Katalog Einflussfaktoren	10
Tab. A2: Beispiel Cross-Impact-Analyse	10
Tab. A3: Schlüsselfaktoren und Projektionen für die Rohszenarien	16

# Teil C

## Lebenszyklusbetrachtung im Industriebau

TU BRAUNSCHWEIG | IFU - INSTITUT FÜR FABRIKBETRIEBSLEHRE UND UNTERNEHMENSFORSCHUNG  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Dombrowski

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Mustafa Celik

Schlussbericht im Rahmen des Forschungsvorhabens „Planungsleitfaden Zukunft Industriebau“ -  
gefördert mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau | Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung

# Schlussbericht **Planungsleitfaden Zukunft Industriebau**

Forschung an der Technischen Universität Braunschweig

**TU BRAUNSCHWEIG | IFU - INSTITUT FÜR FABRIKBETRIEBSLEHRE UND UNTERNEHMENSFORSCHUNG**  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Dombrowski

Langer Kamp 19  
38106 Braunschweig  
[www.ifu.tu-bs.de](http://www.ifu.tu-bs.de)

Im Rahmen des Abschlussberichtes „Planungsleitfaden Zukunft Industriebau“, Aktenzeichen: Z 6 - 10.08.18.7-08.2 / II 2 – F20-07-69, sind verwendete Abbildungen, Diagramme, Tabellen und Fotos als großes Bildzitat nach § 51 UrhG unter korrekter Quellenangabe zulässig. Eine gewinnbringende Veröffentlichung/Publikation ist aus urheberrechtlichen Gründen nicht zulässig.

# Inhalt

## C - Lebenszyklusbetrachtung im Industriebau

C1	Grundlagen	6
C2	Modelle	7
C3	Lebenszyklus Maschinen und Anlagen	12
3.1	Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen	12
3.2	Charakteristika von Konzepten zum LCC	14
3.3	Kostenarten	15
3.4	Aufteilung der Lebenszykluskosten	19
3.5	Beeinflussungsparameter im LCC	20
3.6	Normen und Richtlinien	21
3.7	Fazit	24
C4	Lebenszyklus Gebäude	24
4.1	Lebensdauer	24
4.2	Phasen	27
4.2.1	Entwicklungsphase	29
4.2.2	Realisierungsphase	29
4.2.3	Nutzungsphase	30
4.2.4	Verwertungsphase	30
4.3	Lebenszyklusanalyse	31
4.3.1	Lebenszyklusanalyse des Gebäudes	34
4.3.2	Bedeutung des Gebäudelebenszyklus	38
4.4	Lebenszykluskosten	39
4.4.1	Betriebskosten	41
C5	Verzeichnisse	42

# C Lebenszyklus- betrachtung im Industriebau

## **C Lebenszyklusbetrachtung im Industriebau**

In diesem Kapitel erfolgt eine detaillierte Betrachtung und Analyse des Lebenszyklus im Industriebau. Ein Industriegebäude setzt sich aus den Maschinen und Anlagen im Gebäudeinneren zur Produktion sowie aus der Hülle zusammen. Dementsprechend bilden die Themengebiete „Lebenszyklus Maschinen und Anlagen“ und „Lebenszyklus Gebäude“ die Schwerpunkte der Untersuchung. Die folgenden Kapitel stellen grundlegende Zusammenhänge der Gesamthematik Lebenszyklus dar.

### **C1 Grundlagen**

Das Produkt Industriegebäude unterliegt analog zu anderen Produkten, einem Lebenszyklus. Der Begriff des Lebenszyklus in seiner Anwendung auf nicht natürliche Systeme wie ein Gebäude oder eine Maschine, greift die im Ursprung für natürliche Organismen geltende Eigenschaft des Lebens auf und kategorisiert und schematisiert die Phasen, die ein Produkt während seiner Lebensdauer in einem zeitbezogenen Modell durchläuft. [Zehb 96] Der Begriff des Zyklus impliziert eine Reihenfolge oder einen Kreislauf von Ereignissen oder Abläufen, welche sich entsprechend ihres Inhalts spezifischen Phasen zuordnen lassen, wobei die Phasen wiederum eigene Zyklen darstellen können. [Fröh 90] Der im Rahmen dieses Forschungsvorhabens verwendete Phasenbegriff soll somit nicht im Sinne einer chronologischen Abfolge verwendet werden sondern im Sinne iterativer Schritte. Dem Lebenszyklus liegt letztlich ein zeitliches und logisches Modell zugrunde, welches in Abhängigkeit vom Betrachtungsobjekt zu spezifizieren ist. [Zehb 96]

Ein Teilziel des Kapitels Lebenszyklusbetrachtung im Industriebau ist es, die Bauherren und Planer für eine Durchführung der Lebenszykluskostenbetrachtung (Life-Cycle-Costing (LCC)) zu sensibilisieren. Grundgedanke des LCC ist es, dass die Gesamtkosten - bestehend aus Anschaffungskosten und Folgekosten wie Betriebs- und Entsorgungskosten - zu bestimmen sind, um das über den gesamten Lebenszyklus kostengünstigste Produkt zu erwerben. Der Kern des Konzeptes ist das Denken im System, das die Betrachtung der Systemelemente Kosten, Zeit und Leistung erfordert. [Bünt 09] Die Definition der Lebenszykluskosten für Maschinen und Anlagen ist die „Summe aller zum bestimmungsmäßigen Gebrauch einer geeignet ausgelegten Maschine oder Anlage erforderlichen Aufwendungen von der Anschaffung bis zur Entsorgung“. [VDMA 07]

Im Zusammenhang mit dem LCC stehen die Total-Cost-of-Ownership (TCO). In der Fachliteratur werden die Begriffe meist synonym benutzt. [Bünt 09] In einer Studie aus dem Jahre 1987 erarbeitete die Gartner Group - eine Unternehmensberatung aus den USA - bereits eine Möglichkeit zur Bestimmung der TCO eines PC-Arbeitsplatzes. Es wurden nicht nur die Anschaffungskosten eines Rechners in die Betrachtung einbezogen, sondern sämtliche Kosten wie beispielsweise für Software und Wartung, die durch den Einsatz eines PC's im Laufe der Nutzungsdauer anfallen.

Die Verwendung von zwei Begriffen für die gleiche Thematik lässt sich damit begründen, dass sie in unterschiedlichen Branchen entstanden sind. Der TCO-Begriff hat seinen Ursprung in der Computerindustrie, während der Begriff der Lebenszykluskosten der Investitionsgüterindustrie zuzuordnen ist. Die Institutionalisierung erfolgte im Maschinen- und Anlagenbau durch die VDI-Richtlinie 2884 zur Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life-Cycle-Costing oder dem VDMA Einheitsblatt 34160, einem Prognosemodell für Lebenszykluskosten von Ma-

schinen- und Anlagen. Zusätzlich wurde die Betrachtung der Lebenszykluskosten durch die stärkere Integration von Lebenszykluskostendaten in der Beschaffungsentscheidung der Automobilindustrie intensiviert.

### C2 Modelle

In der Literatur existiert kein einheitliches Phasen- und Verlaufsschema eines Lebenszyklusmodells, weder für Gebäude noch für maschinelle Anlagen oder andere Produkte. Grundsätzlich können drei Arten von Lebenszyklusmodellen differenziert werden: [Herr 10]

1. Lebensphasenmodelle /-konzepte: Diese sind flussorientiert und beschreiben den Fluss von Materialien, Energie, Produkten und Emissionen und sind sequentiell aufgebaut. Die Sequenzen sind an dem Lebensweg der Produkte ausgerichtet (Rohstoffgewinnung bis Herstellung).
2. Lebenszyklusmodelle /-konzepte: Diese sind zustandsorientiert und illustrieren die Systemdynamik dadurch, dass die wichtigsten Zustandsgrößen (Umsatz, Gewinn, Kosten, Emissionen etc.) über die Zeit aufgetragen werden. Die Zustandsgrößen verlaufen in der Regel zyklisch, so dass charakteristische Phasen wie Wachstums-, Reife-, oder Sättigungsphase unterschieden werden können.
3. Integrierte Lebenszykluskonzepte: Diese sind phasen- und zyklusorientiert und stellen sowohl die unterschiedlichen Phasen als auch den zeitlichen Verlauf wichtiger Zustandsgrößen dar.

Das klassische Lebenszykluskonzept, das der zweiten Kategorie zugeordnet werden kann, hat seinen Ursprung im Marketing, wo 1950 von Dean erstmals eine s-förmige Wachstumskurve beschrieben wurde. [Dean 50] Den Begriff Produktlebenszyklus hat Dean allerdings noch nicht verwendet. Die Darstellung des klassischen Produktlebenszyklus geht auf Patton zurück, der 1959 ein vierphasiges Modell vorstellte [Patt 59] In der gegenwärtigen Literatur hat sich jedoch die Phasenunterteilung in

1. Einführungs-,
2. Wachstums-,
3. Reife-,
4. Sättigungs- und
5. Degenerationsphase

etabliert. Gelegentlich werden statt der letzten drei Phasen nur zwei Phasen differenziert, so dass ein Vierphasen-Konzept vorliegt. [Bark 82]

Eine typische Darstellung der Umsatz- und Gewinnsituation im Laufe eines fünfphasigen Lebenszyklus zeigt Abbildung 1.

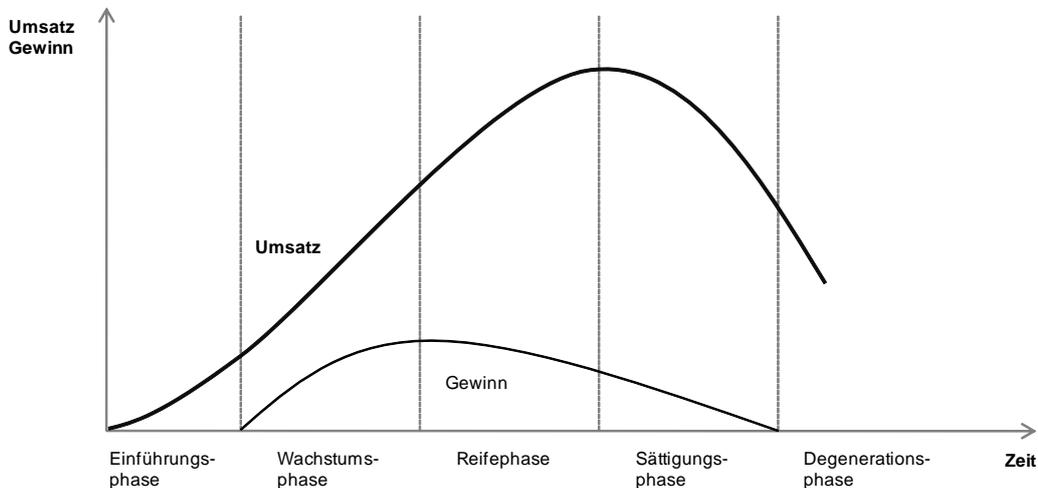


Abb. C1: Markt-Lebenszyklus, in Anlehnung an [Wöhe 96]

## 1. Einführungsphase

Sie ist die erste Phase im Lebenszyklus und erstreckt sich von der Markteinführung bis zur Gewinnschwelle. In dieser Phase werden Verluste, bedingt durch Vorleistungskosten, in Kauf genommen. Hier beginnt der Absatz des Produkts am Markt. Der Umsatz steigt, jedoch können die Kosten für die Produktentwicklung noch nicht gedeckt werden. Die Einführungsphase endet, wenn der Break-Even erreicht ist, d.h. wenn Gewinne erzielt werden.

## 2. Wachstumsphase

Die Wachstumsphase erstreckt sich von der Gewinnschwelle bis zum Punkt des maximalen Gewinns. Erst durch den steigenden Absatz des Produkts können Gewinne erzielt werden. Aufgrund einer größeren Verbreitung des Produkts ist eine hohe Wachstumsrate zu verzeichnen.

## 3. Reifephase

Die Reifephase reicht vom Gewinnmaximum bis zum Umsatzmaximum. In dieser Phase setzt der Gewinnverfall ein, welcher auf einen zunehmenden Wettbewerb zurückgeht. Zudem nimmt das Umsatzwachstum ab. Die Reifephase ist beendet, wenn ein rückläufiger Umsatz erzielt wird.

## 4. Sättigungsphase

Die Sättigungsphase reicht vom Umsatzmaximum bis zum Beginn des Verlusts. Der Umsatz nimmt stetig ab. Außerdem erfolgen häufig Maßnahmen zur Steigerung des Absatzes, wie z.B. eine Überarbeitung des Designs (Facelifting in der Automobilindustrie).

## 5. Degenerationsphase

Die Degenerationsphase ist die letzte Phase im Produktlebenszyklus und erstreckt sich von der Verlustzone bis zum Rückzug des Produkts aus dem Markt. Vermehrt drängen Substitute in den Markt und die Umsätze gehen weiter zurück. Der Markt schrumpft so deutlich, dass der Absatz eingestellt werden muss. Im Anschluss an die Einstellung des Produktes sind weiterhin Leistungen im Bereich der Nachserienversorgung und Gewährleistung zu erbringen.

Die Zahl der unterschiedlichen Phasen sowie Beginn und Ende des Lebenszyklus differieren mit

- dem Untersuchungszweck,
- der Art des betrachteten Objekts (z.B. Maschine, Gebäude, Konsumgut) und
- dem Aggregationsniveau (z.B. Produktgruppe oder Marke).

Zur Abgrenzung und Beschreibung der Phasen werden unterschiedliche Merkmale angewandt. Hierzu zählen beispielsweise die mengen- oder wertmäßige Absatzentwicklung, die Angebots- und Nachfragetypen oder auch die Verhaltensmuster von Marktteilnehmern. Größtenteils sind dies qualitative Kriterien mit phasenspezifisch angegebenen Ausprägungen. Zudem werden die Daten aus dem Rechnungswesen zur Beschreibung von Lebenszyklusverläufen und zur Phasenabgrenzung herangezogen.

Einige ausgewählte Merkmale zur Charakterisierung der einzelnen Phasen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Merkmale/Phase	Einführung	Wachstum	Reife	Sättigung	Degeneration
<b>Umsatz</b>	Geringes Wachstum	Stärkeres Wachstum	Verlangsamtes Wachstum bis zum Maximum	Langsam abnehmend	Stark abnehmend
<b>Kosten</b>	Hohe Stückkosten	Sinkende Stückkosten	Sinkende Stückkosten	Gleichbleibende Stückkosten	Steigende Stückkosten
Gewinn	Einführungsverluste	Beginn der Gewinnzone bis zum Gewinnmaximum steigend	Langsam abnehmende Gewinne auf noch hohem Niveau	Weiter sinkende Gewinne, niedriges Niveau	Verluste
Produktqualität	Zum Teil schlecht und nicht ausgereift	Gut	Sehr gut	Noch gut	Sinkend
Produktvariationen	Gering	Mehrere Produktfamilien oder Spezialisierung	Breites Spektrum oder Spezialisierung	Programm-bereinigung führt zu geringerer Anzahl	Restanzahl
Kapazität, Auslastung	Kapazitätsaufbau, von Unter- zu Vollauslastung	Weiterer Kapazitätsaufbau	Modernisierung, Kapazitätsauslastung, Tendenz zu Überkapazität	Überkapazitäten, Kapazitätsabbau	Unterauslastung, Kapazitätsabbau
Marktrisiko	Sehr hoch	Mittel	Gering	Zunehmend	Steigt weiter
Marktstruktur	Temporäres Monopol, Oligopol	Oligopol	Polypol	Polypol, Oligopol	Oligopol
Marktanteile	Instabil	Schwankend, Konzentrationsansätze	Relativ stabil, Konzentration	Konzentration	Stabilisierung

Wettbewerbsintensität	Unbedeutend	Steigend	Hoch wegen Kampf um Marktanteile	Hoch wegen Verdrängungswettbewerb	Gering
Gesamterfolg	Verlust	Gewinnmaximum	Langsam sinkender Gewinn	Fallender Gewinn	Verlust

Tab. C1: Merkmale der Phasen des idealtypischen Produktlebenszyklus [Zehb 96]

## Integriertes Lebenszykluskonzept

Der in Abbildung 1 dargestellte klassische Lebenszyklus ist sehr grob und undetailliert. Im Rahmen des Forschungsprojekts sind jedoch detaillierte und durch Langfristigkeit charakterisierte Lebenszyklusmodelle von Bedeutung. Abbildung 2 zeigt, wie der Lebenszyklus einer langfristig angelegten Produktplanung mit expliziter Betrachtung der Teilzyklen aufgebaut ist.

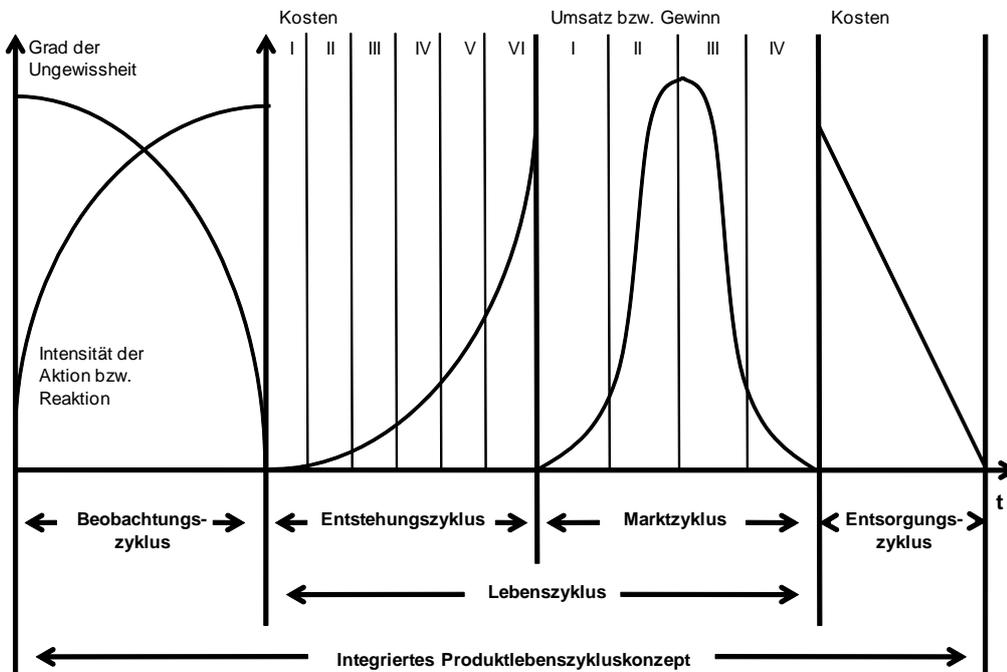


Abb. C2: Integriertes Lebenszykluskonzept [Pfei 81]

In seinem Ursprung stellt das Konzept des integrierten Lebenszyklus ein Modell zur strategischen und dementsprechend langfristigen Produktplanung dar und kann der dritten Kategorie von Lebenszykluskonzepten zugeordnet werden. Konzeptionell baut es auf dem zuvor beschriebenen klassischen Lebenszyklusmodell, auch Marktzyklusmodell genannt, auf. Es erfolgt jedoch eine Erweiterung, da der Entstehungs- und Verwendungszusammenhang von Produkten integriert wird. Hierbei wird eine Ausweitung des Betrachtungsfeldes auf vorstehende und nachgelagerte Vorgänge der eigentlichen Herstellung und Vermarktung des Produkts vorgenommen. Der Betrachtungshorizont des Produktlebens wird daher über die im klassischen Zyklus beschränkte Sicht hinaus um den Entstehungs- und Entsorgungsbereich erweitert. [Pfei 92] In diesem Zusammenhang differenzieren Pfeiffer und Bischoff vier Kernprozesse der langfristigen Produktplanung:

1. Die Beobachtung des wissenschaftlich-technischen Vorfeldes, wo der Grad der Ungewissheit und die Intensität der Aktion bzw. Reaktion tragende Faktoren darstellen. Je weiter der Beobachtungszyklus fortschreitet und sich der Produktentstehung nähert, desto intensiver sind die Aktionen und Reaktionen, denn es besteht Handlungsbedarf aufgrund des neuen Produkts.
2. Der Alternativen-Suchprozess, d.h. Ideen und Visionen für zukünftige Produkte erarbeiten.
3. Der Alternativen-Bewertungs- und Auswahlprozess.
4. Der Realisierungsprozess als Prozess der Produktion und der Diffusion ausgewählter Produkte.

Punkt eins wird dem sogenannten Beobachtungszyklus zugeordnet. Die Punkte zwei, drei und ein Teil des Realisierungsprozesses mit Forschung, Entwicklung und Produktions- und Absatzvorbereitung gehören zu dem Entstehungszyklus. Der Prozess der Diffusion ist dem Marktzyklus zugehörig. Der Entstehungszyklus wird vorrangig durch die Festlegung von Kosten charakterisiert. Im Marktzyklus hingegen ist die Umsatz- und Gewinnbetrachtung dominant. Da in den folgenden Kapiteln besonders die Phasen vor der Nutzung, während des Nutzungsprozesses sowie die Phase nach der Nutzung eines Produkts, im vorliegenden Fall der Maschinen und Anlagen sowie des Gebäudes, im Vordergrund stehen, soll nun näher auf den Beobachtungs-, Entstehungszyklus sowie Entsorgungszyklus eingegangen werden.

### Beobachtungszyklus

Der Beobachtungszyklus ist durch technologische und wissenschaftliche Neuerungen charakterisiert und verfolgt zudem sozio-gesellschaftliche Veränderungen. Bevor ein neues Produkt entsteht, wird der Markt bezüglich dieser Neuerungen und Veränderungen analysiert. Ziel hierbei ist das Generieren von strategisch relevanten Informationen zur Unternehmensumwelt und zu eigenen Stärken und Schwächen. Auf Grundlage dessen sollen Entscheidungsprozesse initiiert werden, die für den Beginn eines neuen Produktlebenszyklus notwendig sind. [Pfei 92] Weiterhin sollen Chancen und Risiken, die aus internen und externen Veränderungen heraus resultieren, möglichst frühzeitig erkannt werden. [Wübb 92]

Die Beobachtungen sollen zu einer sogenannten permanenten Institution werden [Pfei 92], d.h. die Analyse des Marktes hinsichtlich Neuerungen und Veränderungen soll kontinuierlich verlaufen, um z.B. auf etwaige Marktlücken reagieren zu können. Für eine auf einzelne Lebenszyklen ausgerichtete Kostenrechnungskonzeption sind die Kosten der allgemeinen Umfeldbeobachtung einerseits wegen Problemen ihrer Identifikation und andererseits wegen Schwierigkeiten ihrer Zuordnung zu einzelnen Produkten nicht geeignet.

### Entstehungszyklus

Such- und Beobachtungsprozesse, die helfen sollen Problemlösungen zu finden oder für identifizierte Problemlösungspotenziale geeignete Bedarfe aufzudecken, sind bereits produktgerichtet. Eine Zuordnung der Kosten ist zum Großteil zu einem Produktlebenszyklus möglich. Schwierig wird es allerdings, wenn ein grundsätzlicher Produktbezug erkennbar, dieser aber anteilig nicht exakt bestimmbar ist, wie im Fall von Entwicklungsleistungen, die mehreren Produkten zugutekommen.

Nach Pfeiffer werden sechs Teilphasen der Entstehungsphase unterschieden: [Pfei 81]

- I. Suche alternativer Problemlösungspotenziale
- II. Alternativenbewertung und -auswahl
- III. Forschung
- IV. Entwicklung und Versuch
- V. Prototypenbau
- VI. Produktions- und Absatzvorbereitung

Die Teilphasen bilden als Entstehungszyklus eine wichtige Erweiterung des klassischen marktorientierten Lebenszyklus. Der Zyklusbegriff verdeutlicht, dass die zugeordneten Aktivitäten nicht in Sequenzen, sondern überlappend zu betrachten sind und auch eine strenge Abgrenzung des Entstehungszyklus zu den Bestandteilen eines integrierten Produktlebenszyklusmodells nicht möglich ist.

## **Entsorgungszyklus**

Das klassische Lebenszykluskonzept kann durch die Integration des Entsorgungszyklus ausgeweitet werden. Entsorgung bezeichnet in diesem Zusammenhang die Vermeidung und Reduzierung von Rückständen sowie die Überführung unvermeidbarer und nicht nutzbarer Rückstände in einen umweltverträglichen Zustand. [Uhl 02] Hierbei werden die kumulierten Kosten des Entstehungs- und Entsorgungszyklus dargestellt. Die Einbeziehung des Entsorgungszyklus ist erforderlich, denn gerade bei Maschinen und Anlagen ist die Phase „nach der Nutzung“ eine der drei Kernphasen im Lebenszyklus und muss demnach detailliert betrachtet werden, um auch im Sinne des vorliegenden Forschungsprojekts die ganzheitliche Betrachtung, zu erreichen.

## **C3 Lebenszyklus Maschinen und Anlagen**

Im Gegensatz zum Lebenszyklus von Gebäuden soll an dieser Stelle keine weiterführende und detaillierte Betrachtung und Analyse der Lebenszyklusphasen von Maschinen und Anlagen durchgeführt werden. Der Lebenszyklus kann in die fünf klassischen Phasen Einführung, Wachstum, Reife, Sättigung und Degeneration oder im Falle einer strategischen und langfristigen Produktplanung in einen Beobachtungs-, Entstehungs-, Markt- und Entsorgungszyklus eingeteilt und durch das integrierte Produktlebenszykluskonzept abgebildet werden.

### **3.1 Lebenszykluskosten Maschinen und Anlagen**

Maschinen und Anlagen werden auch für den Industriebau der Zukunft das Rückgrat der produktionstechnischen Prozesse darstellen. Vor diesem Hintergrund werden die Betriebskosten dieser Produktionsanlagen großen Einfluss auf den langfristigen Erfolg der Unternehmung haben. Um in der Lage zu sein, die Betriebskosten besser und effektiver zu erfassen und zu berücksichtigen, ist eine Betrachtung der Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen über den Gesamtlebenszyklus hinweg erforderlich. Gemäß der bereits genannten Definition des VDMA werden unter den Lebenszykluskosten alle

Aufwendungen von der Anschaffung bis zur Entsorgung verstanden [VDMA 07].

Die aktuelle Vorgehensweise von Industriebetrieben, sowohl im Mittelstand als auch bei Großkonzernen, bei der Beschaffung von Maschinen und Anlagen wie z.B. einer Werkzeugmaschine lässt sich häufig auf zwei Kernfragen zurückführen: [Köll 09]

- Ist die Maschine in der Lage, die für den Bearbeitungsprozess erforderlichen Anforderungen zu erfüllen?
- Wie teuer ist die Maschine?

Im Falle einer positiven Beantwortung der ersten Frage wird anschließend lediglich der Anschaffungspreis geprüft, ist auch dieser im Rahmen des Budgets oder der Vorstellungen des Kunden, so wird ohne Prüfung weiterer Kriterien und Berücksichtigung von anderen Faktoren der Kauf getätigt. [Köll 09] Das bedeutet, dass in vielen Fällen die Entscheidung für oder gegen den Erwerb einer bestimmten Maschine anhand des Kriteriums der Anschaffungskosten getroffen wird, welche sich grundsätzlich aus den Kapitalkosten und Transportkosten zusammensetzen.

Die Kosten über den gesamten Lebenszyklus sind somit bei Kaufentscheidungen nur von geringer Bedeutung, obwohl die Betriebskosten und auch die Entsorgungskosten die Anschaffungskosten vielfach überschreiten können. Der Grund hierfür ist, dass bei der Kaufentscheidung meist kein geeignetes Lebenszykluskostenkonzept vorhanden ist und der Großteil der Lebenszykluskosten daher nicht einkalkuliert wurde.

Die zukünftig anfallenden Betriebs- und Entsorgungskosten einer Maschine sind jedoch bereits zum Zeitpunkt des Kaufs größtenteils determiniert. [Wübb 84] Eine reine Betrachtung der Anschaffungskosten führt somit häufig zum Kauf eines Produktes, welches langfristig nicht die optimale Wahl ist. Folgendes Beispiel illustriert diesen Sachverhalt (vgl. Abbildung 3). Auf der linken Seite der Abbildung ist eine theoretische Aufteilung von Investitions- und Betriebskosten pro Jahr von drei alternativen Maschinen mit vergleichbarer Leistung dargestellt.

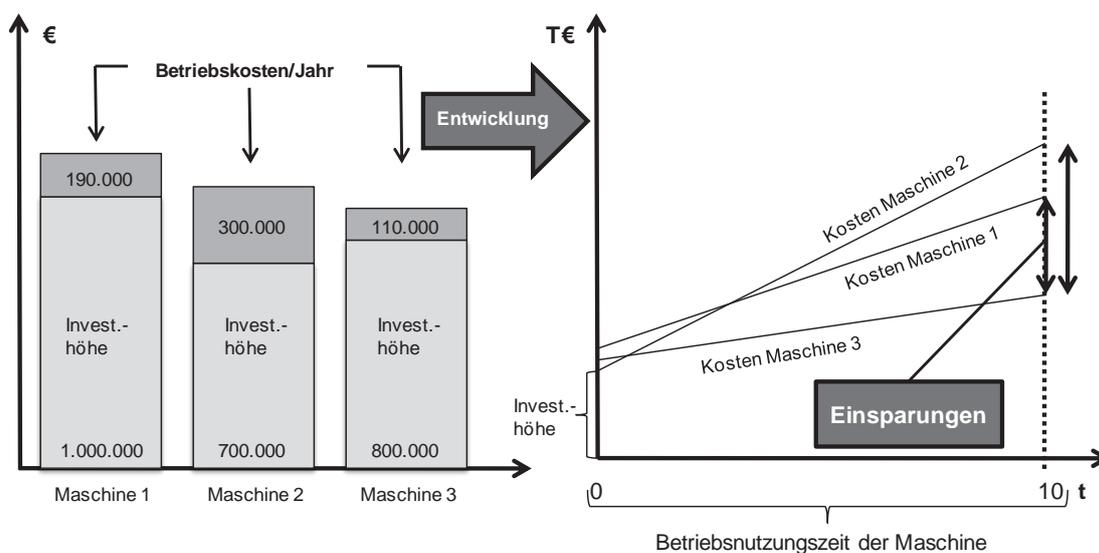


Abb. C3: Betriebskostenverlauf von Maschinen und Bewertung von Investitionsalternativen [Köll 09]

Ohne Kenntnis über die Höhe der Betriebskosten der jeweiligen Maschine wäre die Kaufentscheidung eines beliebigen Käufers Maschine 2, denn ohne eine Ermittlung der Lebenszykluskosten kann er nicht schließen, dass gerade diese Maschine über einen Nutzungszeitraum von zehn Jahren deutlich höhere Kosten als Maschine 1 und 3 verursacht. Eine Möglichkeit zum ungefähren Vergleich von Instandhaltungskosten können Erfahrungswerte aus der Instandhaltung von ähnlichen oder gleichen, bereits bestehenden Maschinen sein, allerdings sind diese Werte für eine Kaufentscheidung in geringem Maße anwendbar. Einerseits basieren sie auf Daten, die meist nur auf dem Papier und sehr lückenhaft vorliegen und andererseits bieten diese Daten oft nur einen qualitativen Vergleich und liefern daher keine geeignete Grundlage. Eine sinnvolle Kaufentscheidung basiert jedoch auf einer Wirtschaftlichkeitsrechnung, die quantitative Daten berücksichtigt. Eine fundierte und richtige Kaufentscheidung kann daher nur durch eine korrekte Betrachtung der Lebenszykluskosten erfolgen.

Wenn der Kunde die Kaufentscheidung nur auf Basis der Beschaffungskosten trifft, hat dies zur Folge, dass der Hersteller auf lange Sicht niedrigere Preise anbieten muss, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Nicht selten entstehen dadurch qualitativ schlechtere Maschinen, inklusive der Einzelkomponenten, die z.B. einen hohen Energieverbrauch verursachen. Als Folge erhöhen sich über den Lebenszyklus hinweg die Kosten während der Betriebsphase. [Bünt 06] Dies begründet den Einsatz einer Lebenszykluskostenrechnung, welche mindestens eine Prognose der wesentlichen Betriebskosten ermöglicht.

### 3.2 Charakteristika von Konzepten zum LCC

Das Kernziel der Lebenszykluskostenrechnung ist es, von vornherein eine möglichst genaue Schätzung der zu erwartenden Kosten während der Betriebs- und Entsorgungsphase der Maschine zu liefern. Der in der Lebenszykluskostenrechnung betrachtete Zeitraum entspricht demnach der Nutzungszeit der Maschine. Zur Bestimmung der Lebenszykluskosten für einen vordefinierten Zeitraum wie etwa 15 Jahre, sind Herstellerinformationen zur Maschine notwendig. Besonders relevant sind hierbei Daten wie z.B.: [Köll 09]

- Häufigkeit der Wartungsaktivitäten pro Jahr
- Stillstandzeiten während der Wartungsaktivitäten
- Arbeits- und Materialaufwand während der Wartungsaktivitäten
- Energieverbrauch pro Betriebsstunde
- Hilfs- und Betriebsstoffverbrauch pro Betriebsstunde
- Ersatzteilpreise für Einzelkomponenten
- Lebensdauer von Einzelkomponenten
- Anzahl von erforderlichem Personal zur Bedienung pro Stunde

Viele Konzepte zur Lebenszykluskostenrechnung verfügen über ein Bonus-Malus-System, das eine Kostenbeteiligung des Herstellers bei falschen Angaben dieser Daten regelt. Allerdings sind auch im Falle der korrekten Bereitstellung dieser Informationen durch den Hersteller die Betriebsbedingungen im Unternehmen der größte Veränderungstreiber und viele dieser Daten hängen unmittelbar mit den Betriebsbedingungen zusammen. Der Hersteller braucht vom Nutzer wiederum Informationen über die Beanspruchungszeiten und -bedingungen der Maschine, um die für die Lebenszykluskostenrechnung erforderlichen Daten an den Nutzer bereitzustellen. Informationen die vom Nutzer an den Hersteller übermittelt werden sollen sind z.B.: [Köll 09]

- Werkstoffeigenschaften
- Taktzeiten
- geplante Durchlaufzeiten
- geplante Betriebsstunden pro Jahr

Jedoch ändern sich auch diese Parameter meist mehrfach über den Lebenszyklus einer Maschine oder Anlage. Es reicht nicht aus, lediglich ein Berechnungsmodell für die Lebenszykluskostenrechnung auszuwählen. Lebenszykluskosten werden grundsätzlich als Kapitalwerte berechnet und müssen über die angenommene Nutzungsdauer betrachtet werden. Die zeitliche Komponente wird durch Abzinsung von Zahlungen erreicht, die in der Zukunft liegen. Die Kapitalwerte aller Zahlungsreihen werden dann anschließend aufsummiert. Nach dem Vergleich unterschiedlicher Investitionsalternativen ist schließlich diejenige auszuwählen, die den höchsten Kapitalwert aufweist. [Dena 10]

### 3.3 Kostenarten

Bei Maschinen und Anlagen ist eine Dreiteilung der Lebensphasen für eine kostenorientierte Lebenszyklusbewertung sinnvoll, da sich hieraus die wichtigsten Kostenelemente definieren lassen (vgl. Tabelle 2). Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sind nachstehend die Lebenszykluskosten entlang der drei Phasen

- Vor der Nutzung
- Während der Nutzung
- Nach der Nutzung

aufgeschlüsselt. Dies ist der erste Schritt für eine Sensibilisierung des Nutzers bezüglich der Kosten seiner Maschinen und Anlagen über den Gesamtlebenszyklus.

Vor der Nutzung
<b>Allgemeine Beschaffungskosten</b>
• Bedarfsermittlungskosten
• Kosten für Marktanalyse
• Anschaffungspreis pro Maschine
• Kapitalbeschaffungskosten
• Frachtkosten
• Zusätzliche Garantiekosten
• Kosten für Umbaumaßnahmen
• Kosten für Aufbau/Einbau
• Kosten der Inbetriebnahme
• Ersatzteilkosten (Erstausrüstung)
• Kosten zusätzlicher Anlagen (Peripheriegeräte)
• Planungs- und Angebotskosten

# Schlussbericht **Planungsleitfaden Zukunft Industriebau**

Forschung an der Technischen Universität Braunschweig

<b>Folgekosten der Beschaffung</b>
• Personalbeschaffungskosten
• Kosten für zusätzliches Personal
• Kosten für Schulungen
• Reisekosten
• Hardwarekosten
• Softwarekosten
• Kosten für Beratung

<b>Während der Nutzung</b>
<b>Betriebs- und Hilfsstoffe</b>
• Wasser
• Druckluft
• Gase
• Schmiermittel und Öle
• Kühlmittel
• Elektrische Leistungsaufnahme im Leerlauf
• Elektrische Leistungsaufnahme unter Last
• Personalaufwand für die Bedienung
• Notwendige Qualifikation
• Flächenkosten/m <sup>2</sup>
• Werkzeugkosten
<b>Instandhaltungskosten/Ersatzteile<sup>3)</sup></b>
• Reinigungsaufwand
• Wartungsaufwand
• Inspektionsaufwand
• Instandsetzungsaufwand
• Generalüberholung/Revision
• Ersatzteilkosten/Ersatzteilbevorratung
• Sonderwerkzeuge, z.B. Hebezeuge
• Kosten für Service
• Kosten für Software/Softwareentwicklung
• Kosten zur Reinigung von Emissionen und Entsorgung von Hilfs- und Betriebsstoffen
• Änderungskosten

<b>Leistungs- und Qualitätsangaben und daraus entstehende Opportunitätskosten</b>
• Produktionskapazität (Maschinenleistung)
• Technische Verfügbarkeit
• Meantime Between Failure (MTBF)
• Meantime To Repair (MTTR)
• Rüstzeiten
*) Die Aufwände sind entsprechend der Richtlinie VDI 2885 zu dimensionieren und die zugehörigen Kosten zu ermitteln.

<b>Nach der Nutzung</b>
<b>Außerbetriebnahme</b>
• Entsorgung von Betriebsstoffen
• Demontagekosten
• Rückbaukosten
• Sanierungskosten
• Kosten für notwendige Gutachten
<b>Verwertung</b>
• Endlagerungskosten
• Verkauf
• Recyclingkosten/Wiederverwendung
• Verschrottung
• Auflösung des Lagerbestands/Verwertung der Ersatzteile
• Weiterverwendungswert

Tab. C2: Kostenarten von Maschinen und Anlagen, in Anlehnung an [VDI 05]

Es ist sinnvoll, je nach Bedarf zu den aufgeführten Kostenarten Daten zur Leistung, Funktionsfähigkeit und spezifischen Maschinenmerkmalen zu berücksichtigen, um eine möglichst vollständige und aussagefähige Darstellung der Maschinenleistung zu erzeugen.

Das Aufzeigen der Stückliste einer Maschine dient dazu, die Kostenelemente den jeweiligen Funktionsgruppen und Maschinenkomponenten zuzuordnen. Dadurch wird die Identifikation von kostentreibenden Funktionsgruppen oder Komponenten vereinfacht und es können wichtige Erkenntnisse für eine Verbesserung gezogen werden. Zur Zuweisung der elementaren Kostenarten und zu deren Berechnung dienen aktuelle Normen und Richtlinien. Kostenarten die in der Berechnung der Kosten berücksichtigt werden sollen müssen in Form von durchschnittlichen Kostensätzen angegeben werden. Kostenbeispiele von anderen Maschinenanwendern können hier als Vorlage dienen, falls andere Anwender ihre Beispielwerte zur Verfügung stellen.

Die Lebenszykluskosten werden durch die unterschiedlichen Kostentreiber derart stark beeinflusst, dass identische Maschinen abhängig von ihrer Einsatzart über den Lebenszyklus hinweg sehr unterschiedliche Kosten verursachen können. Beispielsweise hängen die Energiekosten stark vom Verhältnis der Stillstands- zur Produktionszeit sowie von den jeweiligen Bearbeitungsprozessen ab. Wenn nun eine Aussage zum Einfluss der Energiekosten auf die Gesamtkosten getroffen werden soll, ist es erforderlich, verschiedene Prognosen zu erstellen. In einem Best-Case-Szenario und einem Worst-Case-Szenario werden die Entwicklungen für wesentliche Kostenarten aufgezeigt und anschließend bei der Ermittlung der Gesamtlebenszykluskosten berücksichtigt. Eine detaillierte Aufschlüsselung der Kostenarten einer Maschine vor, während und nach der Nutzung liefert das VDMA-Einheitsblatt. Der Vorteil des Einheitsblattes ist, dass es konkrete Berechnungsformeln für die Kostenarten enthält. Wenn lediglich ein Überblick über die wichtigsten Kostenarten erforderlich ist, so ist die oben genannte VDI-Richtlinie zu empfehlen. Im Falle einer detaillierten Betrachtung der einzelnen Kostenarten und der Berechnungsformeln, stellt das VDMA-Einheitsblatt eine geeignetere Übersicht vor. In Anlehnung an das VDMA-Einheitsblatt 34160 illustrieren nachfolgende Abbildungen die Aufschlüsselung der Kostenarten in den erwähnten Phasen.

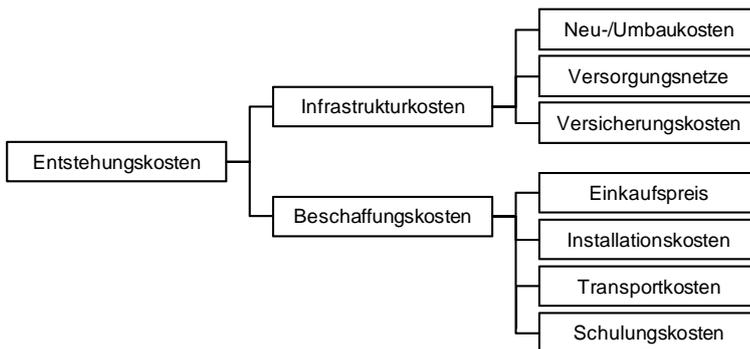


Abb. C4: Kostenarten der Entstehungsphase nach [VDMA 07]

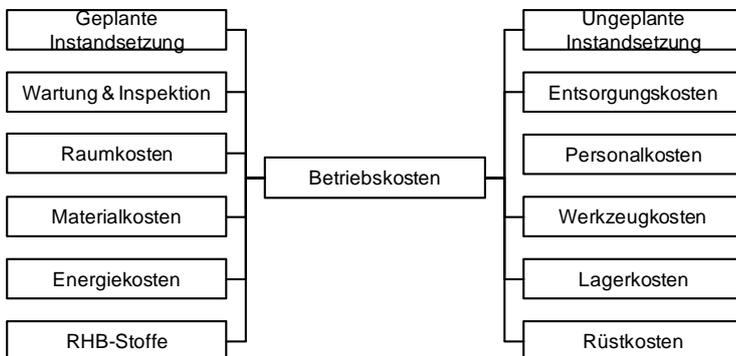


Abb. C5: Kostenarten der Betriebsphase nach [VDMA 07]

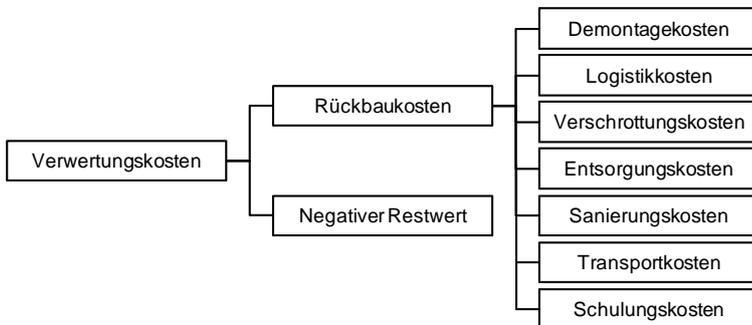


Abb. C6: Kostenarten der Verwertungsphase nach [VDMA 07]

### 3.4 Aufteilung der Lebenszykluskosten

Der durchschnittliche Beschaffungspreis einer Werkzeugmaschine macht mit 30 % zwar den größten aber dennoch geringen Teil der Gesamtkosten aus. [Abel 06] Dieser Wert ist Ergebnis einer Studie des Instituts für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen an der TU Darmstadt (PTW), die zwischen 2004 und 2007 durchgeführt wurde. Basierend auf diesen Erkenntnissen können über einen Betrachtungszeitraum von zehn Jahren beispielhaft für eine Werkzeugmaschine folgende Kosten berechnet werden: (vgl. Abbildung 7):

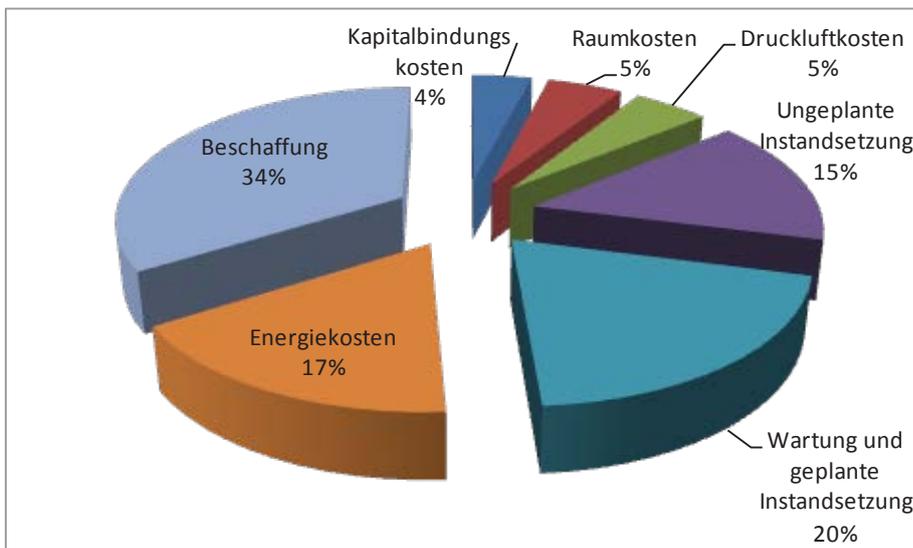


Abb. C7: Aufteilung der Lebenszykluskosten einer WZM, aus [Abel 09]

In diesem Beispiel sind die Stillstandskosten nicht mitberücksichtigt. Je nach Situation und Kalkulationsgrundlage sollten zudem Kosten für Ausschuss, Rüstkosten oder Werkzeugkosten berücksichtigt werden. Das Beispiel illustriert, dass sogar bei einer Betrachtung von nur explizit ausgewählten Kosten, die Beschaffungskosten unter 35 % ausmachen. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit einer systematischen Berechnung der Lebenszykluskosten, sowohl durch den Nutzer als auch durch den Hersteller.

## 3.5 Beeinflussungsparameter im LCC

Die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen werden von unterschiedlichen Parametern beeinflusst. Unter anderem haben die Maschinenkonstruktion, der Bearbeitungsprozess, die Organisationsform oder der Systemaufbau einen wesentlichen Einfluss. [Abel 09] Das Wissen über Faktoren, die die Kosten am stärksten beeinflussen, bietet einen entscheidenden Vorteil: die zukünftige Lebenszykluskostenrechnung kann durch die Optimierung dieser Parameter angepasst werden, so dass Verschwendungen aufgezeigt und beseitigt werden. Somit ist es z.B. für den Hersteller möglich, das zukünftige Verhalten der Maschine durch Änderungen der Konstruktion und der Komponenten wie etwa Lager, Motoren, Pumpen und Dichtungen so anzupassen, dass eine Kostensenkung erreicht werden kann. Aus Nutzersicht sind die innerbetrieblichen Bedingungen und Umfeldeinflüsse während der Nutzungszeit der Maschine zu analysieren, anzupassen und zu verbessern. Hierzu gehören wiederum Parameter wie Fertigungsverfahren, auftretende Belastungen während der Bearbeitungs- und Stillstandzeiten, Verschmutzungen oder auch Schwingungsbeeinflussung durch andere Maschinen. Die Wahl der Fertigungsform und Anordnung der Maschinen im Sinne einer fundierten Fabrikplanung spielt demzufolge ebenfalls eine tragende Rolle bei der Lebenszykluskostenbetrachtung. [Abel 09]

In Abbildung 8 ist beispielhaft aufgeführt, wie sehr die Lebenszykluskosten von Maschinen durch unterschiedliche Beanspruchung beeinflusst werden. Das Diagramm zeigt, dass sechs verschiedene Anwender mit baugleichen Maschinen stark voneinander abweichende MTBF-Werte haben. Diese Mean-Time-Between-Failures (MTBF), ins deutsche mit „mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen“ übersetzbar, gibt den Erwartungswert der Betriebsdauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ausfällen an. So besagt ein MTBF-Wert von 3250 beispielsweise, dass eine Maschine durchschnittlich 3250 Stunden ohne Ausfall arbeitet. Je höher der MTBF-Wert ist, desto zuverlässiger ist die entsprechende Maschine. Umgebungs- und funktionsbedingte Beanspruchungen bedingen geringe MTBF-Werte. So geht aus Abbildung 8 hervor, dass die Ausfallhäufigkeit bei den unterschiedlichen Anwendern stark variiert und eine Streuung der MTBF-Werte von 500 bis ca. 3250 sichtbar ist. Der Prozess und die Organisation können als Einflussfaktoren identifiziert werden. Prozessparameter ergeben sich in erster Linie aus dem Fertigungsprozess und den dazugehörigen Belastungen. Hierbei ist auch die Nutzung in Massen- oder Kleinserienfertigung zu unterscheiden. Der Einsatz einer identischen Maschine in der Kleinserienfertigung führt zu unterschiedlicheren Belastungen als z.B. während der Nutzung in einer Massenfertigung. Zudem spielt im Rahmen des Fertigungsprozesses das zu verarbeitende Material eine entscheidende Rolle – Stahlverarbeitung führt zu höheren Maschinenbelastungen und Ausfallraten als beispielsweise eine Aluminiumverarbeitung. [Abel 09]

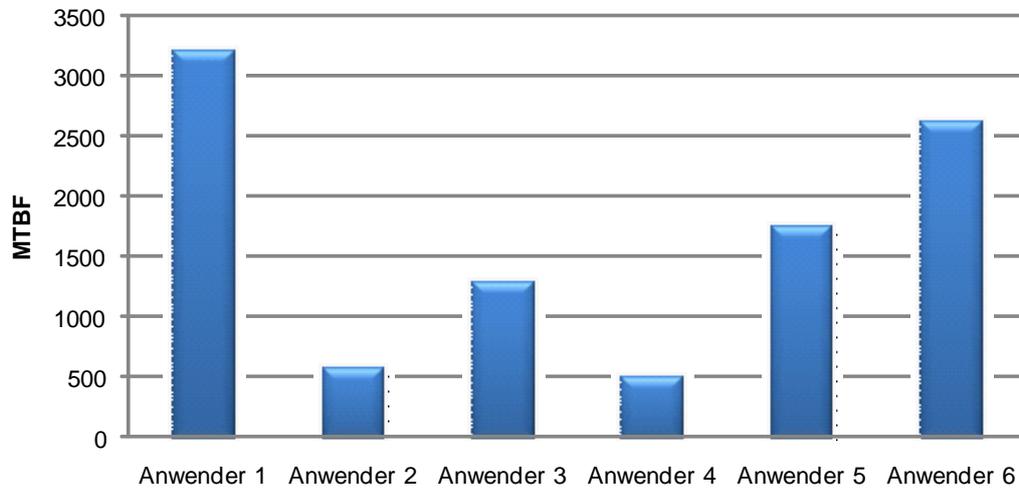


Abb. C8: MTBF Werte gleicher Maschinen bei unterschiedlichen Anwendern [Abel 09]

Der hohe Einfluss der Strategie der Instandhaltungsmaßnahmen auf die Maschinenfunktionalität wird in Abbildung 9 durch eine Felddatenanalyse von Ausfallursachen bei Werkzeugmaschinen deutlich. Die in einem Praxisbeispiel des PTW untersuchten Ursachen lassen sich zu 31 % auf Verschleiß und 12 % auf Schmutz zurückführen. Beide Ursachen können durch aktives Instandhaltungsmanagement des Nutzers minimiert und beseitigt werden. Eine Möglichkeit ist die Prävention. Verschleißanfällige Teile sollten frühzeitig ausgetauscht werden, um ungeplante Ausfälle zu reduzieren und somit den Anteil der ungeplanten Instandsetzung zu reduzieren. Zudem kann durch ausreichende Wartung verschmutzungsbedingten Ausfällen vorgebeugt werden. [Abel 09]

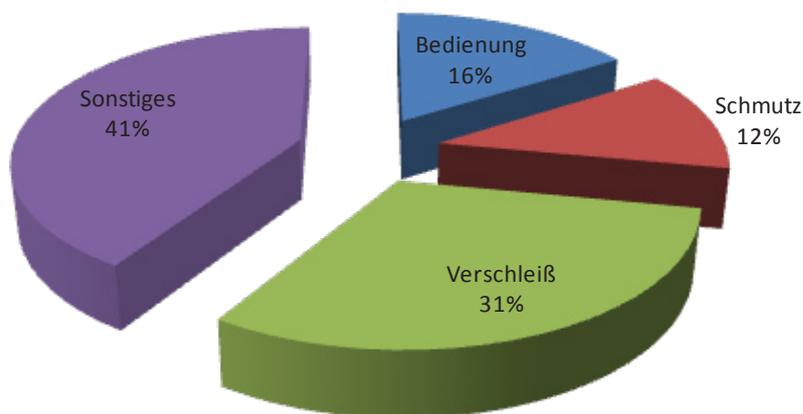


Abb. C9: Felddatenanalyse der Ausfallursachen einer Werkzeugmaschine [Abel 09]

### 3.6 Normen und Richtlinien

Zu Lebenszykluskosten gibt es Normen und Richtlinien, die es ermöglichen, verschiedene Kostenelemente der Lebenszykluskosten zu berücksichtigen und darüber hinaus eine Ermittlungs- und Berechnungsgrundlage für diese Elemente bieten. Tabelle 3 zeigt eine Auswahl der relevanten Normen und Richtlinien.

# Schlussbericht Planungsleitfaden Zukunft Industriebau

Forschung an der Technischen Universität Braunschweig

Norm / Leitfaden	Titel der Norm	Ziel der Norm	Berücksichtigte Lebenszyklusphasen	Grundlage der Bewertung	Bewertungskriterien und Kostenelemente (exemplarisch)
VDI 4004 Blatt 3	Kenngrößen der Instandhaltbarkeit	Definition von Kriterien zur Bewertung der Instandhaltbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>Besitz/Nutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitativ</li> <li>Quantitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instandhaltung</li> <li>Kennzahlen (z.B. MTBF) und qualitative Beurteilungsgrößen (Zugänglichkeit...)</li> </ul>
VDI 4004 Blatt 4	Zuverlässigkeitskenngrößen, Verfügbarkeitskenngrößen	Definition von Verfügbarkeitskenngrößen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Besitz/Nutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitativ</li> <li>Quantitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instandhaltung</li> </ul>
VDI 3423	Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen	Definition der Begriffe, Zeiterfassung und Berechnung der Verfügbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>Besitz/Nutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quantitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instandhaltung</li> </ul>
DIN 31051	Grundlagen der Instandhaltung	Definition der Begriffe der Instandhaltung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Besitz/Nutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instandhaltung</li> </ul>
DIN EN 60300-3-3	Anwendungsleitfaden Lebenszykluskosten	Beschreibung Zweck, Vorgehen und Elemente der LZK Analyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beschaffung</li> <li>Besitz/Nutzung</li> <li>Entsorgung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitativ</li> <li>Quantitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formel und Kostenelemente</li> <li>Investitionsrechnung</li> <li>Beispielrechnung</li> </ul>
DIN EN 61703	Mathematische Ausdrücke	Mathematische Ausdrücke und Formeln	<ul style="list-style-type: none"> <li>Besitz/Nutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quantitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Funktionsfähigkeit</li> <li>Verfügbarkeit</li> <li>Instandhaltbarkeit</li> <li>Instandhaltungsbereitschaft</li> </ul>

Norm	Titel der Norm	Ziel der Norm	Berücksichtigte Lebenszyklusphasen	Grundlage der Bewertung	Bewertungskriterien und Kostenelemente (exemplarisch)
VDI 2884	Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktions- mitteln unter Anwendung von Life-Cycle-Costing	Unterstützung Betreiber bei Auswahl Beurteilungsrahmen für den Hersteller für innovative Konfigurationen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beschaffung</li> <li>Besitz/Nutzung</li> <li>Entsorgung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitativ</li> <li>Quantitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maschinenbeschaffung</li> <li>Betriebs- und Hilfsstoffe</li> <li>Instandhaltungskosten</li> <li>Leistungs- und Qualitätsangaben</li> <li>Außerbetriebnahme und Verwertung</li> </ul>
VDI 2885	Einheitliche Daten für die Instandhaltungs-planung & Ermittlung von Instandhaltungs-kosten	Eindeutige Beschreibung von Instandhaltungspro-zessen als Grundlage für den Austausch zwischen Hersteller und Lieferant	<ul style="list-style-type: none"> <li>Besitz/Nutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitativ</li> <li>Quantitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mengenleistung, Maschi-nenfähigkeit, Verfügbarkeit etc.</li> <li>Instandhaltungsplan für In-spektion, Wartung, Instand-setzung (mit Angabe zu Intervall, Ausfallzeit, Mitar-beiterqualifikation</li> <li>Lebensdauer von Ver-schleißteilen</li> <li>Leistung des Hersteller-Service</li> </ul>
VDI 2891	Instandhaltungs-kriterien bei der Beschaffung von Investitionsgütern	Transparenz der instand-haltungsrelevanten Ereignisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>Besitz/Nutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitativ</li> <li>Quantitativ</li> </ul>	Kostentreibende Kriterien der Instandhaltung , z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>Zuverlässigkeit</li> <li>Instandhaltungsaufwand</li> </ul>
VDMA 34160	Prognosemodell für die Lebenszyklus-kosten von Maschinen und Anlagen	Definition Kostenelemente und Formeln der Berech-nung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beschaffung</li> <li>Besitz/Nutzung</li> <li>Entsorgung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anschaffungspreis, Installati-on, Zoll ...</li> <li>Wartung, Instandsetzung, Energie, Raum, Werk-zeuge....</li> <li>Demontage, Verschrottung...</li> </ul>
VDI 2893	Auswahl und Bildung von Kennzahlen für die In-standhaltung	Definition von Kennzahlen für zielorientierte Ausrich-tung der Instandhaltung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Besitz/Nutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitativ</li> <li>Quantitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kennzahlenkatalog zur Instandhaltung</li> </ul>

Tab. C3: Normen und Richtlinien zu Lebenszykluskosten [Abel 09]

## 3.7 Fazit

Für den Nutzer einer Maschine ist die Kenntnis über die Lebenszykluskosten ein großer Vorteil, besonders, wenn diese Information vor der Investitionsentscheidung zur Verfügung steht. Somit kann er die für ihn langfristig wirtschaftlichste Maschine erwerben. [Denk 09] Allerdings sind das Konzept des Life-Cycle-Costing und die damit einhergehende Ermittlung der Lebenszykluskosten sehr aufwendig und bedingt einen intensiven Informationsaustausch zwischen Nutzer und Hersteller, sowohl in der Beschaffungsphase als auch in der Betriebsphase. Besonders vor dem Hintergrund, dass ein Großteil der Kosten in der Betriebsphase anfällt, ist die kontinuierliche Kommunikation zwischen Nutzer und Hersteller für den ordnungsgemäßen und kostengünstigen Gebrauch einer Maschine wichtig.

Der Aufwand der Lebenszykluskostenrechnung kann minimiert werden, indem sich die Berechnung auf die wesentlichen Kosten beschränkt. Weiterhin ist zu beachten, dass eine funktionierende Lebenszykluskostenrechnung auf einer konstruktiven Zusammenarbeit und einem Vertrauensverhältnis zwischen Nutzer und Hersteller basiert. Bei der Ermittlung und Auswertung der Lebenszykluskosten muss jedoch immer berücksichtigt werden, dass eine Lebenszykluskostenrechnung nur eine Kostenabschätzung und Prognose ist und Abweichungen aufgrund der zahlreichen Einflussfaktoren nicht ausgeschlossen werden können. Um das Konzept weiter zu fundieren, kann zusätzlich eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden, [Günt 97] damit „Zusammenhänge zwischen den in die LCC-Betrachtung eingehenden unsicheren Parametern und den daraus resultierenden Ergebnissen“ aufgezeigt werden können. [VDI 05]

Die reine Betrachtung der Beschaffungskosten, sollte durch eine Betrachtung des Systems als Ganzes abgelöst werden. Des Weiteren müssen die Gesamtlebenszykluskosten als ein wichtiges Kaufkriterium beachtet werden, um so die Rentabilität von Maschinen und Anlagen zu steigern. Neben den oben erwähnten Möglichkeiten zur Reduzierung von Wartungsaufwand und –kosten lassen sich die Gesamtlebenszykluskosten insbesondere dann reduzieren, wenn Einzelkomponenten optimal aufeinander abgestimmt und gleichzeitig an die Anforderungen der Applikation angepasst sind. In Zukunft ist zu erwarten, dass ein Paradigmenwechsel vollzogen wird. Weg von Investitionsentscheidungen, die nur auf Basis von Anschaffungskosten getroffen werden, hin zu einer Prozesskostenbetrachtung über den Gesamtlebenszyklus.

## C4 Lebenszyklus Gebäude

### 4.1 Lebensdauer

Um den Lebenszyklus eines Gebäudes zu beschreiben, muss zunächst die Gesamtlebensdauer analysiert werden. Zudem sind Angaben zur Lebenserwartung einzelner Bauteile und Materialien erforderlich, damit das zeitliche Auftreten baulicher Maßnahmen im Bestand bestimmbar ist.

Vor diesem Hintergrund wird hier zwischen der technischen und wirtschaftlichen Lebensdauer eines Gebäudes unterschieden. Die technische Lebensdauer beschreibt die Lebenserwartung, in der ein Industriebau oder Gebäude im allgemeinen Sinn seinen Funktionen vollkommen genügen kann. [Menk 79] Sämtliche Instandhaltungsmaßnahmen und Abnutzungserscheinungen sind ebenfalls zu

berücksichtigen. Die technische Lebensdauer wird von folgenden Faktoren beeinflusst (Dobe 00], [Schu 85]):

- Qualität der Instandhaltung
- Qualität der Baustoffe
- Qualität der Ausführung (Art und Weise der Konstruktion, Wahl der Materialien und ihre Kombination etc.)
- Konstruktive Abhängigkeiten
- Umfeldeinflüsse wie etwa Nutzerverhalten

Die wirtschaftliche Lebensdauer wird von gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und gesetzlichen Einflüssen bestimmt und ist unabhängig von der technischen Lebensdauer. Die wirtschaftliche Lebensdauer kann jedoch die technische Lebensdauer nicht überschreiten. Je wandlungsfähiger der Industriebau ist, umso größer ist die wirtschaftliche Lebensdauer. [Herz 05] Sie endet, wenn die Rentabilität nicht mehr gegeben ist. Die wirtschaftliche Lebensdauer wird wiederum von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Art der Nutzung
- Qualität des Industriebaus (z.B. Ausstattung, Grundrissanordnung und -gestaltung bei veränderter Nutzung)
- Konstruktive Abhängigkeiten
- Lage des Grundstücks (Stichwort: Standortplanung)
- Nutzerspezifische Ansprüche an Qualität und die Optik des Gebäudes

Ist die technische Lebensdauer erreicht, so ist die Funktionstüchtigkeit des Gebäudes nicht mehr gewährleistet und Revitalisierungsmaßnahmen werden notwendig. Bei Erreichen der wirtschaftlichen Lebensdauer hingegen genügt die Qualität nicht mehr den erwähnten nutzerspezifischen Ansprüchen. Beides bedingt entweder den Austausch bzw. Abriss von Materialien, einzelnen Bauteilen oder der Gesamtkonstruktion.

In Richtlinien wie beispielsweise der Richtlinie für die Ermittlung der Verkehrswerte von Grundstücken (WertR) aus den Jahren 1991 und 2002, Arbeitshilfen wie Leitfaden Nachhaltiges Bauen 2001 [BVBW 01] oder statistischen Untersuchungen wie die des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins (SIA D 0123) [SIA 95] sind durchschnittliche Lebensdauern von Gebäuden, Bauteilen und Baustoffen aufgeführt oder liegen in Form von Erfahrungswerten vor. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde die Expertenerfahrung zur technischen Lebensdauer in einem Arbeitstreffen eingeholt. Die Hochtief Construction AG sowie die M + W Group haben in Zusammenarbeit mit dem Forschungsteam eine Matrix erarbeitet, die auszugsweise untenstehend aufgeführt ist:

Branche	Lebensdauer Gebäude in Jahren	Nutzungszyklen	Art der Veränderung	Art der Tätigkeit (Umbau)
Solar	20	5	Umbau	Anlagentechnik (AT) / Gebäudetechnik (GT)
Chip	20	5	Umbau	AT / GT

# Schlussbericht Planungsleitfaden Zukunft Industriebau

Forschung an der Technischen Universität Braunschweig

Gummi- & Kunststoff-waren	30	10	Umbau	AT / GT
Papierindustrie	30	20	Umbau	AT
Elektronik	30-50	25	Umbau	AT / GT
Bekleidung	30-50	30	Umbau	GT
Getränkeherstellung	50	10-15	Umbau	AT
Chemie	50	10	Umbau	AT / GT
Forschung	50	15-20	Umbau	
Herstellung von sonstigen Waren	50	30	Umbau	AT
Automobil	50	5-8	Umbau	AT / GT
Konsum	50	5	Umbau / Erweiterung	AT / GT
Pharma	50	5	Umbau	AT / GT
DV-Geräte, Optik	50	5	Umbau	AT
Logistik	50	5-10	Abbruch / Rückbau	Lagertechnik / GT / Hülle
Bau	50		Abbruch / Rückbau	
Tabakverarbeitung	60-90	10-15	Abbruch / Rückbau	
Transport	60-90	10	Umbau	AT
Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren	60-90	10	Umbau	AT
Glas und Glaswaren, Keramik	60-90	15-20	Umbau	AT
Energie	60-90	30	Umbau	AT / GT
Sonstiger Fahrzeugbau	60-90	5	Umbau	AT
Rohstoffherstellung	60-90		Abbruch / Rückbau	
Möbelbau	80	10-15	Umbau	AT
Lebensmittel	80	10	Umbau	AT / GT
Druckerzeugnisse	80	10	Umbau	AT
Kokerei & Mineralölverarbeitung	80	15-20	Umbau	AT / GT
Maschinenbau	80	25	Umbau	AT

Tab. C4: Analyse der Nutzungszyklen von Gebäuden aus unterschiedlichen Branchen

Als Gebäude wird in diesem Zusammenhang das Gesamtsystem, das aus Baukonstruktion, technischen Anlagen und Ausstattung besteht, verstanden. Die Baukonstruktion bezeichnet hierbei die Bauteile (z.B. Boden, Decke) und setzt sich aus dem konstruktiven Rohbau, der sogenannten Primärstruktur sowie der Gebäudehülle, dem raumausbildenden Ausbau und den technischen Installationen, der sogenannten Sekundärstruktur zusammen. [Herz 05]

Vor diesem Hintergrund ergab die Analyse der Literatur und unterschiedlicher Richtlinien, dass:

- Bauteile und Materialien eines Rohbaus (Primärgebäudestruktur) langlebiger, als die des Ausbaus und auch langlebiger als die des der technischen Installation (Sekundärstruktur) sind,
- die Lebensdauern der Materialien des Ausbaues sehr unterschiedlich sind,
- die technische Lebensdauer von Oberflächenmaterialien sehr stark von der Nutzung und den klimatischen Bedingungen beeinflusst wird.

Folglich bestimmt die Lebensdauer der einzelnen Bauteile maßgeblich die Gebäudelebensdauer. Ausbauteile und Materialien die in der Regel eine kürzere Lebensdauer haben, können während des Gebäudelebenszyklus ausgetauscht werden. Für die spätere Lebenszykluskostenanalyse ist eine Differenzierung der Lebensdauern bis auf Bauteilebene erforderlich. Zudem resultieren aufgrund der unterschiedlichen Lebensdauern der Ausbaumaterialien konstruktive Abhängigkeiten, deren Berücksichtigung bei der Lebenszykluskostenanalyse erforderlich ist. [Herz 05]

### 4.2 Phasen

In der Literatur werden die Phasen des Gebäudelebenszyklus nicht einheitlich gliedert. Die Lebensphasen sind in unterschiedlicher Form und Detaillierungstiefe abgegrenzt. ISO 15686-5 teilt den Lebenszyklus in vier Kernphasen ein, wohingegen der deutsche Verband für Facility Management, German Facility Management (GEFMA), sieben und das österreichische Normungsinstitut insgesamt fünf Phasen im Lebenszyklus eines Gebäudes sieht (vgl. Tabelle 5). [Herz 05]

GEFMA 100-1 (2004)	Konzeption	Planung	Errichtung	Betrieb & Nutzung	Umbau & Sanierung	Leerstand	Verwertung
ISO 15686-5 (2004)	Acquisition			Use & Maintenance	Renewal & Adaption		Disposal
ÖNORM A 7000 (2000)	Projektidee	Projektentwicklung	Errichtung	Nutzung			Abriss

Tab. C5: Lebenszyklusphasen eines Gebäudes nach Normen und Richtlinien [Herz 05]

Im Allgemeinen durchläuft der Lebenszyklus eines Gebäudes aber immer die Phasen von der Idee bis zur Verwertung, die durch Abriss, Verkauf oder ein anschließendes Neuprojekt gekennzeichnet ist. Je nach Gebäudetyp werden allerdings nicht alle Zwischenphasen durchlaufen. Im Folgenden wird ein für Industriebauten anwendbares Lebenszyklusmodell vorgestellt und detailliert (vgl. Abbildung 10). [Isen 99]

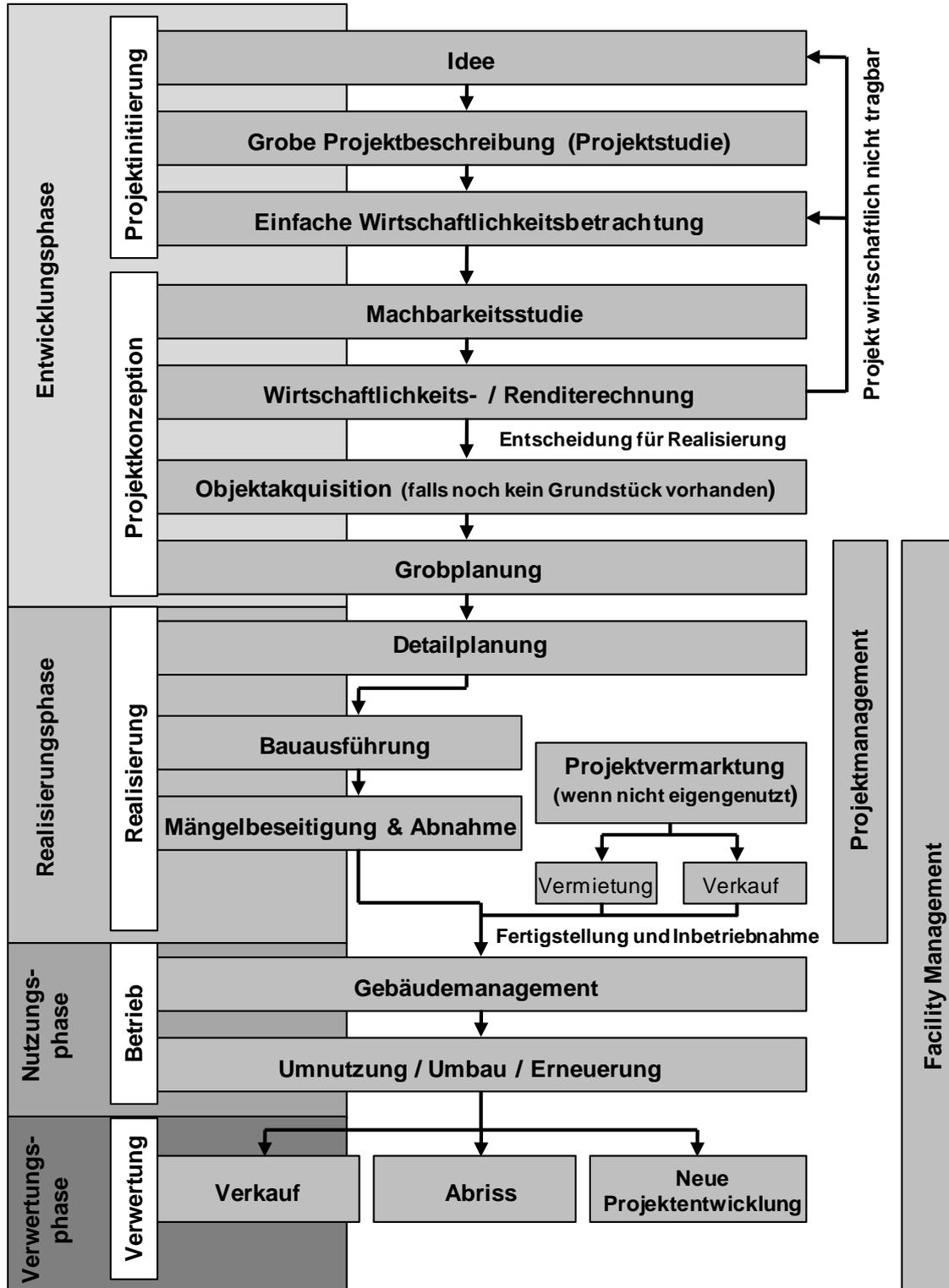


Abb. C10: Detaillierung der Lebenszyklusphasen eines Industriebaus, in Anlehnung an [Isen 99]

Im Gegensatz zu den oben erwähnten Normen und Richtlinien werden hier vier Kernphasen unterschieden, die jeweils aus Teilprozessen zusammengesetzt sind. Im Folgenden wird auf die Phasen dieses Modells näher eingegangen werden.

### 4.2.1 Entwicklungsphase

Das Charakteristische an der Entwicklungsphase ist, dass hier Voraussetzungen für die Wirtschaftlichkeit und die zukünftigen Nutzungsmöglichkeiten des Gebäudes geschaffen werden. Zum Zeitpunkt der Entwicklung werden die Grundsteine für die Lebenszykluskosten und die Gestaltung des Gebäudes gelegt. [Pfnü 02] Nachfolgende Lebenszyklusphasen erlauben kaum mehr einen Eingriff in die Gestaltung und Kosten.

Der erste Schritt der Entwicklungsphase ist die Generierung einer Projektidee. Anschließend wird eine Projektbeschreibung erstellt, die jedoch noch nicht detailliert ist. Hier sollte bereits eine grobe Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgen, um die prinzipielle Durchführbarkeit zu prüfen und gegebenenfalls schon in dieser frühen Phase einen Abbruch oder einen Ideenreview einzuleiten. Möglichst frühzeitige Analysen und Zukunftsprojektionen über wahrscheinliche Szenarien dienen dazu, die bis dahin gesammelten Informationen und Ideen zu konkretisieren und letztlich über die Fortführung und Realisierbarkeit des Projektvorhabens zu entscheiden. [Bone 94] Nach einer weiteren, diesmal jedoch detaillierteren Wirtschaftlichkeitsrechnung erfolgt die endgültige Projektfreigabe. Vor diesem Hintergrund wird die Betrachtung der Lebenszykluskosten im Industriebau deutlich. Die Projektrealisierung wird im letzten Schritt der Entwicklungsphase durch eine Grobplanung des Projekts eingeleitet.

Meist wird bei einem Großbauprojekt in der Industrie nur die Anfangsinvestition betrachtet, was sich negativ auf die Lebenszykluskosten auswirken kann. Wie im späteren Verlauf des Berichts noch detaillierter betrachtet wird, spielen laufende Kosten insbesondere in der Betriebsphase eine übergeordnete Rolle und bieten zudem Optimierungspotenziale. Die Baukosten an sich sind relativ statisch und nur wenig beeinflussbar und daher kaum zu senken, denn sie sind primär von Lohnkosten und Materialkosten abhängig. Die Einbeziehung von sämtlichen, über den Lebenszyklus hinweg anfallen Kosten ist entscheidend für die Wirtschaftlichkeit eines Industriegebäudes und muss ausschlaggebend für die Planung des Gebäudes sein. Auch der spätere Aufwand für Umbau, Rückbau oder Recycling muss bereits in der frühen Entwicklungsphase geplant und mögliche Handlungsszenarien aufgezeigt werden. [Breit 00]

### 4.2.2 Realisierungsphase

Nach der Entwicklungsphase geht der Lebenszyklus in die Realisierungs- bzw. Bauphase über, wobei keine strikte Trennung der beiden Phasen besteht, sondern der Übergang fließend abläuft. Auf Basis der Grobplanung wird mit der Detailplanung begonnen. Die Realisierungsphase endet mit der Übergabe an den Nutzer. Der Bauprozess bedingt, dass die Teilprozesse der Planung und Ausführung zu einem Gesamtprozess zusammengefügt werden, um die Funktionalität und Wirtschaftlichkeit des Gebäudes zu garantieren. [Homa 98] Damit dieser „Integrationsprozess“ erfolgreich verläuft, wird ein Projektteam gebildet, das organisatorisch und fachlich diese Integration begleitet. Oft erfolgt dieser Schritt bereits während der Grobplanung. Die anschließende Detailplanung führt den Planungsprozess des Projektteams weiter und teilt die Planung in unterschiedliche Stufen ein. Ist die Erlaubnis zum

Bau erteilt, wird im Sinne des Simultaneous Engineering parallel die Ausführungsplanung erstellt und die Vergabe vorbereitet. Nach Ende des Bauprozesses und der Abnahme durch den Auftraggeber sind etwaige Mängel zu melden.

Die Inbetriebnahme stellt den Übergang der Realisierungsphase zur Nutzungsphase dar. Hierbei sollte gewährleistet sein, dass den späteren Nutzern sämtliche Informationen zukommen. [Nävy 06]

### 4.2.3 Nutzungsphase

Die Phase der Nutzung ist die längste im Lebenszyklus eines Gebäudes und gleichzeitig mit Abstand die kostenintensivste und schädlichste für die Umwelt. [Lieb 02] Die Nutzungskosten übertreffen bereits durchschnittlich nach nur vier Jahren die Investitionskosten. [Schu 01] Nach Abschluss des Bauprozesses sind durchschnittlich erst 17-25 % der Lebenszykluskosten eines Gebäudes angefallen. [Djah 08] Bei einem Computerchip sind in der gleichen Lebenszyklusphase, nach Fertigstellung im Übergang zur Nutzung bereits 80 % seiner Lebenszykluskosten angefallen. [Pris 01] Diese Zahlen verdeutlichen, dass Kostenreduzierungspotenziale beim Gebäude besonders in der Nutzungsphase vorhanden sind und entsprechende Maßnahmen zur Senkung der Kosten möglichst schon vor der Nutzungsphase eingeleitet werden müssen.

Die Nutzungsphase ist insbesondere durch das Gebäudemanagement und den Umbau gekennzeichnet. Fälschlicherweise wird meist Facility Management als Synonym zum Gebäudemanagement verwendet. [Galo 01] Der Begriff Facility Management (engl. facility = Anlagen, Einrichtungen, Sachressourcen) ist nicht eindeutig abgrenzbar. Dadurch kommt es in der Praxis oft zu Überschneidungen und Überlagerungen in der Bezeichnungsauslegung.

Das Facility Management verfolgt das Ziel eine verbesserte Nutzung, Kapitalrentabilität und Arbeitsproduktivität bei Gebäuden jeglicher Art sicherzustellen. Hierbei sollen insbesondere der Arbeitsplatz und das Umfeld berücksichtigt werden. [Brau 96] Das Facility Management beginnt jedoch nicht erst am Anfang der Nutzungsphase, sondern muss schon am Ende der Entwicklungsphase ansetzen und diese beim Bau und der Errichtung des Gebäudes methodisch unterstützen. Dies ist die Voraussetzung für ein erfolgreiches Gebäudemanagement, das in der Nutzungsphase den wirtschaftlichen Erfolg des Gebäudes sicherstellen soll.

Der Nutzungsphase kann auch der Umbau zugeordnet werden, wobei sowohl Umnutzungs- als auch Erneuerungsaktivitäten zum Umbau gehören. Die Umbauphase ist insofern eine Schlüsselphase im Gebäudelebenszyklus, als dass sie die weiterführende bzw. erneute Nutzung des Gebäudes einleitet. Die Umnutzung führt im Gegensatz zum Umbau gleichzeitig zu einer Nutzungsänderung, welche aber nicht zwangsläufig mit einer baulichen Veränderung einhergehen muss. Für einen Umbau hingegen müssen Veränderungen am Gebäude durchgeführt werden. Im Falle der Erneuerung sind nicht unbedingt veränderte Nutzeranforderungen treibende Faktoren. Erneuerungen sind meist dann notwendig, wenn das Gebäude schon lange in Betrieb ist und bauliche Anlagen oder technisches Equipment veraltet sind.

### 4.2.4 Verwertungsphase

Wenn der Lebenszyklus des Gebäudes nicht in einen Umbau, eine Umnutzung oder eine Erneuerung übergeht, beginnt die Verwertungsphase. Im Vergleich zu den anderen Phasen ist sie relativ kurz,

denn es wird nur noch eine Entscheidung getroffen, ob der nächste und letzte Schritt ein Abriss, Verkauf oder ein neues Projekt sein wird und welche dieser drei Verwertungsmöglichkeiten wirtschaftlich zu präferieren ist.

Der Leerstand ist ein Sonderfall am Ende des Lebenszyklus. Allerdings folgt auf den Leerstand immer eine abschließende Phase wie ein Abriss, Sanierung oder Verkauf. Daher ist die Leerstandsphase lediglich ein Zwischenstadium bis zur endgültigen Verwertung.

### 4.3 Lebenszyklusanalyse

Bei der Betrachtung von Lebenszyklen gilt es zu berücksichtigen, dass die realen Produktlebenszyklen oftmals erheblich von den idealtypisch geplanten Verläufen abweichen. Industriegebäude stehen als Bestandteil einer Fabrik grundsätzlich in einem Abhängigkeitsverhältnis mit unterschiedlichen Lebenszyklen von Produkten und weiteren Elementen der Fabrik. Vor diesem Hintergrund ist zunächst das Gebäude in die Fabrik einzuordnen und der Untersuchungsraum für die weiteren Betrachtungen abzugrenzen.

Das Gebäude stellt im Sinne der Fabrikplanung eine von fünf Planungsebenen dar (Abbildung 11). Die werksexterne Infrastruktur, d.h. die Position des Werks im Unternehmensverbund bzw. Wirtschaftsraum wird Produktionsnetz (1) genannt. Das Werk (2) ist der örtlich und räumlich geschlossene Produktionsbereich mit definierten Produktionsaufgaben an einem Standort. Das Gebäude (3) ist der architektonisch-räumlich geschlossene Ort, der ein oder mehrere Segmente enthält. Das Gebäude enthält geschlossene Produktionsbereiche, bestehend aus mehreren Arbeitsplätzen mit definierten Produktionsaufgaben. Diese geschlossenen Produktionsbereiche werden mit dem Begriff Segment (4) bezeichnet. Der Arbeitsplatz (5) stellt die kleinste Planungsebene dar. Ein Arbeitsplatz ist ein elementarer Produktionsbereich und besteht aus Betriebsmitteln und Nebeneinrichtungen. [VDI 09]

Im Rahmen des Forschungsprojekts wird das Gebäude betrachtet, in welchem die Leistungserstellung des Unternehmens erbracht wird. Vor diesem Hintergrund wird im Folgenden der Lebenszyklus des Gebäudes betrachtet und aus den Lebenszyklen der leistungserstellenden und wertschöpfenden Ebenen Segment/Arbeitsplatz, inklusive Maschinen und Anlagen, abgeleitet.

# Schlussbericht Planungsleitfaden Zukunft Industriebau

Forschung an der Technischen Universität Braunschweig

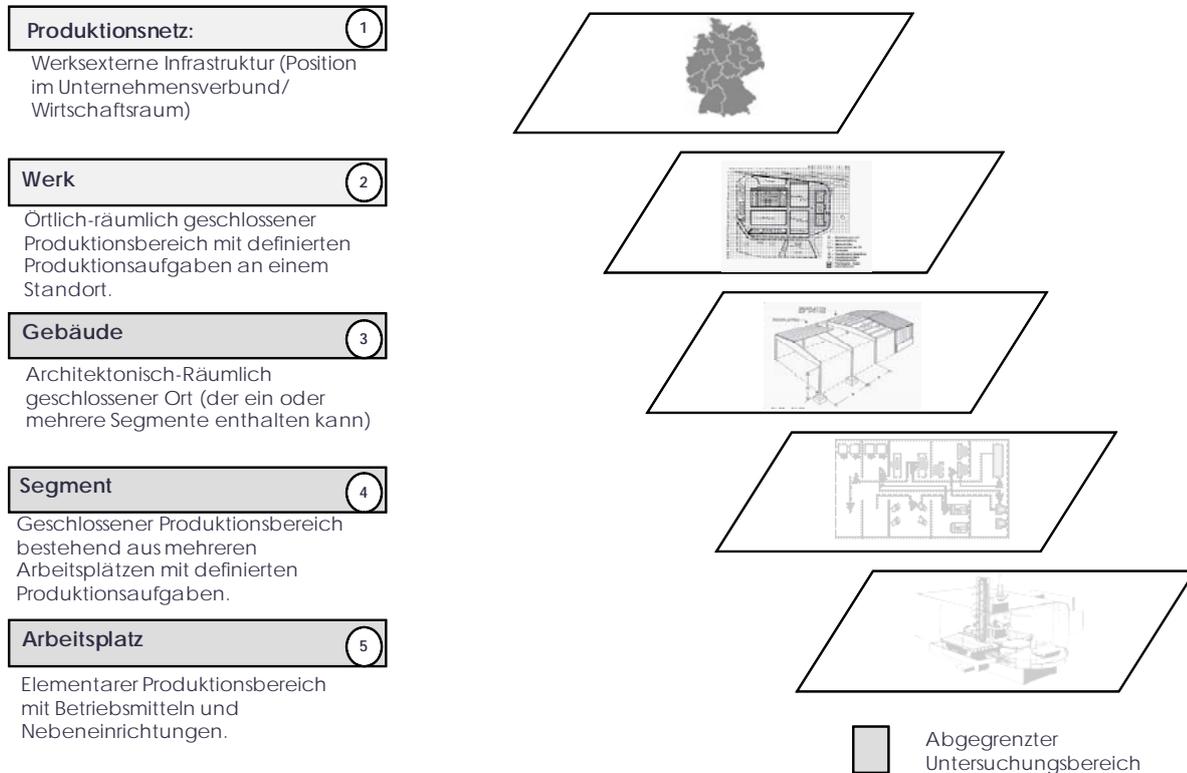


Abb. C11: Planungsebenen der Fabrikplanung, in Anlehnung an [VDI 09]

Segmente bestehen aus Arbeitsplätzen, welche über Prozesse (z.B. Fertigungs- und Produktionsprozesse) und Relationen (z.B. Material- und Informationsflüsse) miteinander verknüpft sind. [Sche 04] In der Planung können Segmente und Arbeitsplätze nicht getrennt voneinander betrachtet werden. Ein Arbeitsplatz besitzt immer einen Vorgänger (z.B. Wareneingang) bzw. einen Nachfolger (z.B. Warenausgang), so dass eine singuläre Planung eines einzelnen Arbeitsplatzes nur eine untergeordnete Rolle spielt. Vielmehr müssen der Vorgänger, der Arbeitsplatz und der Nachfolger als Ganzes geplant werden. Vor diesem Hintergrund werden für die weitere Analyse die Planungsebenen Arbeitsplatz und Segment zusammen betrachtet. In Abbildung 12 ist ein Vergleich der Lebenszyklen eines Produkts und eines dazugehörigen Arbeitsplatzes/Segments dargestellt.

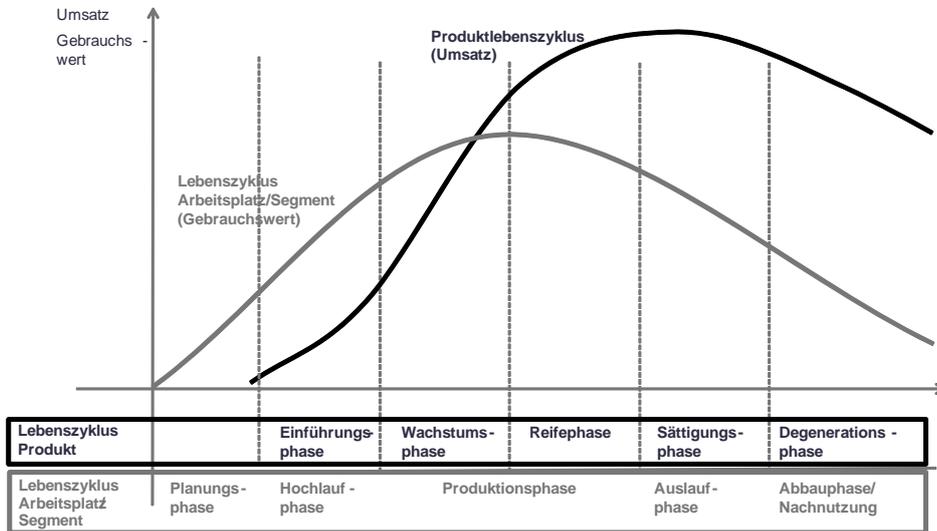


Abb. C12: Vergleich Lebenszyklus Produkt und Arbeitsplatz/Segment [IFU/IKE/IBK]

Analog zu Abbildung 1 beinhaltet der Lebenszyklus des Produkts die bereits beschriebenen fünf Lebenszyklusphasen und ist auf Basis des Umsatzes über die Zeit aufgetragen. Der Lebenszyklus Arbeitsplatz/Segment ist eng mit dem des Produkts verknüpft. Der Lebenszyklus Arbeitsplatz/Segment besteht aus fünf Phasen:

- Planungsphase
- Hochlaufphase
- Produktionsphase
- Auslaufphase
- Abbauphase/Nachnutzung

Die Phasen wurden auf Basis ihres Gebrauchswerts unterschieden, der den „Wert bezüglich seiner Eignung für einen bestimmten Zweck“ [Wirt 10] beschreibt. In der klassischen Ökonomie wird unter dem Gebrauchswert der Nutzen oder die „Nützlichkeit“, die eine Ware hat, verstanden. [Wöhe 96]

**Planungsphase:** Die Planungsphase erfolgt parallel zur Produktplanung und stellt sicher, dass funktionsfähige Arbeitsplätze/Segmente zur Produktion des Produkts zur Verfügung stehen.

**Hochlaufphase:** Die Hochlaufphase ist gekennzeichnet von einer kontinuierlichen Stückzahlerhöhung. Dabei sind zumeist kontinuierliche Optimierungsmaßnahmen in den Arbeitsplätzen bzw. den Segmenten notwendig.

**Produktionsphase:** In der Phase des höchsten Absatzes müssen Arbeitsplätze und Segmente im Sinne der geplanten Leistungserstellung stabil funktionieren. Die kontinuierliche Verbesserung von Arbeitsplätzen/Segmenten ermöglicht die Erhöhung des wertschöpfenden Anteils bei der Erstellung der Produkte.

**Auslaufphase:** Bei sinkender Stückzahl sind oftmals Arbeitsplätze/Segmente nicht mehr in der Lage, eine wirtschaftliche Fertigung sicherzustellen. Vor diesem Hintergrund sind in der Auslaufphase Maßnahmen zu treffen, die Arbeitsplätze/Segmente zur Verfügung stellen, in denen ein Auslauf des Pro-

dukts ökonomisch ermöglicht werden kann. Dabei kann eine grundsätzliche Umstrukturierung des Segments notwendig werden.

Abbauphase/Nachnutzung: Ist der Auslauf des Produkts sicher, ist der Arbeitsplatz/das Segment abzubauen bzw. für eine nachfolgende Nutzung neu zu konfigurieren. Aufgrund des technischen Fortschritts ist eine direkte Verwendung von Arbeitsplätzen/Segmenten für ein anderes (Nachfolge-) Projekt zumeist nicht möglich.

Aus den immer kürzeren Innovationszyklen resultieren kurze Produktlebenszyklen. So sind z. B. die Produktlebenszyklen in der Automobilindustrie von 19 Jahren (Ford Model T) auf 5-6 Jahre gesunken. In der Elektrotechnik sind aktuell Lebenszyklen von 2-4 Jahren und im Bereich der Software sogar von unter einem Jahr zu verzeichnen. Aus dieser Entwicklung resultiert, dass auch die Lebenszyklen von Arbeitsplätzen/Segmenten kontinuierlich kürzer werden. Für das Gebäude, welches die Arbeitsplätze/Segmente beinhaltet, stellen die kurzen Lebenszyklen hohe, ständig wechselnde Anforderungen dar. [Econ 99]

### 4.3.1 Lebenszyklusanalyse des Gebäudes

In einer Umfrage des Instituts für Fabrikbetriebslehre und Unternehmensforschung aus dem Jahr 2008 (gefördert im Rahmen des Forschungsvorhabens „InnoFAB“ durch die Stiftung Industrieforschung) wurden 23 Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen zu ihren Fabrikplanungsaktivitäten befragt. Im Rahmen der Studie wurden die Unternehmen nach dem Alter ihrer Gebäude befragt. Wie in Abbildung 13 dargestellt, ist das Ergebnis der Auswertung, dass nur rund 5% der befragten Unternehmen in Gebäuden mit einem Alter zwischen 1-3 Jahren produzieren. 10% der Unternehmen sind in 3-10 Jahre altenren Gebäuden, 30% der Gebäude sind zwischen 10 - 30 Jahren alt und 55% der Gebäude bestehen seit über 30 Jahren.

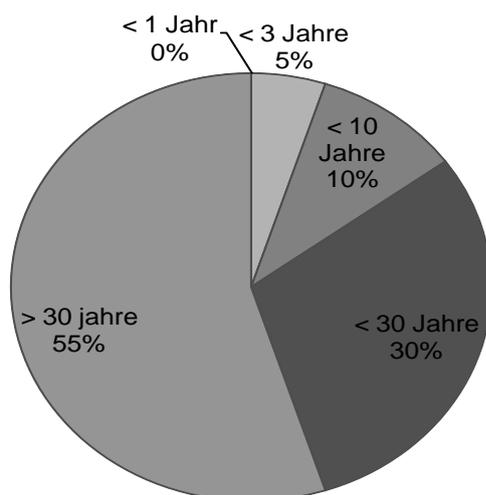


Abb. C13: Altersstruktur im Industriebau

In Abbildung 14 ist die Entwicklung eines Werks am Beispiel der Meteor Gummiwerke K. H. Bädje GmbH & Co. KG (Meteor) dargestellt. Meteor produziert am Standort Bockenem Profile, Formteile und aufwändig veredelte Dichtsysteme vornehmlich für die Automobilindustrie. Des Weiteren werden Gummimischungen entwickelt und hergestellt. Im Jahr 1957 hat Meteor die Räumlichkeiten einer ehemaligen Konservenfabrik erworben und hat die Produktion dorthin verlagert. Seitdem wurde das Gelände kontinuierlich erweitert und moderne Fertigungshallen kamen hinzu. Dennoch besteht der Kern des Geländes immer noch aus den Räumlichkeiten der ehemaligen Konservenfabrik in denen z.T. heute noch produziert wird. Trotz neuer Anforderungen, wie z. B. Brandschutz und Fundamente, sind keine Anpassungsmaßnahmen in den Gebäuden mehr möglich. Die alten Gebäude werden daher immer mehr als Räumlichkeiten für indirekte Bereiche (Büroflächen) genutzt.

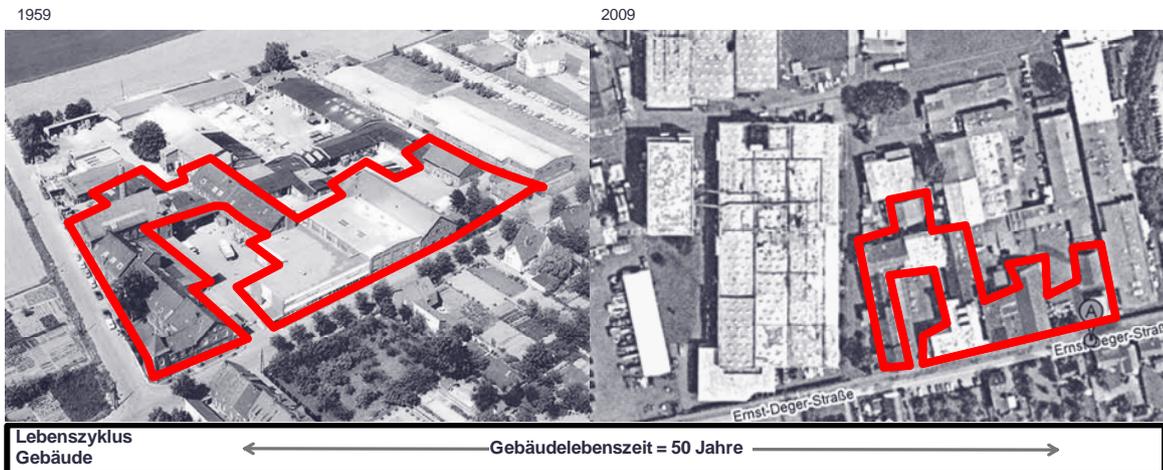


Abb. C14: Lebenszyklus Gebäude am Beispiel eines Automobilzulieferers [Goog 09]

Im Vergleich des Lebenszyklus Arbeitsplatz/Segment und Lebenszyklus Gebäude am Beispiel der Automobilindustrie wird deutlich, dass bei einer angenommenen Gebäudelebenszeit von 50 Jahren im selben Zeitraum neun Lebenszyklen Arbeitsplatz/Segment (auf Basis eines angenommenen Produktlebenszyklus von fünf Jahren) ablaufen können. In Abbildung 15 sind beide Lebenszyklen über die Zeit (horizontale Diagrammachse) abgetragen.

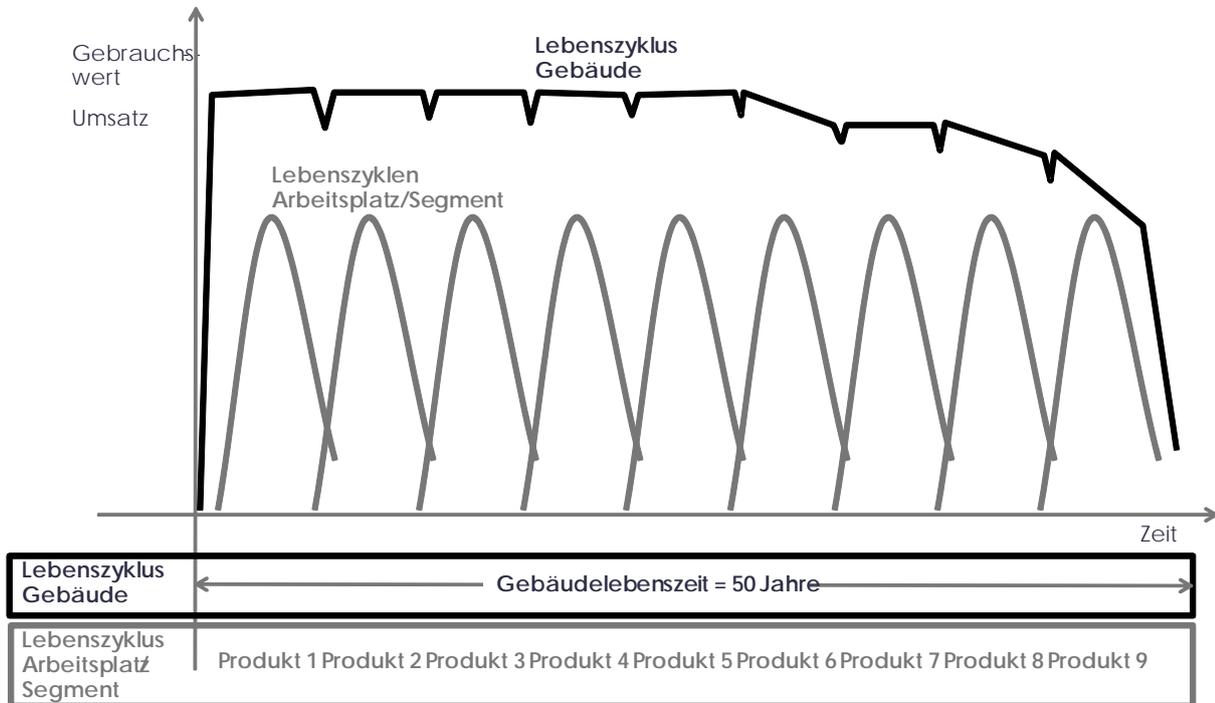


Abb. C15: Vergleich Lebenszyklus Arbeitsplatz/Segment und Gebäude [IFU/IKE/IBK]

Am Anfang hat das Gebäude einen hohen Gebrauchswert, welcher insbesondere durch die Übereinstimmung der Anforderungen der Arbeitsplätze/Segmente mit den Leistungen des Gebäudes geprägt ist. Aufgrund des Wechsels von Arbeitsplätzen/Segmenten sinkt der Grad der Übereinstimmung kontinuierlich. Durch Anpassungsmaßnahmen kann der Gebrauchswert immer wieder erhöht werden. Aufgrund der sich zunehmend verändernden Anforderungen bzw. der abnehmenden Anpassungs- und Leistungsfähigkeit des Gebäudes nimmt zum Ende des Lebenszyklus der Gebrauchswert deutlich ab.

Vor diesem Hintergrund können für das Gebäude die Zustände Planung, Bau/Veränderung, Betrieb, Anforderungsänderung und Rückbau oder die vollständige Umnutzung abgeleitet werden. In Abbildung 16 ist dargestellt, wie das Gebäude in den Phasen des Lebenszyklus unterschiedliche Zustände annimmt.

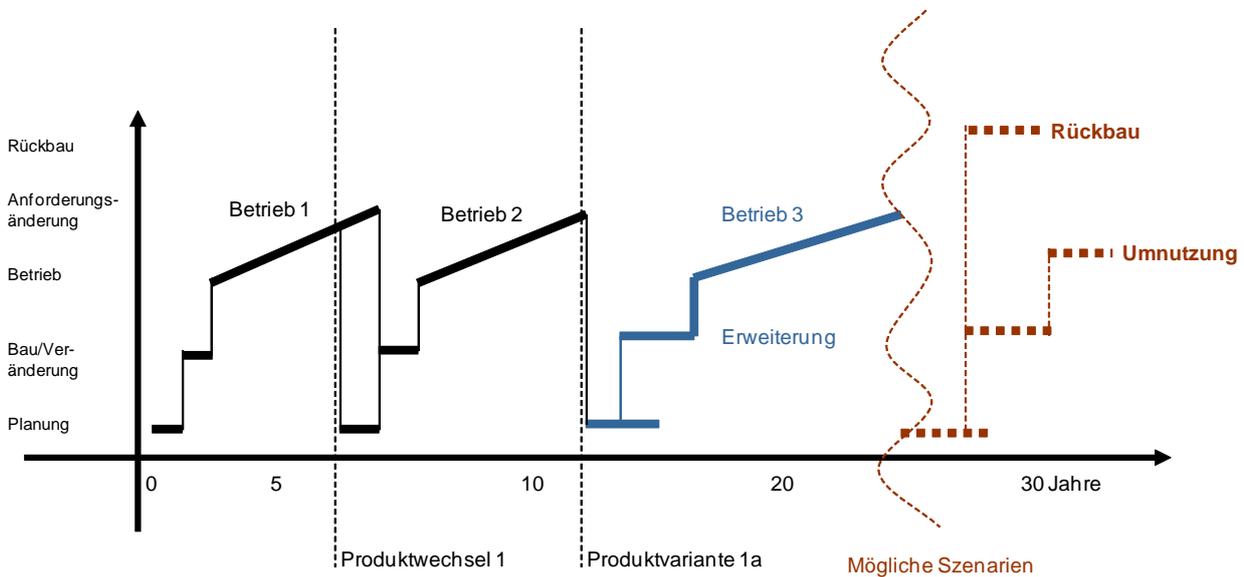


Abb. C16: Lebenszyklus Gebäude und mögliche Szenarien [IFU/IKE/IBK]

In der Zustandsbeschreibung Anforderungsänderung werden alle geänderten Anforderungen subsummiert, die eine Anpassung des Gebäudes erfordern. Die Anforderungsänderungen können sich dabei aus einer Änderung des Arbeitsplatzes/Segments ergeben. Des Weiteren sind Anpassungsänderungen aufgrund veränderter Gesetze oder im Rahmen eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP) möglich. Insbesondere die Verbreitung von Ganzheitlichen Produktionssystemen bewegt immer mehr Unternehmen dazu, das Streben nach Verbesserung als ihre Kernkompetenz zu betrachten. Der dadurch entstehende KVP erhöht auch die potenziellen Anforderungsänderungen für das Gebäude. Die Anforderungsänderung beginnt mit der Analyse der relevanten Anforderungen und endet mit dem Start der Planung oder des Rückbaus bzw. der vollständigen Umnutzung.

Wie in Abbildung 16 dargestellt, sind diese Zustände nicht linear aufeinander aufbauend, sondern wiederholen sich kontinuierlich. Im Zeitpunkt des Produktwechsels 1 wird über eine neue Planung und Bau/Veränderung der Gebrauchswert des Gebäudes wieder hergestellt. Dabei erfolgt Planung und Bau/Veränderung so, dass der Übergang zeitlich überlappend mit Betrieb 1 erfolgt. Dadurch ist ein Stillstand für den Übergang von Betrieb 1 zu Betrieb 2 möglich.

Für den Übergang von Betrieb 2 zu Betrieb 3 auf Basis der Einführung von Produktvariante 1a ist eine längere Unterbrechung notwendig, da für diese Änderung kein Parallelisieren der Aktivitäten erfolgt ist. In einer ersten Planung beim Neubau eines Industriegebäudes können eventuell einige mögliche Entwicklungen bereits vorhergesehen werden. In Abbildung 16 ist dies für die Anforderungsänderungen durch Produktwechsel 1 angedeutet. Abhängig von den sich anschließenden Szenarien erfolgt immer wieder eine Anpassung der Gebäude. Für den Nutzer eines Industriegebäudes hat es vor diesem Hintergrund eine hohe Relevanz, inwieweit Anforderungsänderungen wirtschaftlich abgebildet werden können. Daher kommt der Lebenszyklusbetrachtung des Gebäudes für den Planungsprozess eine besondere Bedeutung zu.

## 4.3.2 Bedeutung des Gebäudelebenszyklus

Aufgrund der langen Lebenszyklen des Gebäudes im Vergleich zu den Produktlebenszyklen bzw. den Lebenszyklen von Arbeitsplatz/Segment ist in der Neuplanung insbesondere Wert auf die Planungsgrundlage zu legen. Die Planungsgrundlage ergibt sich aus den zukünftigen Anforderungen an das Gebäude. Abbildung 17 zeigt beispielhaft potentielle Szenarien im Industriebau auf.

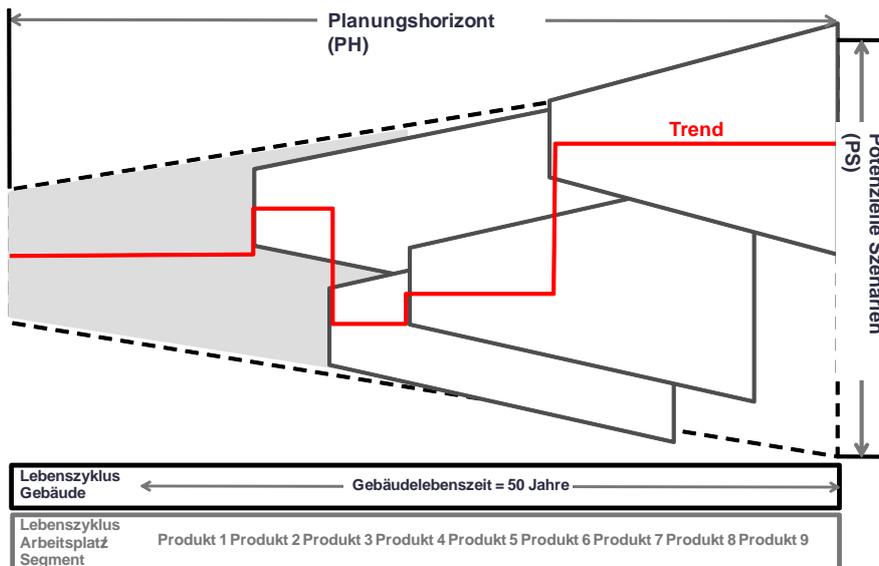


Abb. C17: Planungshorizont für die Industriebauplanung

Zu Beginn der Planung eines Industriegebäudes ist eine Vorausschau der zukünftigen Nutzung nur für einen begrenzten Zeitraum möglich (dunkelgraue Fläche). Dennoch erstreckt sich der Planungshorizont (PH) der Neuplanung über den geplanten Lebenszyklus des Gebäudes. Im Planungshorizont können verschiedene potenzielle Szenarien (PS) aus potenziellen Entwicklungen abgeleitet werden. Über die Anpassungsplanungen im Zuge der kürzeren Lebenszyklen von Arbeitsplatz/Segment ergeben sich immer neue potenzielle Szenarien. Diese können sich grundsätzlich von dem potenziellen Szenario zum Zeitpunkt der Neuplanung unterscheiden. Aus dem Verlauf der Trendlinie kann abgeleitet werden, dass sich die Planungshorizonte für jede Anpassungsplanung immer wieder verschieben bzw. dass zu Beginn einer Planung nur für einen begrenzten Horizont Informationen zur Verfügung stehen. Für die Planung der Industriegebäude ergeben sich aus den vorstehenden Analysen mehrere Anforderungen:

1. Die Planung von Arbeitsplatz/Segment und Gebäude muss eng verzahnt miteinander erfolgen.
2. Die Wirtschaftlichkeit eines Industriegebäudes ist über den gesamten Lebenszyklus zu betrachten.
3. Die Planung und der Bau bzw. die Veränderung müssen insbesondere für Planungen vor dem Hintergrund sich kontinuierlich ändernder Anforderungen schnell erfolgen.
4. Geeignete Methoden und Werkzeuge zum Umgang mit den Unsicherheiten und den kurzen Planungshorizonten sind notwendig.

Eine detaillierte Betrachtung des Planungsprozesses erfolgt in Teil D und wird an dieser Stelle nicht weiter vertieft.

#### 4.4 Lebenszykluskosten

Analog zu den Lebenszykluskosten der Maschinen und Anlagen ist die Lebenszykluskostenbetrachtung des Gebäudes ein wesentlicher Erfolgsfaktor für den Industriebau der Zukunft. Im Gegensatz zu Maschinen und Anlagen werden die Lebenszykluskosten von Gebäuden nicht in Kosten vor, während und nach der Nutzung eingeteilt, sondern in direkte und indirekte Kosten untergliedert. [Herz 05] Direkte Kosten bezeichnen hierbei die Herstell- und Änderungskosten und indirekte Kosten die Nutzungskosten. Neben diesen beiden Kostengruppen gibt es noch die Kostengruppe der externen Kosten, zu denen beispielsweise Umweltbelastungskosten und volkswirtschaftliche Kosten gezählt werden. [Herz 05] Solche Kosten sind nicht auf den Bauherrn oder den Nutzer zurückzuführen und müssen von der Allgemeinheit getragen werden. Schäden, die durch

- die Herstellung
- die Nutzung und
- die Verwertung

von Gebäuden entstehen, verursachen diese externen Kosten. Im Folgenden werden sie jedoch nicht weiter in Betracht gezogen, da sie mit dem eigentlichen Bauprozess und dem fertigen Gebäude nicht in engem Bezug stehen, wie die direkten und indirekten Kosten. Derzeit gibt es keine deutsche Norm, die die Lebenszykluskosten eines Gebäudes in direkte und indirekte Kosten aufschlüsselt. Die norwegische Norm NS 3454 aus dem Jahr 2002 enthält jedoch eine Zusammenfassung der direkten und indirekten Kosten über den gesamten Lebenszyklus. [Herz 05]

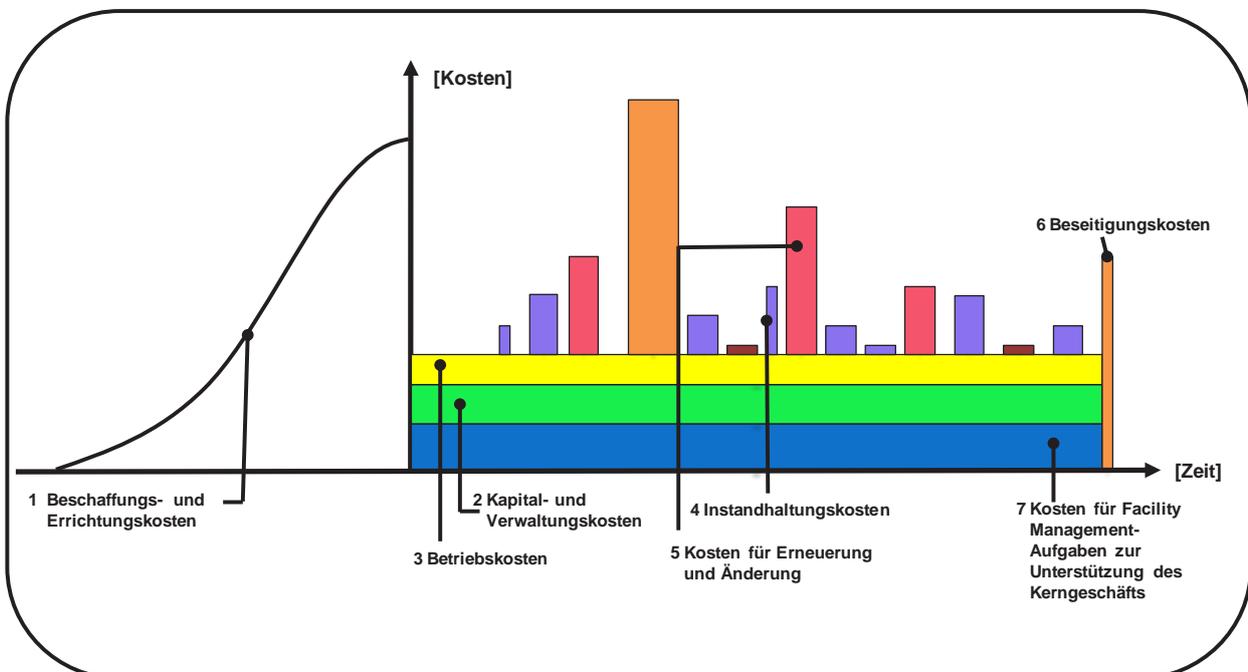


Abb. C18: Lebenszykluskosten gemäß NS 3454 von 2002 [Herz 05]

Die deutschen Normen DIN 276 und DIN 18960 schlüsseln zwar die Kosten über den Lebenszyklus hinweg auf, jedoch ohne Erfassung der Kosten für Bewirtschaftung und Unterstützung des Kerngeschäfts. Die DIN 276 umfasst insbesondere:

- Kosten für den Umbau, Umnutzung und Erneuerung
- Kosten für die Gebäudeerstellung
- Kosten für Sanierung und Revitalisierungsmaßnahmen
- Beseitigungskosten

DIN 18960 hingegen erfasst die laufenden Kosten eines Gebäudes, die dadurch entstehen, dass das Gebäude regelmäßig genutzt wird. Welche Kosten im Hochbau von der DIN 276 und 18960 genau untergliedert werden, zeigt Tabelle 6.

DIN 276 (1993) Kosten im Hochbau	DIN 18960 (1999) Nutzungskosten im Hochbau
Grundstück	Kapitalkosten
Herrichten und Erschließen	Verwaltungskosten
Bauwerk – Baukonstruktion	Betriebskosten
Bauwerk – Technische Anlagen	Instandsetzungskosten
Außenanlagen	
Ausstattung und Kunstwerke	
Baunebenkosten	

Tab. C6: Kosten im Hochbau

Nicht jede Norm verwendet den Kostenbegriff identisch. Daher sind im Sinne einer ganzheitlichen und vor allem einheitlichen Betrachtung die Begrifflichkeiten zu klären. Die DIN 276 verwendet den Kostenbegriff, wenn es sich um Ausgaben und Preise handelt. Der Begriff der Nutzungskosten gemäß der DIN 18960 wird hingegen im Sinne des klassischen betriebswirtschaftlichen Kostenbegriffs verwendet. [Herz 05] Der sogenannte wertmäßige Kostenbegriff bezeichnet einen leistungsbezogenen und bewerteten Ressourcenverbrauch, um eine Leistung zu erzeugen. [Möll 96] In der betriebswirtschaftlichen Terminologie und im Sinne des vorliegenden Projekts sind unter Ausgaben Bauleistungen zu verstehen, die entgeltlich sind. Beispiele hierfür sind Aufwendungen, die bei Planung und Ausführung von Bautätigkeiten anfallen. Ausgaben im Sinne des Bauherrn sind die Preisvorstellungen des Auftraggebers als Gegenleistung für den Bau des Gebäudes. Eigentlich müsste im Zusammenhang mit Lebenszykluskosten gleichzeitig von Lebenszyklusauszahlungen gesprochen werden. [Günt 97] Dies wird jedoch im Folgenden vermieden, damit einheitliche Begriffe verwendet werden.

#### 4.4.1 Betriebskosten

An dieser Stelle soll die durchschnittliche Betriebskostenstruktur in einem Industriebau analysiert werden. Es ist grundsätzlich schwierig solch eine Kostenstruktur allgemeingültig aufzuführen, denn auf jeden Betrieb wirken verschiedene Einfluss- und Umfeldfaktoren. Allein durch das verwendete Baumaterial fallen unterschiedliche Betriebskosten an. Beispielsweise sind in stahlverarbeitenden Industriebetrieben deutlich höhere Betriebskosten, vor allem bedingt durch Energie- und Instandhaltungskosten, festzustellen. In einer Chip-Fabrik fallen vergleichsweise niedrige Betriebskosten an.

Exemplarisch soll Tabelle 7 eine Betriebskostenstruktur in einem Industriebetrieb aufzeigen. Der Vorteil einer solchen Aufgliederung ist die Möglichkeit auf den ersten Blick die Kosten identifizieren zu können, die Einsparpotenziale bieten.

Verbrauch	Technische Dienstleistungen	Infrastrukturelle Dienstleistungen	Kaufmännische Dienstleistungen	Sonstige
10-15 %	25-30 %	30-35 %	5-10 %	10-20 %
- Strom - Gas - Öl - Wasser - Druckluft - Dampf - ....	- HKL-Anlagen - Kälteanlagen - Sanitäranlagen - MSR-Technik - Elektrotechnik - Sicherheitstechnik - ....	- Reinigung - Catering - Bewachung - Fuhrpark - Büroservice - Winterdienste - ....	- Abrechnung - Finanzierung - Objektbuchhaltung - Flächenmanagement - ....	- Abschreibung - Zinsen - Leasingraten - Miete - Steuern - ....

Tab. C7: Durchschnittliche Betriebskostenstruktur in einem Industriebetrieb [Grab 01]

Auffällig ist, dass zusammen mit den Kosten für technische Dienstleistungen, Servicekosten wie Reinigung, Bewachung und Fuhrpark den Großteil der Betriebskosten ausmachen. Weiterhin fallen diese Kosten im Betrieb an und es bedarf geeigneter Strategien, um diese zu senken.

## C5 Verzeichnisse

### Literaturverzeichnis

- [Abel 06] Abele, E.; Dervisopoulos, M.; Kreis, M.: Beeinflussbarkeit von Lebenszykluskosten durch Wissensaustausch. Produzieren mit Blick auf die Lebenszykluskosten; in: wt Werkstatt-technik online Jahrgang 96 H. 7/8, 2006.
- [Abel 09] Abele, E.; Dervisopoulos, M.; Kuhrke, B.: Bedeutung und Anwendung von Lebenszyklusanalysen bei Werkzeugmaschinen. In: Schweiger, S.: Lebenszykluskosten optimieren. Paradigmenwechsel für Anbieter und Nutzer von Investitionsgütern. Wiesbaden, Gabler Verlag 2009.
- [Bark 82] Barksdale, H.C.; Harris, C.E.: Portfolio Analysis and the Product Life Cycle, in: Long Range Planning, 15 Jahrgang, Heft 6, 1982.
- [Bone 94] Bone-Winkel S.: Das strategische Management von offenen Immobilienfonds, Immobilien Informationsverlag Rudolf Müller, Köln 1994.
- [Bünt 06] Bünting, F.: VDMA-Einheitsblatt 34160 Prognose der Lebenszykluskosten, VDMA-Info-Tag, Frankfurt 2006.
- [Bünt 09] Bünting, F.: Lebenszykluskostenbetrachtungen bei Investitionsgütern. In Lebenszykluskosten optimieren. Paradigmenwechsel für Anbieter und Nutzer von Investitionsgütern. Wiesbaden, Gabler Verlag 2009.
- [Brau 96] Braun, H. P.; Oesterle, E.; Haller, P.: Facility Management – Erfolg in der Immobilienwirtschaft, Berlin Heidelberg New York 1996.
- [Breit 00] Breitenstein, K. O.: Referenzmodell zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit bei der Variantenauswahl in der Planungsphase von Immobilien unter Berücksichtigung des Lebenszyklus am Beispiel von Flachdachkonstruktionen, Dissertation an der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Universität Leipzig, Leipzig 2000.
- [Dean 50] Dean, J.: Pricing Policies for New products, in: Harvard Business Review, Jahrgang 28, Nr.6, 1950.
- [Dena 10] Deutsche Energie Agentur, online im Internet am 29.12.2009: <http://www.industrieenergieeffizienz.de/tools/lebenszykluskosten-rechner.html>.
- [Djah 08] Djahanschah, S.: Einfluss früher Planungsphasen auf den Lebenszyklus von Gebäuden. FM-Symposium Industriebau, Osnabrück 2008. Online im Internet: <http://www.ilm-forum.com/data/pdfs/ilm-forum.com/planungsphasen%20und%201227533813.pdf>.
- [Dobe 00] Dobbernigg, S.: Lebenszyklus Gebäude – Life Cycle Costing für Bauprojekte. Master Thesis, Technikum Joanneum GmbH, Graz 2000.
- [Econ 99] The Economist: Could it happen again? Online im Internet: URL: [http://www.economist.com/world/displaystory.cfm?story\\_id=E1\\_TRGGDD](http://www.economist.com/world/displaystory.cfm?story_id=E1_TRGGDD). Stand: 18.02.1999.

- [Fröh 90] Fröhling, O.; Spilker, D.: Life Cycle Costing. In io Management Zeitschrift, Heft 10, Jahrgang 1990.
- [Galo 01] Galonska, J.: Der strategische Ansatz des Facility Managements, in Galonska, J.; Erbslöh, F. D.: Facility Management: Praxishandbuch für integriertes Immobilienmanagement, Köln 2001.
- [Goog 09] Google Maps: Firma Meteor. Online im Internet: URL: <http://maps.google.de/maps>. Stand 19.06.09.
- [Grab 01] Grabatin, G.: Betriebswirtschaft für Facility Management, Wuppertal 2001.
- [Günt 97] Günther, T.: Life Cycle Costing. WISU Das Wirtschaftsstudium, 10/1997.
- [Herr 10] Herrmann, C.: Ganzheitliches Life Cycle Management. Nachhaltigkeit und Lebenszyklusorientierung in Unternehmen, Springer Verlag, Berlin 2010.
- [Herz 05] Herzog, K.: Lebenszykluskosten von Baukonstruktionen. Entwicklung eines Modells und einer Softwarekomponente zur ökonomischen Analyse und Nachhaltigkeitsbeurteilung von Gebäuden. Dissertation an der TU Darmstadt, Eigenverlag, Darmstadt 2005.
- [Homa 98] Homann K.: Bau-Projektmanagement, in Schulte, K.-W. (Hrsg.): Immobilienökonomie, Oldenbourg, München 1998.
- [Isen 99] Isenhöfer, B.: Strategisches Management von Projektentwicklungsunternehmen, Köln 1999.
- [Köll 09] Köllner, T.; Wieser, R.; Striefler, M.: Betrachtung zu Life-Cycle-Costing bei Werkzeugmaschinen aus der Sicht eines Automobilzulieferers. In: Schweiger, S.: Lebenszykluskosten optimieren. Paradigmenwechsel für Anbieter und Nutzer von Investitionsgütern. Wiesbaden, Gabler Verlag 2009.
- [BVBW 01] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Eigenverlag 2001.
- [Lieb 02] Liebchen, J.: Die Umsetzung marktspezifischer Zielanforderungen mit einer differenzierten Kostenplanung für die Projektentwicklung von Immobilien. Dissertation Berlin 2002.
- [Menk 79] Menkhoff et. al.: Menkhoff, H. et. al.: Baustoffe und Bauunterhaltungskosten – Wirtschaftlich günstige Relationen von Herstellungs- und Unterhaltungskosten der Gebäude. Schriftenreihe „Bau- und Wohnungsforschung“ des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn 1979.
- [Möll 96] Möller, D.-A.: Planungs- und Bauökonomie – Band 1: Grundlagen der wirtschaftlichen Planung. München, Oldenbourg Verlag, Wien 1996.
- [Nävy 06] Nävy, J.: Facility Management. 4. aktualisierte und ergänzte Auflage. Springer Verlag, Berlin 2006.
- [Patt 59] Patton, J.D.; Feldmann, H.C.: Service Parts Handbook, New York 1959.

# Schlussbericht **Planungsleitfaden Zukunft Industriebau**

Forschung an der Technischen Universität Braunschweig

- [Pfei 81] Pfeiffer, W.; Bischof, P.: Produktlebenszyklen – Instrument jeder strategischen Produktplanung, in: Planung und Kontrolle, hrsg. V. Steinmann, H., München 1981.
- [Pfei 92] Pfeiffer, W. u.a.; Variantenkostenrechnung, in: Handbuch Kostenrechnung, herausgegeben von Männel, W., Wiesbaden 1992.
- [Pfnü 02] Pfnür, A.: Modernes Immobilienmanagement, Springer Verlag Berlin, Heidelberg 2002.
- [Pris 01] Prischl, P. C.: eBusiness und Facility Management, Vortrag im Rahmen des Kongresses eBusiness in der Immobilienwirtschaft, Köln 2001.
- [Sche 04] Schenk, M.; Wirth, S.: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Methoden für die wandlungsfähige und vernetzte Fabrik. Springer Verlag, Berlin 2004.
- [Schu 85] Schub & Stark (1985): Schub, A., Stark, K.: Life Cycle Cost von Bauobjekten – Methode zur Planung von Erst- und Folgekosten. Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1985.
- [Schu 01] Schulze, M.: Die Kosten lebenslang im Griff, in Immobilien Manager 5-2001.
- [SIA 95] SIA D 0123 (1995): Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten. Schweizer Ingenieur – und Architekten-Verein, Zürich 1995.
- [Uhl 02] Uhl, H.: Mehrdimensionale Optimierung der lifecycle costs von komplexen (Industrie-) Anlagen und Systemen unter Beachtung von Wissensmanagement-Ansätzen. Dissertation, Universität Essen, 2002.
- [VDI 05] VDI Richtlinie 2884 Dezember 2005: Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life-Cycle-Costing, Düsseldorf 2005.
- [VDI 09] VDI Richtlinie 5200 Januar 2009: Fabrikplanung – Planungsvorgehen. Düsseldorf 2009.
- [VDMA 07] VERBAND DEUTSCHER MASCHINEN- UND ANLAGENBAU (VDMA): VDMA 34160: Prognosemodell für die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen, Berlin 2007.
- [Wirt 10] Wirtschaftslexikon 24, online im Internet am 10.11.2009: <http://www.wirtschaftslexikon24.net/d/gebrauchswert/gebrauchswert.htm>.
- [Wübb 92] Wübbenhorst, K.: Lebenszykluskosten, in: Effektives Kostenmanagement Methoden und Implementierung, herausgegeben v. Schulte, C., Stuttgart 1992.
- [Zehb 96] Zehbold, C.: Lebenszykluskostenrechnung. Gabler Verlag, Wiesbaden 1996. Zugleich Erlangen, Nürnberg, Univ. Diss. 1995.

### Abbildungsverzeichnis

Abb. A1: Marktlebenszyklus, in Anlehnung an [Wöhe 96]	8
Abb. C2: Integriertes Lebenszykluskonzept [Pfei 81]	10
Abb. C3: Betriebskostenverlauf zur Bewertung von Investitionsalternativen [Köll 09]	13
Abb. C4: Kostenarten der Entstehungsphasen nach [VDMA 07]	18
Abb. C5: Kostenarten der Betriebsphase nach [VDMA 07]	18
Abb. C6: Kostenarten der Verwertungsphase nach [VDMA 07]	19
Abb. C7: Aufteilung der Lebenszykluskosten einer WZM, aus [Abel 09]	19
Abb. C8: MTBF Werte gleicher Maschinen bei unterschiedlichen Anwendern, aus [Abel 09]	21
Abb. C9: Felddatenanalyse der Ausfallursachen einer Werkzeugmaschine [Abel 09]	21
Abb. C10: Detaillierung der Lebenszyklusphasen eines Industriebaus, in Anlehnung an [Isen 99]	28
Abb. C11: Planungsebenen der Fabrikplanung, in Anlehnung an [VDI 09]	32
Abb. C12: Vergleich Lebenszyklus Produkt und Arbeitsplatz/Segment [IFU/IKE/IBK]	33
Abb. C13: Altersstruktur im Industriebau	34
Abb. C14: Lebenszyklus Gebäude am Beispiel eines Automobilzulieferers [Goog 09]	35
Abb. C15: Vergleich Lebenszyklus Arbeitsplatz/Segment und Gebäude [IFU/IKE/IBK]	36
Abb. C16: Lebenszyklus Gebäude und mögliche Szenarien [IFU/IKE/IBK]	37
Abb. C17: Planungshorizont für die Industrieplanung	38
Abb. C18: Lebenszykluskosten gemäß NS 3454 von 2002 [Herz 05]	39

### Tabellenverzeichnis

Tab. C1: Merkmale der Phasen des idealtypischen Produktlebenszyklus [Zehb 96]	10
Tab. C2: Kostenarten von Maschinen und Anlagen, in Anlehnung an [VDI 05]	17
Tab. C3: Normen und Richtlinien zu Lebenszykluskosten [Abel 09]	23
Tab. C4: Analyse der Nutzungszyklen von Gebäuden aus unterschiedlichen Branchen	26
Tab. C5: Lebenszyklusphasen eines Gebäudes nach Normen und Richtlinien [Herz 05]	27
Tab. C6: Kosten im Hochbau	40
Tab. C7: Durchschnittliche Betriebskostenstruktur in einem Industriebetrieb [Grab 01]	41