

---

# Konstruktionswissen für Ingenieure

---

Sven Matthiesen · Patric Graubeger  
(Hrsg.)

# Konstruktionswissen für Ingenieure

Innovative Produkte zielgerichtet  
entwickeln

 Springer Vieweg

*Hrsg.*

Sven Matthiesen   
IPEK – Institut für Produktentwicklung  
Karlsruher Institut für Technologie  
Karlsruhe, Deutschland

Patric Grauberger   
IPEK – Institut für Produktentwicklung  
Karlsruher Institut für Technologie  
Karlsruhe, Deutschland

ISBN 978-3-662-68985-1      ISBN 978-3-662-68986-8 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-68986-8>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2024, korrigierte Publikation 2024

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Titelfoto: © zweiband.de Gestaltung: zweiband.de

Planung/Lektorat: Alexander Grün

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Wenn Sie dieses Produkt entsorgen, geben Sie das Papier bitte zum Recycling.

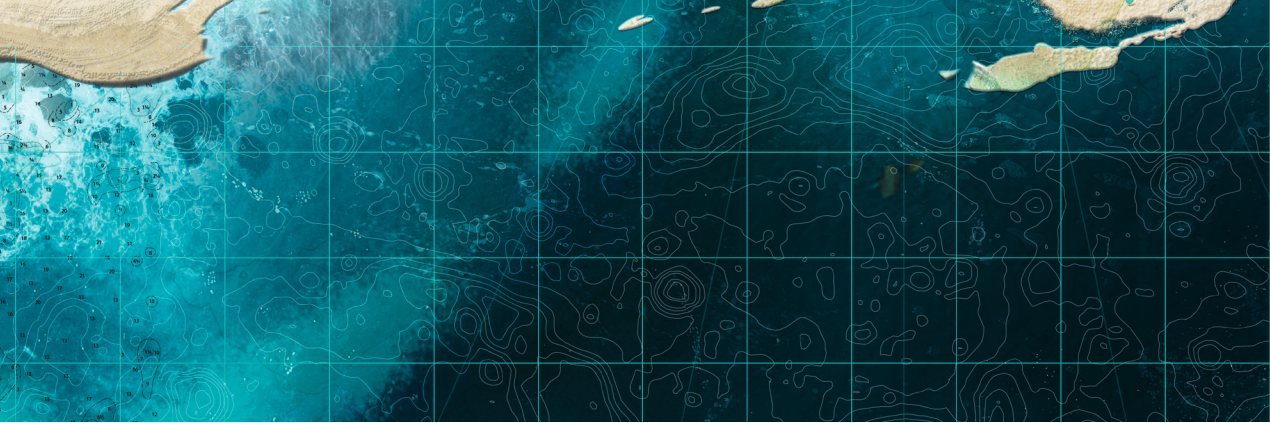
An aerial photograph of a sailboat with a dark blue sail and a white hull, sailing on a deep blue ocean. The water's surface is covered with a grid of light blue lines, and there are faint, concentric white circles scattered across the grid, resembling a technical drawing or a map. The sailboat is positioned in the upper right quadrant of the image, moving towards the bottom left.

## GELEITWORT

*Prof. Dr. h.c. Dr. h.c. Dr.-Ing. Herbert Birkhofer  
Prof. Dr.-Ing. Klaus Ehrlenspiel*

**Da schreiben zwei Autoren ein Buch über Konstruktionswissen, wo sich doch seit 60 Jahren eine moderne Konstruktionswissenschaft entwickelt und einen riesigen Fundus an Wissen zum Entwickeln und Konstruieren erarbeitet hat. Was kann da noch wissenschaftlich neu sein? Und was bringt diese Arbeit für die Konstruktionspraxis?**

Es geht in diesem Buch um Wissen, das notwendig, aber nicht verfügbar ist, um erfolgreiche Produkte zu entwickeln. Zwar ist eine Fülle an Wissen in Dokumenten, Datenbanken und im Internet und als Erfahrungsschatz in den Köpfen der Entwickler und Konstrukteure verfügbar, aber vielfach treten beim Entwickeln und Konstruieren Probleme auf, zu deren Lösung kein Wissen verfügbar ist. Warum sägt der Prototyp unserer Stichsäge nicht rechtwinklig zur Plattenoberfläche? Wieso löst sich unser neu entworfener Verbundanker für Mauerwerk und Beton schon bei Belastungen unterhalb der geforderten Haltekräfte? Wo wir doch alles genauestens überlegt und abgeklärt haben? Grund dafür ist vor allem das hohe Maß an Unsicherheit bei vielen Entscheidungen über konstruktive Sachverhalte, die getroffen werden müssen, ohne dass es dafür eine Norm, eine Datenbank, ein Expertenwissen gibt. Die Folge sind aufwändige Iterationen und nicht selten Fehlschläge oder Sackgassen im Entwicklungsfortschritt. Genau an dieser Problematik setzen die Autoren an. Wie kann man methodisch vorgehen, um dieses nicht verfügbare Wissen dann zu erarbeiten, wenn man es braucht, und wie kann man es gezielt mit einer methodischen Vorgehensweise erarbeiten? Zwei Alleinstellungsmerkmale des vorliegenden Buches fallen dabei gegenüber der bisherigen Forschungsliteratur ganz besonders auf.



Die Autoren konzentrieren sich auf die Beschreibung und Erarbeitung des von ihnen so bezeichneten „Konstruktionswissens“, das angibt, wie eine Bauteilgestalt so ausgeführt werden kann, dass sie die funktionellen Anforderungen voll erfüllt. Damit spricht ihr Buch direkt das Gestalten als Kern-tätigkeit des Konstruierens in der späten Phase des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses an, also einen Bereich, der bisher eher Stiefkind der wissenschaftlichen Arbeit war. Zwar gab es in den Anfangsjahren der modernen Konstruktionsmethodik durchaus Forschungsarbeiten zum Gestalten, die sich aber weitgehend auf die Präsentation von Gut-Schlecht-Beispielen und den dabei angewandten Gestaltungsprinzipien beschränkten. Mit dem vorliegenden Buch liegt nun jedoch eine Methodik zum zweckmäßigen Vorgehen beim Bauteil-Gestalten vor, die systematisch die Wechselwirkungen zwischen Gestalt und Funktion im konkreten Anwendungsfall analysiert und daraus ganz gezielt aussichtsreiche Gestaltungsvorschläge ableitet. Damit beschreiten diese Arbeiten nicht nur wissenschaftliches Neuland, sondern sind auch für die Praxis des Konstruierens von Produkten insbesondere für die Serien- und Massenfertigung außerordentlich wichtig.

Ein zweites Highlight des Buches stellt die Methodik des „Testing“ dar, mit der dieses Konstruktionswissen gezielt erarbeitet und die Funktionserfüllung der Gestaltungsmaßnahmen empirisch abgesichert werden kann. Um z. B. eine für die Halte- und Einschraubkräfte optimale Geometrie von Holzschrauben zu ermitteln, kann man natürlich Versuche mit Standard-Holzschrauben durchführen und die Durchführung mit Methoden der Versuchsplanung optimieren. Um aber die Wirkungsweise dieser Verschraubungen wirklich zu verstehen



und daraus die optimale Schraubengeometrie abzuleiten, braucht es geeignete Testing-Objekte und Testing-Umgebungen, die genau diese Zusammenhänge eindeutig abbilden und klar erkennen lassen. So liefert erst die „eckige Holzschraube“ die grundlegenden Erkenntnisse für die Wechselwirkungen zwischen Schraube und Holz und erst dieses Konstruktionswissen ermöglicht die gezielte Gestaltung deutlich leistungsfähigerer Holzschrauben.

Sollte man nach all den Ausführungen ein theoretisch fundiertes, aber doch recht abstrakt formuliertes Methodikbuch erwarten, sieht man sich schon beim ersten Durchblättern wohl-tuend überrascht. Eine Fülle von Beispielen, ausführlich bebildert und gut nachvollziehbar beschrieben, ziehen sich durch die gesamten Ausführungen. Den Autoren ist es gelungen, nicht nur dem Anspruch an ein konstruktionswissenschaftliches Fachbuch Rechnung zu tragen, sondern gleichzeitig auch der Konstruktionspraxis eine verständliche und handhabbare Methodik mit einer Fülle an konkreten Handlungsanweisungen zu geben. Dass der Text auch noch leicht lesbar geschrieben, die Bilder und Tabellen gut zu erkennen und grafisch ansprechend gestaltet sind, trägt zum durchweg positiven Gesamteindruck über dieses Werk bei.

Wir wünschen dem Werk aus Überzeugung die Resonanz in Forschung und Praxis, die seiner Neuheit und Bedeutung für die Produktentwicklung gebührt.

Darmstadt, Tutzing im April 2024

*Prof. Dr. h.c. Dr. h.c. Dr.-Ing. Herbert Birkhofer*

*Prof. Dr.-Ing. Klaus Ehrlenspiel*

## WISSEN IN DER PRODUKTENTWICKLUNG

Wissen unterscheidet sich in diesem Buch nach Verfügbarkeit, Ausprägung, Konfizienz und Übertragbarkeit

➤ Kapitel 1.1

## KONSTRUKTIONSWISSEN

Konstruktionswissen ist Gestalt-Funktion-Zusammenhangswissen. Es führt die Merkmale der Gestalt und ihre Auswirkung auf das funktionale Verhalten zusammen. Dadurch befähigt es zur Entwicklung von Produkten mit gewünschtem funktionalem Verhalten.

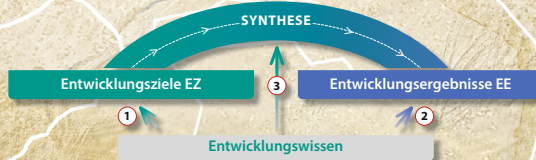
➤ Kapitel 1.3

## ENTWICKLUNGSWISSEN

### 3 Arten von Entwicklungswissen

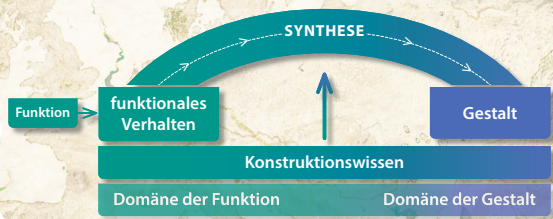
Wir betrachten drei Arten von Entwicklungswissen: Wissen zu den Entwicklungszielen, Wissen zu den Entwicklungsergebnissen und das Wissen zum Zusammenhang von Entwicklungszielen und Entwicklungsergebnissen

➤ Kapitel 1.2



➤ Abbildung 1-9





☑ **Abbildung 1-10**

### **SYNTHESE**

Synthese ist die Anwendung des Konstruktionswissens

☑ **Kapitel 1**

***Verharre nicht in der Analyse, sondern erschaffe Neues und verändere die Welt!***

***Mach Dich mit Deinem Team auf die Suche nach Konstruktionswissen. Es beschreibt die Zusammenhänge und befähigt Dich zur Synthese neuer Produkte.***

## ANALYSE

### Zum Wissensaufbau in der Produktentwicklung

Analyse kann recherchierend, modellbasiert oder empirisch stattfinden

📄 Kapitel 2.1

## TESTING

### Zweck des Testing

In diesem Buch unterscheiden wir Testing nach seinem Zweck in Testing zur Verifikation, Testing zur Validierung und Testing zum Zusammenhang von Entwicklungszielen und -ergebnissen

📄 Kapitel 2.1.4

## TESTING ZUM KONSTRUKTIONSWISSEN

Teil des Testing zum Zusammenhang von Entwicklungszielen und -ergebnissen.

Beinhaltet Betrieb, Beobachtung und Bewertung eines Testing-Objekts in einer Testing-Umgebung und lässt Rückschlüsse auf Zusammenhänge zwischen Gestaltmerkmalen und funktionalem Verhalten zu.

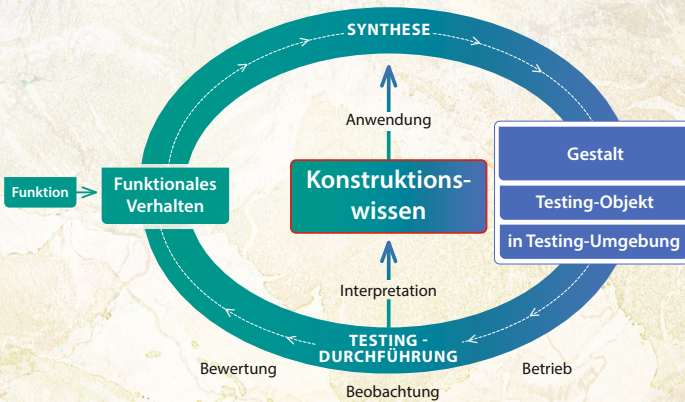
📄 S.18



## TESTING ZUM KONSTRUKTIONSWISSEN

*Testing-Strategien* sind Vorgehensweisen, die eine erfolgreiche Durchführung von Testing-Aktivitäten mit dem Ziel des Aufbaus von Konstruktionswissen unterstützen

📄 [Kapitel 3](#)



📄 [Kapitel 2.3](#)

*Testing-Objekte* sind die im Testing betriebenen, beobachteten und bewerteten technischen Systeme

📄 [Kapitel 4](#)

*Testing-Umgebungen* sind die Umgebungen, in denen Testing-Objekte betrieben, beobachtet und bewertet werden

📄 [Kapitel 5](#)

*Testing-Interpretation* erzeugt das Konstruktionswissen aus der Durchführung des Testing (Betrieb, Beobachtung und Bewertung des Testing-Objekts in der Testing-Umgebung)

📄 [Kapitel 6](#)

## KONSTRUKTIONSWISSEN FÜR INGENIEURE

### Kurzfassung

Wenn neue Wege in der Produktentwicklung beschrritten werden, entsteht ein Prozess herausfordernder Wissensarbeit. Ingenieurinnen und Ingenieure erarbeiten während der Produktentwicklung im Team Wissen. Wie gut das gelingt, entscheidet über Projekterfolg und -kosten, Entwicklungsdauer und letztlich darüber, ob eine Erfindung auch zu einem erfolgreichen Produkt wird.

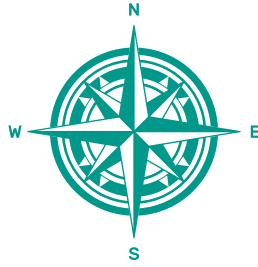
Ein essentieller und schwierig zu erarbeitender Teil dieses Wissens ist das Konstruktionswissen. Es beschreibt Zusammenhänge von Funktion und Gestalt und befähigt dazu, Produkte mit großem Innovationspotential zu entwickeln.

Dieses Buch stellt erstmalig die „**Methodik des Konstruktionswissens**“ vor und beschreibt, wie **Konstruktionswissen** zielführend, schlank und sicher während der Produktentwicklung aufgebaut wird.

Dazu gehen wir zunächst auf die Bedeutung des Wissens für technische Innovationen ein und schaffen ein Verständnis dafür, wie bestehendes und neu entstehendes Wissen zusammenfließen können.

Wir veranschaulichen, wie spezifisches Konstruktionswissen erarbeitet wird, das für die Umsetzung von funktionalen Zielen in innovative Produkte unerlässlich ist. Der Schwerpunkt liegt auf der Synthese dieses Wissens durch Testing.

Praktische Strategien und Techniken für den Aufbau von Konstruktionswissen durch den Betrieb, die Beobachtung und die Bewertung von Prototypen und weiteren Testing-Objekten werden vorgestellt. Außerdem beschreiben wir, was bei der Durchführung des Testing und der Testing-Interpretation beachtet werden muss. Mit anschaulichen Beispielen aus Entwicklungspraxis und Wissenschaft werden die Inhalte verständlich erläutert.



## **DANKSAGUNG**

An diesem Buch haben viele Menschen mitgewirkt. Zuallererst danken wir unseren wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die entweder als Autorinnen und Autoren in den Kapiteln mitgewirkt haben oder das Buch inhaltlich durch ihre Forschungsarbeiten möglich gemacht haben. Wir danken unserem Lektor Michael Bukowski, der aus einem technischen Text einen angenehm lesbaren gemacht hat, und der Grafikagentur zweiband, insbesondere Herrn Daniel Bauer, der unsere Bilder überarbeitet und in ein Rahmenwerk eingebunden hat.

## VORWORT

Haben Sie so etwas auch schon mal erlebt?

Das Küchenmesser, das eine Tomate besser schneidet und gleichzeitig länger scharf bleibt, als alle anderen Küchenmesser? Die vibrationsärmste Stichsäge, die müheloser geradeaus sägt und beim Kurvenschnitt den rechten Winkel zur Brettoberfläche am präzisesten hält? Das Mountainbike, das unter Last die Gänge geschmeidiger und präziser schaltet als jedes andere Fahrrad?

All diese Produkte haben eine Gemeinsamkeit:

**Sie funktionieren besonders gut.**

Ingenieurinnen und Ingenieure „konstruieren“ diese Funktionen mit der entsprechenden Qualität in die Produkte hinein. Dabei erdenken sie das Produkt so, dass es nicht nur seine Funktionen erfüllt, sondern beispielsweise auch kostengerecht hergestellt werden kann. Wenn das gelingt, dann hat das Produkt im Betrieb ein funktionales Verhalten, das uns bei unseren Lieblingsprodukten begeistert.

Halten Konstruktionsingenieurinnen und -ingenieure ihr selbst erdachtes Produkt am Ende der Produktentwicklung in den Händen und erleben die Begeisterung der Kundinnen und Kunden, dann ist das ein emotionaler und zutiefst befriedigender Moment. Ich hatte als Konstruktionsingenieur in solchen Momenten meine höchsten beruflichen Hochs. Funktionierte das Produkt allerdings nicht wie vorgedacht – schlimmstenfalls sogar beim Kunden –, erlebte ich umgekehrt die tiefsten Tiefs.

Ein Produkt so vorzudenken und zu gestalten, dass es wie gewünscht funktioniert, ist schwierig! Oft gelingt es nicht oder erst nach erheblichen zeitlichen und finanziellen Aufwänden.

Warum ist das so?

Für mich gibt es dafür zwei wesentliche Gründe:

1. Konstruieren lässt sich nur die Gestalt der Produkte, das funktionale Verhalten ergibt sich erst und kann nicht direkt konstruiert werden.

Denn das funktionale Verhalten ist ein Resultat aus Merkmalen und Eigenschaften des Produkts in Wechselwirkung mit der Umwelt, in der es betrieben wird. Merkmale des Produkts werden vom Entwickelnden in der Hoffnung festgelegt, dass sich die gewünschten Funktionen indirekt ergeben. Sicherheit darüber, ob er oder sie „richtiglag“, ergibt sich erst mit dem Wissen, das während des Entwicklungsprozesses entsteht.

**Ohne Wissen zum Zusammenhang zwischen Merkmalen und Funktion ist zielgerichtetes Konstruieren unmöglich.**

2. Produkte erfüllen ihre Funktion in Wechselwirkung mit ihrer Umwelt. Diese Wechselwirkungen sind schwierig vorauszudenken und oft nur statistisch beschreibbar.

Die Schnittqualität des Küchenmessers hängt auch von der Tomate ab, die Eigenschaften der Mountainbike-Gangschaltung werden sowohl vom Fahrer als auch der Beschaffenheit des Untergrunds beeinflusst, der Sägeschnitt der Stichsäge wird außer vom Anwender auch durch Wechselwirkung zwischen Sägeblatt und Holzstruktur des zu sägenden Brettes beeinflusst.

Die Umgebungssysteme beeinflussen die Qualität der Funktionserfüllung – also das Maß, wie gut ein Produkt funktioniert – liegen allerdings außerhalb des Gestaltungsraums. Sie können praktisch nicht beeinflusst werden, müssen in ihrer oft streuenden, teilweise unbekanntem Wirkung auf die Funktion aber berücksichtigt werden.

**Ohne Wissen über die Wechselwirkungen der Umgebungssysteme auf das zu entwickelnde System ist zielgerichtetes Konstruieren unmöglich.**

Um diese beiden Schwierigkeiten zu überwinden, ist spezifisches Wissen notwendig. Es wird **Konstruktionswissen** genannt. Dieses Konstruktionswissen kann in erfahrenen Teams zum Teil verfügbar sein, muss aber in weiten Teilen während der Entwicklung erarbeitet werden. Vor allem, wenn innovative Produkte entstehen, die „neue Wege“ gehen und neue Technologien nutzen, kann es dieses Wissen noch gar nicht geben. Die Herausforderung liegt darin, das notwendige Konstruktionswissen zu erarbeiten.

Kompetente Ingenieurinnen und Ingenieure beherrschen diesen Aufbau von spezifischem Konstruktionswissen gut und im Laufe ihres Berufslebens immer besser. Das ist gut!

Schlecht ist, dass das zielgerichtete Vorgehen zum Aufbau von Konstruktionswissen weder in der Wissenschaft noch in den Unternehmen explizit beschrieben wird.

Durch dieses Defizit kann das Vorgehen nur erfahrungsbasiert und langwierig gelernt werden. Und bei besonders herausfordernden Fragestellungen zum Konstruktionswissen fehlt es an Orientierungsmöglichkeit und Hilfestellung.

Hierbei soll Sie dieses Buch unterstützen, indem es die methodische Entwicklung des Konstruktionswissens beschreibt.

Das Buch richtet sich an alle Ingenieurinnen und Ingenieure, die innovative, gut funktionierende Produkte entwickeln wollen und das dazu notwendige Konstruktionswissen zielgerichtet aufbauen müssen. Es soll eine Methodik zum Wissensaufbau bereitstellen und Ihnen unter die Arme greifen, wenn Sie mal nicht mehr weiterwissen.

Ich hoffe, die Methodik des Konstruktionswissens hilft Ihnen, auf dem Weg durch Ihr Berufsleben möglichst viele innovative Produkte in den Händen zu halten und die Hochs zu erleben, wenn Ihre Kundinnen und Kunden von Ihrem Produkt begeistert sind!

*Karlsruhe im März 2024*

*Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen*



# WAS BEINHALTET DIESES BUCH?

*Sven Matthiesen, Patric Grauberger, Christoph Zimmerer*

Um ein besonders gut funktionierendes Produkt zu entwickeln, ist spezielles Wissen – **das Konstruktionswissen** – notwendig. Wie es sich methodisch aufbauen lässt, darum geht es in diesem Buch.

Zwei allgemein bekannte und im Projektmanagement berücksichtigte Fragestellungen der Analyse

📍 **Definition des Testing nach IEEE-Std-610.12-1990**

Während der Entwicklung technischer Produkte sind erschaffende Phasen der **Synthese** mit untersuchenden Phasen der **Analyse** untrennbar verknüpft.

Spezifisches Wissen muss während der Entwicklung parallel mit dem Produkt in Phasen der Analyse erarbeitet werden.

Für den Wissensaufbau spielt die Art und Weise, wann, wie und was ich analysiere, eine entscheidende Rolle.

**Die Analyse** in der Produktentwicklung kann drei Fragestellungen beantworten. Davon sind zwei allgemein bekannt und im Projektmanagement berücksichtigt:

1. **Wurde das richtige Produkt entwickelt? – Validierung**
2. **Wurde das Produkt richtig entwickelt? – Verifikation**

Verifikation und Validierung haben einen **überprüfenden** Charakter und beantworten geschlossene Fragestellungen mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten (häufig ja/nein). Alle diese Fragestellungen können häufig nur durch empirische Analysen beantwortet werden.

**Empirische Analyse** wird in diesem Buch als **Testing** bezeichnet. Dieses Testing nimmt häufig große Teile der Projektressourcen in Entwicklungsprojekten in Anspruch (Tahera et al. 2018). Um die zwei oben genannten Fragestellungen zu beantworten, ist Testing zur Validierung bzw. Testing zur Verifikation notwendig. Testing ist ursprünglich ein englischer Begriff, der mangels Bedeutungsäquivalenz auch in der deutschen Sprache geläufig ist. Testing stammt ursprünglich aus dem Software-Engineering und wird nach IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) wie folgt definiert:

**Testing** ist „der Prozess des Betriebs eines Systems oder einer Komponente unter bestimmten Bedingungen, Beobachtung oder Aufzeichnung der Ergebnisse und eine Bewertung eines bestimmten Aspekts des Systems oder der Komponente.“ (IEEE-Std-610.12-1990)

Neben den beiden Fragestellungen zu Verifikation und Validierung gibt es eine **dritte Fragestellung**, die ebenfalls durch Testing adressiert wird:

### 3. Wie kann ich das zur Entwicklung notwendige Konstruktionswissen aufbauen?



Abbildung 1: Wie kann ich Konstruktionswissen aufbauen?

© Karlsruher Institut für Technologie (KIT) 2024. All Rights Reserved.

Beim Testing zum Konstruktionswissen entsteht Wissen zum Zusammenhang von Funktion und Gestalt eines Produkts. Durch diese Art des Testing werden offene Fragestellungen

### 📍 Definition Testing zum Konstruktions- wissen

Testing-Objekte, die dem zu entwickelnden Produkt entsprechen, werden im Folgenden als Prototypen bezeichnet. Aber nicht jedes Testing-Objekt ist ein Prototyp – häufig kann es sinnvoll sein, spezielle Testing-Objekte zu nutzen, die wenig mit dem späteren Produkt zu tun haben.

dazu untersucht, welche Merkmale und Eigenschaften des Produkts welchen Einfluss auf seine Funktionen haben. Dabei handelt es sich um eine notwendige Voraussetzung für die erfolgreiche Synthese eines Produkts, das seinen gewünschten Zweck erfüllt. Diese offenen Fragestellungen werden über das Testing zum Konstruktionswissen beantwortet. Aufgrund schwieriger Planbarkeit – das Konstruktionswissen ist abhängig von den entstehenden Produktlösungen – lässt sich **Testing zum Konstruktionswissen** im übergeordneten Projektmanagement zeitlich nicht exakt einplanen.

**Testing** zum Konstruktionswissen beinhaltet den **Betrieb** des Testing-Objekts in der Testing-Umgebung, die **Beobachtung** des funktionalen Verhaltens und die **Bewertung** durch Vergleich mit dem gewünschten funktionalen Verhalten. Es kann zu den Zielen „Erkunden“, „Eingrenzen“ und „Prüfen“ durchgeführt werden.

Im Testing zum Konstruktionswissen werden vom Menschen geschaffene Objekte, sogenannte **Testing-Objekte**, unter kontrollierten Bedingungen betrieben, beobachtet und bewertet. Durch die Interpretation der Beobachtungen können wir das Konstruktionswissen für die Entwicklung erarbeiten. Das **Testing-Objekt** kann dabei entweder dem zu entwickelnden Produkt entsprechen oder eigens für das Testing zum Konstruktionswissen entwickelt werden.

Dieses Buch führt in die **Methodik des Konstruktionswissens** ein, indem es darlegt, wie das zur erfolgreichen Produktsynthese notwendige Konstruktionswissen aufgebaut wird. Es werden Strategien und in diese eingebettete Methoden für die Konzeption, Durchführung und Interpretation von Testing zum Konstruktionswissen bereitgestellt.

Die dargestellten Strategien und Methoden illustrieren wir anhand von Beispielen aus der Forschungs- und Entwicklungspraxis. Auf diese Weise soll dieses Buch Studierende der Ingenieurwissenschaften aller Fachsemester sowie Ingenieurinnen und Ingenieure in der Praxis unterstützen. Zusätzlich kann es Dozierenden als Grundlage für die Lehre dienen.

Im Folgenden gehen wir zuerst auf das **Wissen in der Produktentwicklung** als Grundlage des Testing (Kapitel 1) ein. Hierzu werden zunächst in der Produktentwicklung relevante Arten von Wissen beschrieben. Der Schwerpunkt liegt in diesem Kapitel auf dem Konstruktionswissen und den in ihm bestehenden Lücken, die es im Entwicklungsprozess zu schließen gilt.

Anschließend zeigen wir den **Prozess des Wissensaufbaus** und die Rolle von empirischem Aufbau von Konstruktionswissen durch Testing der Produktentwicklung auf (Kapitel 2).

Darauf aufbauend werden **Testing-Strategien** (Kapitel 3) diskutiert, die eine Orientierung für mögliche Vorgehensweisen in Bezug auf verschiedene Ausgangssituationen und Zielsetzungen geben.

In Kapitel 4 stellen wir das **Testing-Objekt** und Möglichkeiten zu seinem Aufbau vor. Kapitel 5 beschreibt die **Testing-Umgebung**, in der das Testing-Objekt betrieben, beobachtet und bewertet wird.

Kapitel 6 widmet sich der **Durchführung und Interpretation** des Testing zum Konstruktionswissen. Alle in diesen Kapiteln beschriebenen Methoden werden mit Beispielen erläutert.

<b>1 Wissen in der Produktentwicklung – Grundlagen</b>	<b>1</b>
1.1 Arten von Wissen in der Produktentwicklung	3
1.2 Entwicklungswissen – Gleichzeitig Notwendigkeit für und Ergebnis der Produktentwicklung	12
1.3 Konstruktionswissen in der Produktentwicklung	16
1.3.1 Technische Innovationen – nur auf Grundlage von Konstruktionswissen	16
1.3.2 Domänen des Konstruktionswissens	19
1.3.3 Konstruktionswissen – und wie es sich beschreiben lässt	25
1.3.4 Ausprägungsarten von Konstruktionswissen	38
1.3.5 Konstruktionshypothesen zur Erarbeitung und Formulierung von Konstruktionswissen	44
1.3.6 Lücken im Konstruktionswissen	46
<i>Literatur</i>	<b>52</b>
<b>2 Der Prozess des Wissensaufbaus in der Produktentwicklung</b>	<b>57</b>
2.1 Analyse – die Aktivität des Wissensaufbaus	58
2.1.1 Recherchierender Wissensaufbau	59
2.1.2 Modellbasierter Wissensaufbau	59
2.1.3 Empirischer Wissensaufbau	60
2.1.4 Testing als Methode zum Wissensaufbau	62
2.2 Iterativer Wissensaufbau	66
2.2.1 Wissensaufbau in Prozessmodellen	67
2.3 Wissensaufbau zum Schließen der Lücken im Konstruktionswissen	74
2.3.1 Ziel des Testing und damit verbundene Testing-Strategien zum Aufbau von Konstruktionswissen	76
2.3.2 Testing-Objekt und Testing-Umgebung	80
2.3.3 Testing-Durchführung und Testing-Interpretation	81
2.3.4 Iterative Entwicklung von Testing-Objekt und Testing-Umgebung	82
<i>Literatur</i>	<b>83</b>

---

<b>3 Testing-Strategien</b>	<b>85</b>
3.1 „Erkunden“, „Eingrenzen“ und „Prüfen“ – clevere Vorgehensweisen im Testing	86
3.2 Erkunden	89
3.2.1 „Erkundende“ Strategie „Start in the field“	91
3.2.2 „Erkundende“ Strategie „Make it visible“ – überwinde die Beobachtungsbarriere	93
3.2.3 „Erkundende“ Strategie „Utilize existing data“	102
3.2.4 Zusammenfassung zum Testing mit dem Ziel „Erkunden“	104
3.3 „Eingrenzen“	106
3.3.1 „Eingrenzende“ Strategie „Screening“	107
3.3.2 „Eingrenzende“ Strategie „Design knowledge based on automated testing“	112
3.3.3 „Eingrenzende“ Strategie „Reduction“	116
3.3.4 „Eingrenzende“ Strategie „Logical refutation“	120
3.3.5 Zusammenfassung zum Testing mit dem Ziel „Eingrenzen“	122
3.4 „Prüfen“	124
3.4.1 „Prüfende“ Strategie „Fail early, fail cheap“	125
3.4.2 „Prüfende“ Strategie „Show mE, don't tell me“	128
3.4.3 „Prüfende“ Strategie „Load equivalence“	131
3.4.4 „Prüfende“ Strategie „Scaling“	135
3.4.5 Zusammenfassung zum Testing mit dem Ziel „Prüfen“	138
<b>Literatur</b>	<b>140</b>

<b>4 Testing-Objekte – Prototypen, Referenzprodukte und mehr</b>	<b>143</b>
4.1 Entwicklung des Testing-Objekts	147
4.1.1 Festlegung der Ausprägung des Testing-Objekts – physisch, virtuell oder physisch-virtuell gemischt	150
4.1.2 Festlegung des funktionalen Integrationsgrads des Testing-Objekts	153
4.1.3 Festlegung der Wiedergabetreue des Testing-Objekts	155
4.2 Beispiele für Testing-Objekte	157
4.2.1 Hohe Wiedergabetreue, geringe funktionale Integration – Testing-Objekt Eckige Holzschrauben	157
4.2.2 Mittlere Wiedergabetreue, hohe funktionale Integration – Testing-Objekt modifizierter Verbundanker	161
4.2.3 „Erkunden“ im originalen Produkt – Testing-Objekt Griffgeometrien von Akkuschaubern	164
4.2.4 „Eingrenzen“ und „Prüfen“ im abstrahierten Produkt – Testing-Objekt Skalierte Geometrien für Kupplung	166
4.2.5 „Erkunden“, „Eingrenzen“ und „Prüfen“ im virtuellen Produkt – Testing-Objekt Winkelschleifer-Antriebsstrang	170
<i>Literatur</i>	<b>174</b>
<hr/>	
<b>5 Die Testing-Umgebung</b>	<b>177</b>
5.1 Festlegung einer Testing-Umgebung	186
5.1.1 Festlegung der Ausprägung der Testing-Umgebung	188
5.1.2 Funktionaler Integrationsgrad der Testing-Umgebung	190
5.1.3 Wiedergabetreue der Testing-Umgebung	193
5.2 Beispiele für Testing-Umgebungen	197
5.2.1 Niedrige Wiedergabetreue und funktionale Integration – Testing-Umgebung für eckige Holzschrauben	197
5.2.2 Niedrige Wiedergabetreue und hohe funktionale Integration – Testing-Umgebung für Verbundanker	201
5.2.3 „Erkunden“ bei hoher Wiedergabetreue und funktionaler Integration – Testing-Umgebung für Griffgeometrien von Akkuschaubern	204
5.2.4 „Eingrenzen“ und „Prüfen“ im abstrahierten Produkt – Testing-Umgebung für skalierte Kupplungsgeometrien	206
5.2.5 „Erkunden“, „Eingrenzen“ und „Prüfen“ im virtuellen Produkt – Testing-Umgebung Winkelschleifer Antriebsstrang	209
<i>Literatur</i>	<b>211</b>

---

<b>6 Testing-Durchführung und Interpretation</b>	<b>215</b>
6.1 Durchführung des Testing	216
6.1.1 Vor der Durchführung des Testing	219
6.1.2 Während der Durchführung des Testing	222
6.1.3 Nach der Durchführung des Testing	223
6.2 Interpretation des Testing	224
6.2.1 Aufbereitung der Ergebnisse des Testing	226
6.2.2 „Erkundende“ Methoden zur Testing-Interpretation	233
6.2.3 Hypothesenauswahl – „Eingrenzende“ Ansätze zur Testing-Interpretation	245
6.2.4 Hypothesenprüfung – Induktive Ansätze zur Testing-Interpretation	265
<i>Literatur</i>	<b>266</b>
<hr/>	
<b>7 Zusammenfassung</b>	<b>269</b>
<hr/>	
<b>Erratum zu: Konstruktionswissen für Ingenieure</b>	<b>E1</b>

