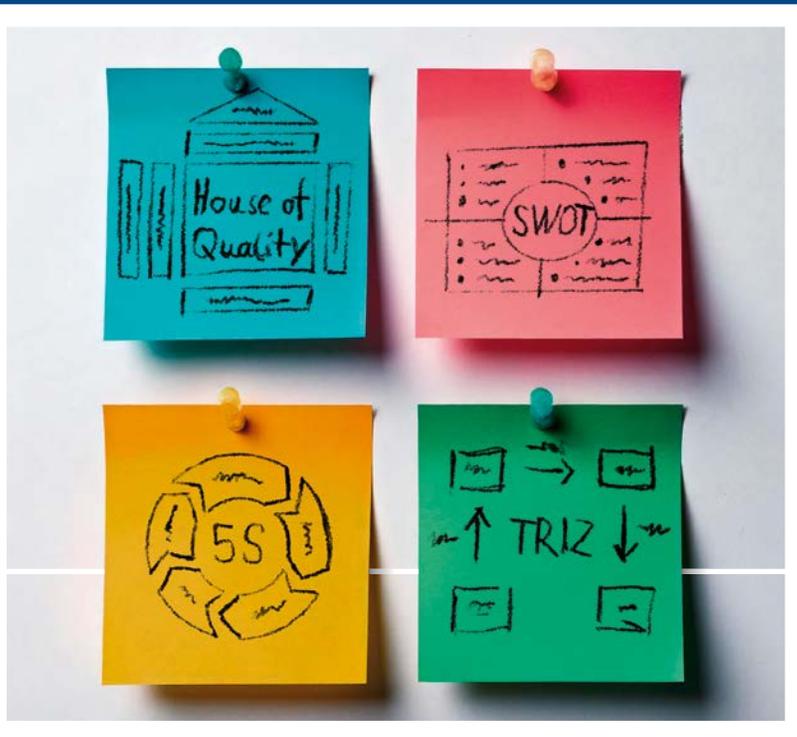


Armin Wittmann



Methodenkompetenz für Ingenieure

Methoden für Ideenfindung, Problemanalyse,
Qualitätsmanagement und Produktionsplanung



HANSER

Wittmann
Methodenkompetenz für Ingenieure



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Armin Wittmann

Methodenkompetenz für Ingenieure

Methoden für Ideenfindung, Problemanalyse,
Qualitätsmanagement und Produktionsplanung

HANSER

Über den Autor:

Prof. Dr.-Ing. Armin Wittmann, Hochschule Trier



Print-ISBN: 978-3-446-47701-8

E-Book-ISBN: 978-3-446-48076-6

Alle in diesem Werk enthaltenen Informationen, Verfahren und Darstellungen wurden zum Zeitpunkt der Veröffentlichung nach bestem Wissen zusammengestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Werk enthaltenen Informationen für Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht. Ebenso wenig übernehmen Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt also auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die endgültige Entscheidung über die Eignung der Informationen für die vorgesehene Verwendung in einer bestimmten Anwendung liegt in der alleinigen Verantwortung des Nutzers.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Werkes, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 UrhG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Wir behalten uns auch eine Nutzung des Werks für Zwecke des Text- und Data Mining nach § 44b UrhG ausdrücklich vor.

© 2025 Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München
Kolbergerstraße 22 | 81679 München | info@hanser.de
www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Julia Stepp

Herstellung: Melanie Zinsler

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Covergestaltung: Max Kostopoulos

Titelmotiv: © Max Kostopoulos, unter Verwendung von firefly.adobe.com

Satz: Eberl & Koesel Studio, Kempten

Druck: Elanders Waiblingen GmbH, Waiblingen

Printed in Germany

Inhalt

Vorwort	XV
1 Einführung	1
1.1 Einsatz dieses Buches im Unternehmen	2
1.2 Einsatz dieses Buches im Studium	4
2 Arbeiten mit diesem Buch	5
2.1 Aufbau der Abschnitte zu den jeweiligen Methoden	5
2.2 Icons zur Methodendarstellung	6
2.3 Methodenauswahl mithilfe der Bewertungstabelle	7
2.4 Beispiel für die Methodenauswahl mithilfe der Bewertungstabelle	10
3 Problemarten	13
4 Methoden für Explorationsprobleme	15
4.1 Fehlerbaumanalyse (FTA)	15
4.1.1 Anwendungsvoraussetzungen	17
4.1.2 Methodische Grundlagen	20
4.1.3 Anwendungsbeispiel	28
4.1.4 Zusammenfassung	30
4.1.5 Literaturempfehlungen	31
4.2 Value at Risk (VaR)	32
4.2.1 Anwendungsvoraussetzungen	33
4.2.2 Methodische Grundlagen	35

4.2.2.1	Festlegung der Parameter „Zeitraum“ und „Schadenswahrscheinlichkeit“	35
4.2.2.2	Festlegen der Ermittlungsmethode	36
4.2.2.3	Ermittlung von Projektrisiken und deren Wahrscheinlichkeiten	39
4.2.2.4	Berechnung des Value at Risk	40
4.2.2.5	Interpretation des Ergebnisses und Steuerung der Risiken	41
4.2.3	Anwendungsbeispiel	41
4.2.4	Zusammenfassung	44
4.2.5	Literaturempfehlungen	44
4.3	House of Quality (HoQ)	45
4.3.1	Anwendungsvoraussetzungen	50
4.3.2	Methodische Grundlagen	52
4.3.3	Anwendungsbeispiel	64
4.3.4	Zusammenfassung	78
4.3.5	Literaturempfehlungen	80
4.4	Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA)	80
4.4.1	Anwendungsvoraussetzungen	82
4.4.1.1	Informationsbeschaffung und Checkliste	85
4.4.1.2	Hinweise und Tipps	88
4.4.2	Methodische Grundlagen	88
4.4.2.1	System-FMEA	89
4.4.2.2	Konstruktions-FMEA (Design- oder D-FMEA)	89
4.4.2.3	Prozess-FMEA	90
4.4.2.4	Theoretische Vorgehensweise	91
4.4.2.5	Interpretation der Ergebnisse einer FMEA	99
4.4.3	Anwendungsbeispiel	100
4.4.3.1	Beschreibung des Beispiels	100
4.4.3.2	Lösungsweg	101
4.4.3.3	Ergebnisauswertung	107
4.4.4	Zusammenfassung	108
4.4.5	Literaturempfehlungen	110
4.4.6	Anhang	110
4.4.6.1	Anhang A: Bewertungstabelle der Auswahlwahrscheinlichkeit System/Konstruktions-FMEA	110

4.4.6.2	Anhang B: Bewertungstabelle der Auswahlwahrscheinlichkeit Prozess-FMEA	111
4.4.6.3	Anhang C: Bewertungstabelle der Bedeutung des Fehlers	111
4.4.6.4	Anhang D: Bewertungstabelle der Entdeckungswahrscheinlichkeit	112
4.4.6.5	Anhang E: Bewertungstabelle der Risikoeinschätzung	113
4.4.6.6	Anhang F: FMEA-Formblatt	113
5	Methoden für Inventionsprobleme	115
5.1	Methode 635	115
5.1.1	Anwendungsvoraussetzungen	118
5.1.2	Methodische Grundlagen	120
5.1.3	Anwendungsbeispiel	121
5.1.4	Zusammenfassung	122
5.1.5	Literaturempfehlung	123
5.2	Morphologischer Kasten	123
5.2.1	Anwendungsvoraussetzungen	126
5.2.1.1	Notwendige Ressourcen zur Durchführung	128
5.2.2	Methodische Grundlagen	128
5.2.3	Anwendungsbeispiel (Entwicklung eines Rasenmähers)	137
5.2.3.1	Beispiel	138
5.2.3.2	Durchführung	138
5.2.4	Zusammenfassung	145
5.2.5	Literaturempfehlungen	146
5.3	TRIZ (Theorie des erfinderischen Problemlösens)	146
5.3.1	Anwendungsvoraussetzungen	149
5.3.2	Methodische Grundlagen	150
5.3.3	Anwendungsbeispiele	158
5.3.4	Zusammenfassung	164
5.3.5	Literaturempfehlungen	165
5.3.6	Anhang	165
5.3.6.1	Anhang A: Widerspruchstabelle	165
5.3.6.2	Anhang B: Die 40 innovativen Prinzipien	174
5.4	Design for X (DfX)	178
5.4.1	Anwendungsvoraussetzungen	182

5.4.2	Methodische Grundlagen	182
5.4.2.1	Design for Manufacturing	186
5.4.2.2	Design for Assembly	187
5.4.2.3	Design for Service	188
5.4.2.4	Design for Recycling	189
5.4.2.5	Design to Cost	189
5.4.3	Anwendungsbeispiel	189
5.4.4	Zusammenfassung	193
5.4.5	Literaturempfehlungen	193
5.5	Kosten-Wirksamkeits-Analyse (KWA)	194
5.5.1	Anwendungsvoraussetzungen	196
5.5.2	Methodische Grundlagen	197
5.5.2.1	Zielfestlegung	197
5.5.2.2	Erstellung des Maßnahmenplans/-katalogs	197
5.5.2.3	Herausarbeiten von Lösungsalternativen	197
5.5.2.4	Bestimmung der Kosten	198
5.5.2.5	Ermittlung der Wirkungen	198
5.5.2.6	Zeitliche Bereinigung der Ergebnisse	199
5.5.2.7	Bildung des Kosten-Wirksamkeits-Index (KWI)	199
5.5.2.8	Grafische Darstellung der Ergebnisse	200
5.5.3	Anwendungsbeispiel	200
5.5.3.1	Zielfestlegung	200
5.5.3.2	Erstellung des Maßnahmenplans	201
5.5.3.3	Herausarbeiten von Lösungsalternativen	202
5.5.3.4	Bestimmung der Kosten	202
5.5.3.5	Ermittlung der Wirkungen	203
5.5.3.6	Zeitliche Bereinigung der Ergebnisse	203
5.5.3.7	Bestimmung des Kosten-Wirksamkeits-Index	204
5.5.3.8	Grafische Darstellung der Ergebnisse	205
5.5.4	Zusammenfassung	207
5.5.5	Literaturempfehlungen	207

6	Methoden für Entscheidungsprobleme	209
6.1	Target Costing (Zielkostenrechnung)	209
6.1.1	Anwendungsvoraussetzungen	211
6.1.2	Methodische Grundlagen	213
6.1.2.1	Zielkostenerreichung	221
6.1.3	Anwendungsbeispiel	223
6.1.3.1	Zielkostenfindung	223
6.1.3.2	Zielkostenerreichung	227
6.1.4	Zusammenfassung (Handlungsanleitung)	228
6.1.4.1	Schnellüberblick zur Vorgehensweise	229
6.1.5	Literaturempfehlungen	230
6.2	Nutzwertanalyse (NWA)	230
6.2.1	Anwendungsvoraussetzungen	232
6.2.1.1	Notwendige Ressourcen zur Durchführung	232
6.2.2	Methodische Grundlagen	233
6.2.3	Anwendungsbeispiel	237
6.2.4	Zusammenfassung	241
6.2.5	Literaturempfehlungen	242
6.3	Gesamtanlageneffektivität (OEE)	243
6.3.1	Anwendungsvoraussetzungen	245
6.3.2	Methodische Grundlagen	246
6.3.2.1	Grundlegendes	247
6.3.2.2	Berechnung der OEE	248
6.3.2.3	Datenerfassung	250
6.3.2.4	Interpretation	252
6.3.2.5	Beschreibung von potenziellen Maßnahmen	254
6.3.2.6	Einführung der OEE	256
6.3.3	Anwendungsbeispiel	259
6.3.4	Zusammenfassung	260
6.3.5	Literaturempfehlungen	262
7	Methoden für Informationsprobleme	263
7.1	Delphi-Methode	263
7.1.1	Anwendungsvoraussetzungen	266
7.1.2	Methodische Grundlagen	267

7.1.3	Anwendungsbeispiel	270
7.1.3.1	Beschreibung	270
7.1.3.2	Lösungsweg	270
7.1.3.3	Ergebnisauswertung	272
7.1.4	Zusammenfassung	273
7.1.5	Literaturempfehlungen	274
7.2	Business Model Canvas (BMC)	274
7.2.1	Anwendungsvoraussetzungen	276
7.2.2	Methodische Grundlagen	277
7.2.3	Anwendungsbeispiel	285
7.2.4	Zusammenfassung	288
7.2.5	Literaturempfehlungen	288
7.3	Kano-Methode	288
7.3.1	Anwendungsvoraussetzungen	292
7.3.1.1	Vorwissen zur Durchführung	292
7.3.1.2	Informationsbeschaffung zur Durchführung	292
7.3.1.3	Notwendige Ressourcen zur Durchführung	293
7.3.2	Methodische Grundlagen	293
7.3.3	Anwendungsbeispiel	298
7.3.3.1	Beschreibung	298
7.3.3.2	Lösungsweg	299
7.3.3.3	Ergebnisauswertung	302
7.3.4	Zusammenfassung	302
7.3.5	Literaturempfehlungen	303
7.4	SWOT-Analyse	303
7.4.1	Anwendungsvoraussetzungen	306
7.4.2	Methodische Grundlagen	306
7.4.2.1	Bilden eines geeigneten Projektteams	307
7.4.2.2	Festlegen der Informationsbeschaffung und -organisation	308
7.4.2.3	Festlegen und Gewichtung der Kriterien zur Analyse der Stärken und Schwächen	308
7.4.2.4	Erstellung eines Stärken-Schwächen-Profiles	309
7.4.2.5	Ermittlung und Bewertung von externen Chancen und Risiken	311
7.4.2.6	Erstellung einer SWOT-Matrix und Ableitung von Handlungsempfehlungen und Entscheidungen	311

7.4.3	Anwendungsbeispiel	312
7.4.3.1	Ermittlung des Stärken-Schwächen-Profiles	312
7.4.3.2	Ermittlung der Chancen und Risiken	314
7.4.3.3	Erstellung einer SWOT-Matrix	314
7.4.4	Zusammenfassung	316
7.4.5	Literaturempfehlungen	317
8	Methoden für Qualitäts- und Kostenprobleme	319
8.1	Total Cost of Ownership (TCO)	319
8.1.1	Anwendungsvoraussetzungen	321
8.1.2	Methodische Grundlagen	322
8.1.2.1	Die einzelnen Transaktionskomponenten	322
8.1.3	Anwendungsbeispiel	324
8.1.3.1	Beschreibung	324
8.1.3.2	Lösungsweg	325
8.1.3.3	Ergebnisauswertung	327
8.1.4	Zusammenfassung	327
8.1.5	Literaturempfehlungen	327
8.1.6	Anhang: Checkliste	328
8.2	Six Sigma	328
8.2.1	Anwendungsvoraussetzungen	330
8.2.2	Methodische Grundlagen	331
8.2.2.1	Die Organisation	331
8.2.2.2	Define	331
8.2.2.3	Measure	337
8.2.2.4	Analyze	346
8.2.2.5	Improve	351
8.2.2.6	Control	353
8.2.2.7	Design for Six Sigma	357
8.2.3	Anwendungsbeispiel	358
8.2.3.1	Lösungsweg	359
8.2.3.2	Ergebnisauswertung	360
8.2.4	Zusammenfassung	360
8.2.5	Literaturempfehlungen	361

8.3	5S-Methode	362
8.3.1	Anwendungsvoraussetzungen	364
8.3.1.1	Vorwissen zur Durchführung	365
8.3.1.2	Notwendige Ressourcen zur Durchführung	365
8.3.2	Methodische Grundlagen	366
8.3.3	Anwendungsbeispiel	370
8.3.3.1	Lösungsweg	370
8.3.3.2	Ergebnisauswertung	374
8.3.4	Zusammenfassung	375
8.3.5	Literaturempfehlungen	376
8.4	Single Minute Exchange of Die (SMED)	377
8.4.1	Anwendungsvoraussetzungen	380
8.4.2	Methodische Grundlagen	381
8.4.2.1	SMED in der laufenden Fertigung	382
8.4.2.2	Die drei Schritte von SMED	386
8.4.2.3	SMED in der Fertigungssteuerung	388
8.4.2.4	SMED in der Produktentwicklung	389
8.4.2.5	SMED in der Fertigungsplanung	390
8.4.2.6	Methodeneinsatz zur Lösungsfindung innerhalb von SMED	391
8.4.2.7	„Standard“-Lösungen zur Rüstzeitoptimierung	396
8.4.2.8	Lösungen umsetzen und dokumentieren	399
8.4.3	Anwendungsbeispiel	399
8.4.3.1	Durchführung der Methodenschritte am Beispiel	401
8.4.3.2	Beispielbezogene Anwendung des Pareto-Prinzips	405
8.4.3.3	Beispielbezogene Erstellung eines Ursache-Wirkungs- Diagramms	405
8.4.3.4	Anwendung der 5W-Methode am Beispiel „Futterwechsel“	407
8.4.3.5	Beispielbezogene Anwendung der 5S-Methode zur Rüstzeitoptimierung	409
8.4.3.6	Durchführung von SMED in der laufenden Fertigung	411
8.4.3.7	Konstruktive Optimierung in der Produktentwicklung	412
8.4.3.8	Zeitliche Optimierung in der Fertigungssteuerung	413
8.4.3.9	Zeitliche Optimierung in der Fertigungsplanung	414
8.4.3.10	Auswahl erarbeiteter Lösungskonzepte	415

8.4.3.11 Anwendung der erarbeiteten Lösungskonzepte	416
8.4.3.12 Standardisierung mittels Rüstanweisungen	422
8.4.4 Zusammenfassung	424
8.4.5 Literaturempfehlungen	425
Literaturverzeichnis	426
Index	433

Der Verlag und die Autoren haben sich mit der Problematik einer gendergerechten Sprache intensiv beschäftigt. Um eine optimale Lesbarkeit und Verständlichkeit sicherzustellen, wird in diesem Werk auf Gendersternchen und sonstige Varianten verzichtet; diese Entscheidung basiert auf der Empfehlung des Rates für deutsche Rechtschreibung. Grundsätzlich respektieren der Verlag und die Autoren alle Menschen unabhängig von ihrem Geschlecht, ihrer Sexualität, ihrer Hautfarbe, ihrer Herkunft und ihrer nationalen Zugehörigkeit.

Vorwort

In der Industrie, im Studium sowie im sonstigen Leben sind Lösungen gefragt. Dazu bedarf es zweier Fähigkeiten. *Wissen* und die Fähigkeit, *wie* dieses Wissen auf ein Problem angewendet werden kann. Mit anderen Worten: Fachwissen und Methodenkompetenz. Fachwissen wird durch eine entsprechende Ausbildung, in der Wissen und Kenntnisse vermittelt werden, erworben. Bei der Methodenkompetenz wiederum geht es um die Fähigkeit zur Anwendung von Wissen und Methoden, um in Studium oder Beruf seine Problemlösefähigkeit und Kreativität unter Beweis zu stellen. Methodenkompetenz ist also die Schlüsselqualifikation zur Fachkompetenz. Diese ist notwendig, um in unserer schnelllebigen, globalisierten Welt schnelle, nachhaltige und nachvollziehbare Lösungen zu finden. Dieses Buch richtet sich vorrangig an Praktiker aus der Industrie, ist jedoch auch für Berufseinsteiger oder Studierende geeignet.

Der Mangel an Fachkräften stellt für alle Akteure aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft eine wachsende Herausforderung dar. Besonders für kleine und mittelständische Unternehmen im MINT-Bereich ergibt sich so eine ernstzunehmende Bedrohung. Doch auch für die gesamtwirtschaftliche Leistung stellt der Fachkräftemangel ein Entwicklungshemmnis dar. Dadurch, dass immer weniger offene Stellen passend besetzt werden können, müssen die anfallenden Aufgaben von Mitarbeitern bewältigt werden, die in ihrer Ausbildung unter Umständen gar keine oder nur wenig Methodenkenntnisse erworben haben. Dieses Buch soll eine Hilfestellung bieten, Methoden im Unternehmensalltag einzusetzen. Die gezielte Anwendung von Methoden bringt den Vorteil, dass Entscheidungen und Ergebnisse auf allen Ebenen des Unternehmens auf gleichen Grundlagen basieren und vergleichbar werden. Schnittstellen zwischen Unternehmensbereichen werden gestärkt und die Problemlösekompetenz des einzelnen Mitarbeiters steigt.

Darüber hinaus soll das Buch Studierende bei Studienprojekten und Abschlussarbeiten unterstützen, da gängige Methoden anschaulich dargestellt und erklärt werden. Damit wird sichergestellt, dass einerseits eine wissenschaftliche Vorgehensweise bei

der Durchführung der Projekte erfolgt und andererseits die Entscheidungsprozesse nachvollziehbar und nicht apodiktisch getroffen werden.

Im Buch werden verschiedene betriebswirtschaftliche und ingenieurwissenschaftliche Methoden vorgestellt, die sich zur Problemlösung im Unternehmensalltag verwenden lassen. Um Ihnen ein schnelles und zielorientiertes Arbeiten mit dem Buch zu ermöglichen, werden die Methoden tabellarisch an verschiedenen Anforderungen gemessen. Sie können eine Vorauswahl treffen, um schnell zu den Methoden zu gelangen, die Ihrem Problem gerecht werden. Die Abschnitte des Buches sind so untergliedert, dass zuerst eine Einleitung zur Methode gegeben wird, in der eine Zielbeschreibung und alle notwendigen Anforderungen zum erfolgreichen Arbeiten mit der Methode aufgelistet sind. Anschließend wird die Anwendung der Methode Schritt für Schritt erklärt. Zur weiteren Verdeutlichung wird die Methode an einem Beispiel dargestellt.

Dieses Buch erhebt keinen Anspruch auf eine hohe Detailtreue der Methodenbeschreibung, sondern soll einen Überblick über die verschiedenen methodenbasierten Lösungsansätze geben.

Danksagung

Anregungen zu diesem Buch erhielt ich aus vielen verschiedenen Quellen. Studierende brachten mit ihren Problemstellungen bei Abschlussarbeiten in über 15 Jahren wertvolle Impulse ein, Anfragen von Unternehmen zu spezifischen Problemen boten praxisnahe Anknüpfungspunkte und Erfahrungen aus meinen Beratungsaktivitäten flossen ebenfalls maßgeblich in das Werk ein.

Nichtsdestotrotz möchte ich einigen Personen meinen besonderen Dank aussprechen. An erster Stelle danke ich meinem Freund Dr. Walter Kamm, der bereits während meiner Zeit in der Industrie mein Interesse für die Anwendung von Methoden geweckt und mich auch später bei meiner Promotion zur Methodenanwendung tatkräftig unterstützt hat.

Mein besonderer Dank gilt auch Frau Jacqueline Aimée Schneider, die mit nahezu unermüdlichem Einsatz Ordnung in das Manuskript gebracht hat. Zusammen mit Janis Koslowski, meinem Assistenten, hat sie das Chaos geordnet und die immer wieder notwendigen Anpassungen umgesetzt.

Ein weiterer Dank geht an Christoph Maier und Philipp Baron, die während ihren Promotionen einige der hier beschriebenen Methoden angewendet und somit auf ihre Verständlichkeit geprüft haben.

All diesen Personen gilt mein herzlicher Dank für ihre Unterstützung und ihren wertvollen Beitrag zu diesem Buchprojekt.

Trier, 2024

Armin Wittmann

1

Einführung

Immer mehr Unternehmen werden durch gestiegenen Konkurrenzdruck, kürzere Durchlaufzeiten für Produktentwicklung und Produktion, mehr Produktvarianten und kürzere Produktlebenszyklen erhöhtem Druck ausgesetzt. Die Aspekte Zeit, Qualität und Kosten bekommen im Unternehmensalltag einen immer größeren Stellenwert. Entscheidungen müssen präzise, schnell und nachvollziehbar getroffen werden. Um sich als Unternehmen auf dem Markt zu behaupten und gleichzeitig eine stetige Verbesserung der Produkte und Prozesse zu ermöglichen, sind Methoden unabdingbar.

Der Ausdruck „Methode“ stammt aus dem Altgriechischen und setzt sich aus den Begriffen „meta“ (hinterher) und „hodos“ (Weg) zusammen. Kombiniert bedeutet dies so viel wie nachgehen oder verfolgen. Eine Methode ist dadurch definiert, dass sie ein nach Mittel und Zweck planmäßiges Verfahren darstellt, das zu technischer Fertigkeit bei der Lösung theoretischer und praktischer Aufgaben führt.¹⁾ Methoden bilden also die konzeptionelle Grundlage für planmäßiges Handeln und für die anschließende Zielerreichung. Eine Methode enthält nach Werner Kirsch et al.²⁾ folgende Merkmale:

1. Zunächst wird der Anfangszustand betrachtet, auf den die Methode angewendet werden soll. Hierbei ist es von besonderer Bedeutung, welche Sachverhalte, Informationen und Daten dem Anwender am Anfang zur Verfügung stehen. Es ist darauf zu achten, dass die Methodenauswahl immer in Abhängigkeit von den aktuellen Gegebenheiten erfolgt. Bei Auswahl einer unzutreffenden Methode können bei der Durchführung starke Probleme auftreten und das finale Resultat kann Qualitätsmängel aufweisen.

¹ Bellers/Woyke 1989, S. 11 f.

² Kirsch et al. (1973)

2. Die einzelnen Schritte der Methodendurchführung stellen einen eigenen Prozess dar. Dieser muss zur Erreichung bestmöglicher Ergebnisse konsequent und zielstrebig eingehalten werden. Anderenfalls entstehen Ergebnisverfälschungen und die Reproduzierbarkeit ist nicht mehr gegeben.
3. Das Ergebnis, welches nach erfolgreicher Durchführung der Methode generiert wird, stellt die gefragte Problemlösung dar. Bevor mit diesen neuen Erkenntnissen weiter verfahren wird, ist es sinnvoll, diese kritisch zu hinterfragen und auf mögliche Unstimmigkeiten in der Plausibilität zu untersuchen. Besonders die in Berechnungen erzeugten Kennzahlen, wie z. B. Kosten- oder Zeitaufwände sind zu überprüfen und zu validieren. Erst danach sollten Erkenntnisse und Rückschlüsse aus den Ergebnissen gezogen werden, welche abschließend in die Tat umgesetzt werden können.
4. Die an der Methode beteiligten Personen oder Maschinen sind im Vorfeld zu bestimmen. Einige Methoden können nur mithilfe von Personen unterschiedlicher Qualifikation durchgeführt werden. Ein sogenanntes Cross-Functional-Team definiert sich dadurch, dass die einzelnen Akteure der Gruppenaktivität über besondere Fähigkeiten verfügen, die in Kombination ein differenzierteres und damit qualifiziertes Ergebnis erzeugen können. Denkbar ist hierbei z. B., dass Personen aus Einkauf, Vertrieb, Konstruktion und Fertigung ein neues Produkt mithilfe von Methoden planen und somit alle Aspekte und Gesichtspunkte des Unternehmens berücksichtigt werden. Fehler können bereits von Anfang an vermieden und Zeit bzw. Kosten gespart werden.

Methoden bieten den Vorteil, dass sich Aufgaben einheitlich und reproduzierbar abarbeiten lassen. Der Prozess der Problemlösung ist vorgegeben und Fehler können auf ein Minimum reduziert werden. Anwendung finden Methoden in den verschiedensten Bereichen, wie z. B. der Kunst, Musik, Philosophie oder, wie in diesem Buch, in der Technik und Betriebswirtschaft. Das Augenmerk liegt dabei sowohl auf der Verwendung in einem Unternehmen als auch auf der Verwendung im Rahmen von wissenschaftlichen Arbeiten bzw. auf der Anwendung wissenschaftlicher Vorgehensweisen bei der Lösung von Problemen.

1.1 Einsatz dieses Buches im Unternehmen

Der seit einigen Jahren anhaltende Fachkräftemangel setzt, wie bereits erläutert, besonders kleinen und mittelständischen Unternehmen stark zu. Durch den demografischen Wandel, der einen entscheidenden Einfluss auf diese Veränderung der Wirtschaftslage hat, wird sich der Mangel an qualifizierten Personen auf dem Arbeitsmarkt in absehbarer Zeit nicht verbessern.

Die Notwendigkeit, dass ein Mitarbeiter ein Problem im Unternehmen selbstständig ohne weitere interne oder externe Hilfestellung lösen muss, für welches er nicht ausgebildet ist, wird immer häufiger auftreten. In der Regel sind die Zuständigkeiten und Verantwortungsbereiche in der Aufbauorganisation dargestellt. Das Ziel der Aufbauorganisation ist es, durch Bildung verschiedener Stellen eine arbeitsteilige Gliederung und Ordnung im Unternehmen zu realisieren. Unternehmensbereiche werden sinnvoll abgegrenzt und es entstehen keine Missverständnisse über Aufgaben- und Tätigkeitsbereiche.

In Bild 1.1 ist eine mögliche klassische Aufbauorganisation eines Unternehmens dargestellt. Was ist jedoch, wenn in der verantwortlichen Ebene durch Abbau von Redundanzen und fehlendes Fachpersonal ein Engpass bei der Problemlösekapazität entsteht? Dieses Buch soll ermöglichen, dass Personen, was die Problemlösefähigkeit angeht, in ihrer Funktion im Unternehmen fachlich eine Ebene höher springen können. Soll ein Mitarbeiter z. B. einen fehlenden Gruppen- oder Teamleiter ersetzen und ein Meeting organisieren, welches zur Ideengenerierung und Konzeptbildung für ein neues Produkt dient, weiß dieser möglicherweise nicht, wie er das Meeting planen und strukturieren soll. Der erfahrene, aber nicht existente Gruppenleiter hätte sofort gewusst, dass er für diese Problemstellung eine Ideenfindungsmethode wie das Brainstorming anwenden kann. So kann auch der Ersatzmann gewährleisten, dass das Meeting strukturiert, zielführend und in einem gewissen zeitlichen Rahmen abläuft. Dieses Buch unterstützt den Mitarbeiter dabei, ein Meeting auf Methodengrundlage durchzuführen und einen ähnlich hohen Wirkungsgrad zu erreichen. Seine Kompetenz, Probleme zu analysieren und zu lösen, entspricht dann der einer höheren Stufe innerhalb der Aufbauorganisation. Außerdem werden durch die einheitliche Verwendung von Methoden interdisziplinäre Schnittstellenkompetenzen geschaffen, die zu einem produktiven Arbeitsumfeld beitragen.

Das Buch bietet einem Unternehmen viele Vorteile. Es ermöglicht den Mitarbeitern, selbstständig Probleme zu analysieren und diese auch zu lösen. Unterstützt wird dies durch die Art der Methodendarstellung, bei der zunächst die Theorie behandelt wird und anschließend ein umfangreiches praxisnahes Beispiel vorgestellt wird. Schulungen können dadurch ergänzt oder gar überflüssig werden. Eine kritische Auseinandersetzung der Mitarbeiter mit den Methoden fördert außerdem das Verständnis zu im Unternehmen verwendeten Prozessen und sensibilisiert für die Aufdeckung von Fehlern.

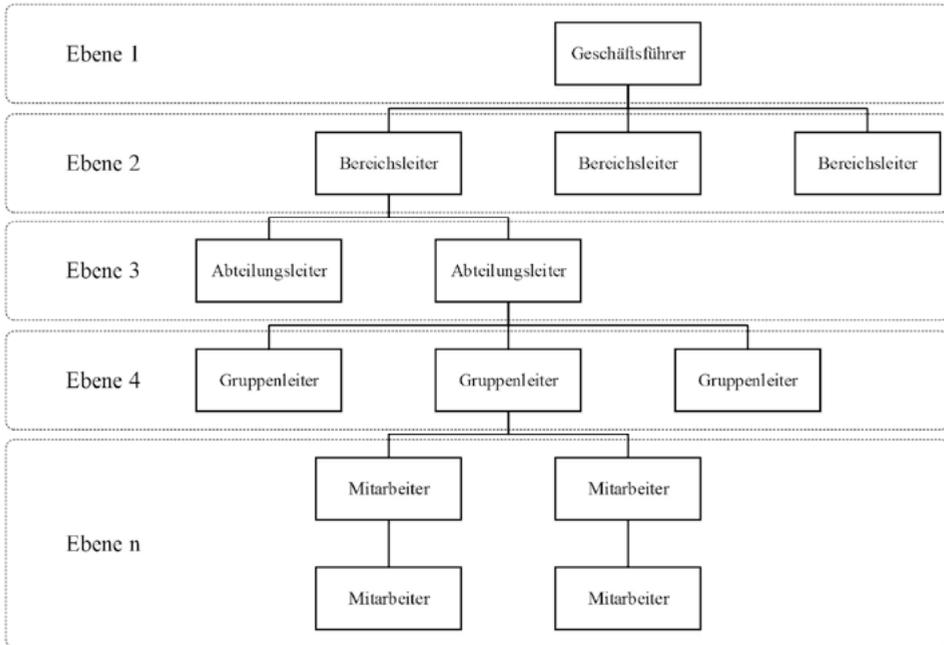


Bild 1.1 Aufbauorganisation eines Unternehmens

1.2 Einsatz dieses Buches im Studium

Die erste wissenschaftliche Verwendung von Methoden erfolgte im alten Griechenland. Philosophen nutzen Methoden dazu, die Ansammlung von Wissen zu fördern. Ein systematisch-methodisches Vorgehen ist die Grundlage aller wissenschaftlichen Untersuchungen. Wird die Überprüfung von Hypothesen mit methodischem Vorgehen durchgeführt, bietet dies den Vorteil, dass die Ergebnisse der Untersuchung nachvollziehbar und reproduzierbar sind.

Dieses Buch richtet sich deshalb auch an Studierende technischer und betriebswirtschaftlicher Studiengänge. Durch die breit gefächerte Ansammlung an Methoden stellt dieses Buch ein Nachschlagewerk dar, welches die Methodensuche erheblich verkürzen kann. Viele Studierende haben häufig keine Erfahrung im Umgang mit Methoden. Besonders bei Abschluss- und Projektarbeiten, welche in einem Unternehmen angefertigt werden, ermöglichen die sowohl theoretischen als auch praxisorientierten Darstellungen eine Beschleunigung der methodenbasierten Ergebnisfindung.

2

Arbeiten mit diesem Buch

Ich möchte Ihnen ein möglichst einfaches und zugleich zielführendes Arbeiten mit diesem Buch ermöglichen. Deshalb werden alle Methoden nach einem identischen Schema präsentiert. Anwendern, die noch keine Erfahrung im Umgang mit bzw. keinen Überblick über potenziell zielführende Methoden haben, wird eine Systematik geboten, mit der die Auswahl einer geeigneten Methode und damit der erste Schritt zur Lösungsfindung erleichtert wird.

2.1 Aufbau der Abschnitte zu den jeweiligen Methoden

Zunächst erfolgt eine Einordnung der Methode nach Kategorien und eine Bewertung der Methode (siehe Abschnitt 2.3). Danach folgt eine kurze Beschreibung der Methode, die einen Überblick über den Anwendungszweck und das Hauptziel der Methode geben soll. Angaben zum Schwierigkeitsgrad sowie mögliche Ergebnisse und Alleinstellungsmerkmale der Methode sollen Ihnen die Auswahl erleichtern. Anschließend werden Anwendungsvoraussetzungen für die Durchführung genannt. Hierzu gehören Angaben zum benötigten Vorwissen, zur Art und Form der Informationsbeschaffung und zu den benötigten Ressourcen.

Im folgenden Abschnitt werden die theoretischen Grundlagen der Methode erläutert. Hier soll verdeutlicht werden, wie die Methode theoretisch aufgebaut ist und wie sie funktioniert. Dies beinhaltet auch die Information, welche begleitenden oder alternativen Methoden einsetzbar wären. Dadurch ergibt sich ein Vorteil, weil Sie auf diese Weise erkennen, dass verschiedene Methoden unter Umständen miteinander verknüpft werden können.

Um den erforderlichen Praxisbezug herzustellen und eine einfache Durchführung der Methode zu ermöglichen, schließt ein ausführliches Beispiel am Ende der Ausführungen zur jeweiligen Methode an. Hier wird auch auf Probleme eingegangen, die während der Durchführung auftreten können. Die Anwendung einer Methode ist nur dann sinnvoll, wenn die Ergebnisse richtig ausgewertet und interpretiert werden. Aus diesem Grund schließt jeder Abschnitt zu einer Methode mit einer ausführlichen Diskussion der Ergebnisse des Anwendungsbeispiels ab.

2.2 Icons zur Methodendarstellung

Innerhalb der Abschnitte zu den jeweiligen Methoden werden Icons verwendet, um Ihnen die wichtigsten Informationen zur Methode übersichtlich und einheitlich anzuzeigen (Tabelle 2.1). Beim Nachschlagen einer bestimmten Methode muss somit nicht lange nach den wichtigsten Informationen im Text gesucht werden.

Tabelle 2.1 Icons zur Methodendarstellung

Icon	Name	Beschreibung
	Schwierigkeitsgrad	Dieses Icon beschreibt den Schwierigkeitsgrad einer Methode (aufgeteilt in Anfänger, Fortgeschrittener und Profi).
	Zeitaufwand	Das Icon beschreibt den Zeitaufwand in Stunden, Wochen, Monaten oder Jahren, der für die Durchführung der Methode erforderlich ist.
	Personenanzahl	Dieses Icon beschreibt die erforderliche Personenanzahl oder Teamgröße.
	Fragestellungen	Das Icon erläutert Fragen, die in der Gruppe ausdiskutiert werden sollten.
	Tipps und Tricks	Dieses Icon beschreibt mögliche Tipps und Tricks, die den Umgang mit der Methode erleichtern.
	Leitfaden zur Orientierung und Zielführung	Das Icon gibt Auskunft darüber, zu welcher Phase der Methode die aktuellen Informationen gehören.

Icon	Name	Beschreibung
	Checklisten-Ampel	Dieses Icon symbolisiert eine Checkliste, die vorher abgearbeitet werden muss, bevor mit der Methodendurchführung begonnen bzw. weitergemacht werden kann.
	Literaturempfehlung	Das Icon weist auf Literaturempfehlungen hin, die zusätzliche Informationen zu den dargestellten Inhalten liefern. Dies ist besonders interessant für wissenschaftliche Arbeiten.
	Kommentar	Das Pfeil-Icon weist auf Ergänzungen oder Fakten hin.
	Hinweis	Das Ausrufezeichen-Icon wird für wichtige Hinweise oder bei auftretenden Problemen verwendet.

2.3 Methodenauswahl mithilfe der Bewertungstabelle

Bei der Vielzahl an angebotenen Methoden gilt es, nicht den Überblick zu verlieren. Dieses Buch folgt einer Systematik, mit der sich, abhängig vom vorliegenden Problem, eine passende Methode finden lässt. In Abschnitt 2.4 ist ein ausführliches Beispiel dargestellt, wie eine Methode mit dieser Systematik ausgewählt wird.

In Tabelle 2.3 sind sämtliche Methoden, die in diesem Buch vorgestellt werden, alphabetisch aufgelistet. Die Methoden werden in Bezug zu folgenden fünf Kategorien gesetzt:

- Explorationsproblem (Entdeckungsproblem)
- Inventionsproblem (Erfindungsproblem)
- Entscheidungsproblem
- Informationsproblem
- Qualitäts- und Kostenproblem

Die Kategorien bzw. Problemarten werden in Kapitel 3 näher erläutert. Es erfolgt eine Bewertung, die zwischen „völlig ungeeignet“, „bedingt geeignet“ und „völlig geeignet“ differenziert, d. h., es wird bewertet, inwiefern die Methode für die jeweilige Problemart geeignet ist. Die Bewertung erfolgt über die in Tabelle 2.2 dargestellte Systematik.

Tabelle 2.2 Bewertungssystem der Methoden

+++	völlig geeignet
0	bedingt geeignet
---	völlig ungeeignet

Tabelle 2.3 Einordnung der Methoden in Kategorien/Problemarten

Kategorie → ↓ Methode	Explorations- problem	Inventions- problem	Entschei- dungs- problem	Informa- tions- problem	Qualitäts- und Kosten- problem
5S-Methode	---	---	---	0	+++
Business Model Canvas (BMC)	---	---	0	+++	0
Delphi-Methode	---	---	0	+++	0
Design for X (DfX)	0	+++	0	0	---
Fehlerbaum- analyse	+++	0	0	0	---
Fehler-Möglich- keits- und Ein- fluss-Analyse (FMEA)	+++	0	0	0	---
Gesamtanlagen- effektivität (OEE)	---	0	+++	0	0
House of Quality (HoQ)	+++	0	0	0	---
Kano-Methode	---	---	0	+++	0
Kosten-Wirksam- keits-Analyse (KWA)	0	+++	0	0	---
Methode 635	0	+++	0	0	—
Morphologischer Kasten	0	+++	0	0	---
Nutzwertanalyse (NWA)	---	0	+++	0	0
Six Sigma	---	---	---	0	+++

Kategorie →	Explorations- problem	Inventions- problem	Entschei- dungs- problem	Informa- tions- problem	Qualitäts- und Kosten- problem
↓ Methode					
Single Minute Exchange of Die (SMED)	---	---	---	0	+++
SWOT-Analyse	---	---	0	+++	0
Target Costing	---	0	+++	0	0
Total Cost of Ownership (TCO)	---	---	---	0	+++
Theorie des erfinderischen Problemlösens (TRIZ)	0	+++	0	0	---
Value at Risk (VaR)	+++	0	0	0	---

Mithilfe von Tabelle 2.3 und Tabelle 2.2 kann eine schnelle Vorauswahl an Methoden getroffen werden. Nach der Vorauswahl kann direkt das Kapitel der übergeordneten Kategorie (z. B. Kapitel 8, „Qualitäts- und Kostenproblem“) aufgeschlagen werden.

Zu Beginn jeder Methodenbeschreibung steht eine weitere Tabelle, in der die Methode anhand von Anforderungen bewertet ist. Die Anforderungen werden bewusst allgemein gehalten. Jedoch sind diese aus unternehmerischer Sicht von hoher Bedeutung. In Tabelle 2.4 sind die jeweiligen Anforderungen zur Bewertung der Methoden aufgeführt.

Tabelle 2.4 Bewertungsmatrix der Anforderungen

Anforderung	Beschreibung
1	Vorwissen, welches zur Durchführung notwendig ist
2	Schwierigkeitsgrad
3	Zeitaufwand (Dauer der Durchführung)
4	Kostenaufwand (z. B. für Material, Software)
5	Anzahl der nötigen Personen
6	Dokumentationsaufwand
7	Qualität der möglichen Ergebnisse
8	Effektivität (Wie hoch ist der notwendige Aufwand – relativ zu anderen Methoden –, bis das erste brauchbare Ergebnis vorliegt?)

Tabelle 2.4 Bewertungsmatrix der Anforderungen (*Fortsetzung*)

Anforderung	Beschreibung
9	präventive Maßnahme (z. B. FMEA)
10	quantitative Methode (z. B. Stichprobenauswahl, Datenerhebung und -analyse, Analyse statistischer Daten, Befragungen, Tests sowie strukturierte Beobachtungen)
11	qualitative Methode (z. B. verschiedene Formen von Interviews wie Einzelinterviews und Fokusgruppen, Beobachtungen und Dokumentenanalysen)

Die Bewertungsmatrix setzt sich aus den in Tabelle 2.4 beschriebenen Anforderungen und der Bewertungssystematik aus Tabelle 2.5 zusammen. Die Bewertung differenziert zwischen „sehr hoch“, „mittel“ und „sehr gering“, d. h., die Anforderung (z. B. Schwierigkeitsgrad) wird in Bezug zur jeweiligen Methode gesetzt.



Die Bewertungssystematik lässt Zwischenstufen zu, d. h. auch die Bewertungen „+“ und „++“ sowie „-“ und „--“ sind möglich.

Tabelle 2.5 Bewertungssystematik

+++	sehr hoch
0	mittel
---	sehr gering

2.4 Beispiel für die Methodenauswahl mithilfe der Bewertungstabelle

Bei der ersten Verwendung des Buches mag die Methodenauswahl mit den verschiedenen Bewertungstabellen möglicherweise kompliziert und unverständlich wirken. Aus diesem Grund wird in diesem Abschnitt ein Praxisbeispiel vorgestellt, welches sich so in jedem Unternehmen abspielen kann. Unternehmen A bemerkt, dass die Qualität und die Termintreue der vom Unternehmen B gelieferten Produkte abgenommen hat. Daraufhin beschließt Unternehmen A bei seinem Lieferanten Unternehmen B ein Audit durchzuführen, um der Ursache auf den Grund zu gehen. Im Rahmen des Audits stellt sich heraus, dass das Arbeitsumfeld im Unternehmen B erhebliche Mängel aufweist. Die Arbeitsplätze sind ohne jegliche Systematik. Beispiel:

Die Montagearbeitsplätze sind unsauber aufgeräumt und völlig unstrukturiert. Zudem sind die Prozessabläufe im Unternehmen B undefiniert, wodurch bei der Produktion zu lange Durchlaufzeiten entstehen, was sich negativ auf den Beschaffungszeitraum und den Preis des Produkts auswirkt. Da Unternehmen A die Qualitätseinbußen, die lange Lieferzeit und den erhöhten Preis nicht hinnehmen möchte, wurde ein Maßnahmenplan erarbeitet. Unternehmen B ist dazu verpflichtet, die Missstände an den Montagearbeitsplätzen gemäß diesem Plan zu beseitigen.

Aufgrund des Fachkräftemangels und fehlender Ressourcen gibt es im Unternehmen B keine geeignete Person, welche sich des Problems annehmen kann. Aus diesem Grund wird ein Mitarbeiter, dessen Arbeitsplatz bemängelt wurde, von seinem Vorgesetzten beauftragt, eine einheitliche Lösung für alle Montagearbeitsplätze zu erarbeiten. Aufgrund der geringen Ressourcen von Unternehmen B besteht der Anspruch, dass die Methode sowohl einen möglichst geringen Zeitaufwand als auch geringe Kosten verursacht. Bei der anschließenden Recherche stößt der Mitarbeiter auf dieses Buch. Da er nicht weiß, welche der vielen Methoden geeignet für sein Problem ist, verwendet er Tabelle 2.3. Sein Vorgesetzter hat ihm den Tipp gegeben, dass es sich um ein Explorationsproblem handelt und er im Buch unter dieser Kategorie nachschlagen soll. Durch die Einordnung der Methoden in die dazugehörigen Kategorien trifft der Mitarbeiter eine Vorauswahl verschiedener Methoden. Alle Qualitätsmanagementmethoden, die mit „+++“ bewertet sind, stellen potenziell hilfreiche Methoden zur Lösung der Aufgabenstellung dar.

Der Mitarbeiter entscheidet sich dazu, die 5S-Methode, die Fehlerbaumanalyse und die Methode House of Quality (HoQ) näher zu betrachten. Nun vergleicht er die zuvor ausgewählten Methoden Spalte für Spalte miteinander. Da der Mitarbeiter keine Methodenkenntnisse besitzt und die Methode deshalb nach Möglichkeit einen geringen Schwierigkeitsgrad aufweisen sollte, würde der Mitarbeiter die Methoden mit einem „-“ bei der Anforderung „Vorwissen“ bevorzugt auswählen. Zusätzlich hat der Mitarbeiter die Anweisung erhalten, dass die Methode einen möglichst geringen Zeit- und Kostenaufwand verursachen soll. Dementsprechend würde der Mitarbeiter auch hier darauf achten, dass die Methode möglichst mit einem „-“ bei den Anforderungen „Zeitaufwand“ und „Kostenaufwand“ bewertet ist. Nach dem Vergleich der Methoden entscheidet sich der Mitarbeiter für die 5S-Methode. Abschließend springt der Mitarbeiter zum Abschnitt der 5S-Methode und beginnt mit der Einarbeitung.

3

Problemarten

Die in den folgenden Kapiteln beschriebenen, dargestellten und in Beispielen angewendeten Methoden können in Bezug auf die sich damit zu lösenden Probleme eingeteilt werden. Damit ein Problem gelöst werden kann, muss zuerst entschieden werden, welche Art des Problems vorliegt. Die Art des Problems wird in der deskriptiven Phase des Problemlösungsprozesses definiert.

Bild 3.1 kann zur Auswahl der Art des Problems herangezogen werden. Die Probleme können in die Kategorien „kein Problem“, „Informationsproblem“, „Explorationsproblem (Entdeckungsproblem)“, „Inventionsproblem (Erfindungsproblem)“ und „Entscheidungsproblem“ eingeteilt werden. Darüber hinaus ist noch die Kategorie „Qualitäts- und Kostenproblem“ zu nennen.

Für den Fall, dass im Rahmen der Analyse des Problems festgestellt wird, dass die Frage bzw. das Problem mit vorhandenen Informationen beantwortet und gelöst werden kann, liegt der Fall vor, dass **kein Problem** vorhanden ist.

Die am einfachsten zu lösenden Probleme sind **Informationsprobleme**. Hier existieren Informationen zur Lösung des Problems, die dem Anwender jedoch nicht vorliegen. Die Informationen müssen also durch Methoden beschafft werden. Informationsbeschaffung bedeutet in diesem Zusammenhang Datengenerierung, welche im weiteren Sinne auch als Datenerhebung bezeichnet wird. Hierbei geht es um die Erzeugung von Daten im Rahmen von Forschungsprozessen. Es stellt sich die Frage nach Möglichkeiten zur Informationsbeschaffung, welche mit geeigneten Methoden durchgeführt wird. Nach eingehender Informationsbeschaffung kann das gegebene Problem gelöst werden.

Bei einem **Explorationsproblem** (auch Entdeckungsproblem genannt) ist der Ursprung des Problems bekannt, jedoch weder die genaue Richtung noch das Ausmaß der Neuentwicklung. Ein Beispiel hierfür ist die Entwicklung eines neuen Mobiltelefons. Der Ursprung ist bekannt, dennoch soll ein völlig neues und von anderen Modellen unabhängiges Gerät „entdeckt“ werden.

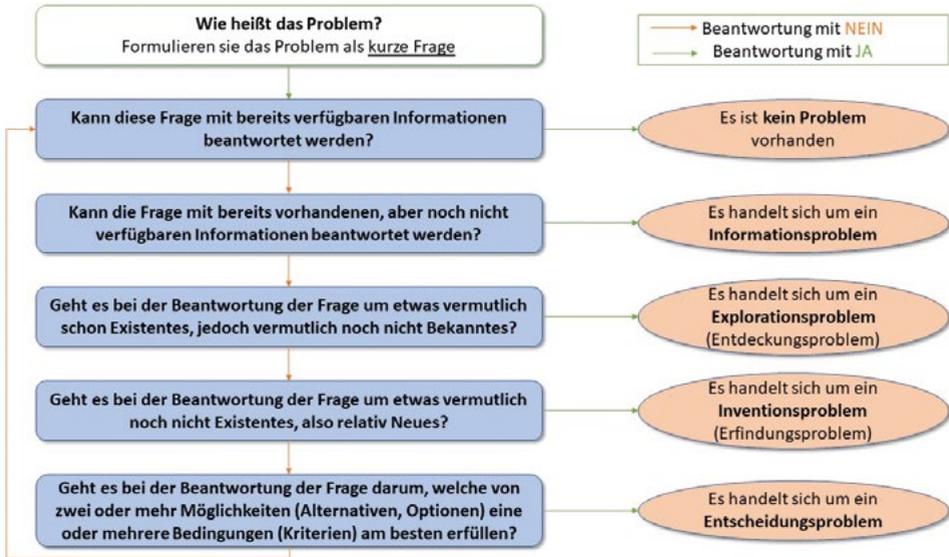


Bild 3.1 Untergliederung von Problemen

Falls keinerlei Vorgaben vorhanden sind und somit alles unbekannt ist, wird von einem **Inventionsproblem** (Erfindungsproblem) gesprochen. Etwas völlig Neues soll gefunden werden. Bei der Entscheidung zur Gründung eines Start-up-Unternehmens stehen die Gründer vor dieser Aufgabe. Hier ist keine Richtung vorgegeben und der eigenen Kreativität sind keine Grenzen gesetzt.

Sobald man die Wahl zwischen einer oder mehreren Optionen hat, eine Aufgabe zu bearbeiten, wird von einem **Entscheidungsproblem** gesprochen. Verschiedene Lösungen sind ausreichend ausgearbeitet und werden nun untereinander verglichen, sodass die gesamte Aufmerksamkeit und Arbeitszeit in die beste Lösung gesetzt werden können. Dies ermöglicht bestmögliches und effektives Arbeiten.

Zwischen einem **Qualitätsproblem** und einem **Kostenproblem** besteht meist eine Verbindung. Deshalb werden sie in diesem Buch unter einer gemeinsamen Problemrubrik geführt. Ein Qualitätsproblem liegt dann vor, wenn die Produkte oder Dienstleistungen nicht die festgelegten Standards oder Erwartungen des Kunden erfüllen bzw. die Herstellung, Bereitstellung oder Wartung eines Produkts oder einer Dienstleistung teurer als geplant ist. Häufige Ursachen eines Qualitätsproblems sind schlechte Materialien oder Produktionsmethoden, unzureichende Kontrollen und Tests oder auch Fehler in der Planung oder im Design. Häufige Ursachen eines Kostenproblems sind ineffiziente Prozesse, Ressourcenverschwendung (z. B. durch unerwartete Ausgaben, d. h. Material-, Energie- oder Arbeitskosten) oder Fehler bei der Kalkulation (z. B. falsche Schätzung von Zeit- oder Ressourcennutzung).

4

Methoden für Explorationsprobleme

4.1 Fehlerbaumanalyse (FTA)

Tabelle 4.1 und Tabelle 4.2 geben einen Überblick über die Methode Fehlerbaumanalyse. Die Bewertungssystematik ist Abschnitt 2.3 zu entnehmen.

Tabelle 4.1 Methodenübersicht

Kategorie	Einordnung der Fehlerbaumanalyse
Explorationsproblem	+++
Inventionsproblem	0
Entscheidungsproblem	0
Informationsproblem	0
Qualitäts- und Kostenproblem	---
+++ völlig geeignet 0 bedingt geeignet --- völlig ungeeignet	

Tabelle 4.2 Methodenbewertung

Fehlerbaumanalyse	Anforderungs- bewertung
Anforderung 1: Nötiges Vorwissen zur Durchführung	0
Anforderung 2: Schwierigkeitsgrad	0
Anforderung 3: Zeitaufwand (Wie viel Zeit ist insgesamt aufzuwenden?)	0
Anforderung 4: Kostenaufwand (z. B. für Ressourcen wie Materialkosten oder Software)	+++
Anforderung 5: Anzahl der nötigen Personen	+++
Anforderung 6: Dokumentationsaufwand	0
Anforderung 7: Qualität der möglichen Ergebnisse	---
Anforderung 8: Effektivität (Welcher Aufwand ist notwendig, bis das erste brauchbare Ergebnis vorliegt?)	0
Anforderung 9: Präventive Methode (z. B. FMEA)	---
Anforderung 10: Quantitative Methode (z. B. Stichprobenauswahl, Datenerhebung und -analyse, Analyse statistischer Daten, Befragungen, Tests sowie strukturierte Beobachtungen)	0
Anforderung 11: Qualitative Methode (z. B. verschiedene Formen von Interviews wie Einzelinterviews und Fokusgruppen, Beobachtungen und Dokumentenanalysen)	0
+++ sehr hoch	
0 mittel	
--- sehr gering	

Grundlegendes

Die Fehlerbaumanalyse ist eine nach DIN 25424 genormte und erprobte systemtechnische Methode. Die DIN 25424 beschreibt den Zweck der Fehlerbaumanalyse als „die Ermittlung der logischen Verknüpfungen von Komponenten- oder Teilsystemausfällen, die zu einem unerwünschten Ereignis führen.“ Dabei werden die Ergebnisse genutzt, um Systeme im Hinblick auf Betrieb und Sicherheit zu beurteilen.¹⁾

Die Fehlerbaumanalyse (englisch Fault Tree Analysis, FTA) wird zur Beurteilung und Optimierung von Systemen/Produkten hinsichtlich Sicherheit und Zuverlässigkeit eingesetzt. Sie wird insbesondere bei komplexen sicherheitskritischen Produkten angewendet. Dazu werden Verknüpfungen von Komponentenausfällen, die zu einem

¹ DIN 25424, Teil 1, S. 2

unerwünschten Ergebnis führen, systematisch ermittelt. Die Darstellung der Ausfallkombinationen erfolgt als Fehlerbaum.²⁾

Die Fehlerbaummethode wird häufig als Pre-Methode für eine FMEA eingesetzt, um alle potenziellen Ereignis-/Wirkketten zu identifizieren.

Vorteile

Im Vergleich zu anderen Methoden zur Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanalyse kann die Fehlerbaumanalyse sehr flexibel eingesetzt werden. Die Vorgaben, d. h. die Verknüpfungslogik und die zuverlässigkeitstechnischen Rechenregeln, stecken lediglich einen Rahmen ab. Außerdem hat die FTA den Vorteil, dass es keine Beschränkungen für betrachtete Fehlerursachen gibt.³⁾

Nachteile

Nachteilig bei der FTA ist, dass die Komplexität eines Fehlerbaums mit jeder Detaillierungsebene überproportional ansteigt. Hier besteht die Gefahr sich in den Details zu verlieren. Ohne einen gewissen Kenntnisgrad der Rechenregeln und Annahmen der FTA werden die Ergebnisse der quantitativen FTA leicht zur Zahlenlotterie.⁴⁾

Auch die FMEA-Methode (Failure Mode and Effects Analysis, dt. Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse) ist wie die FTA eine analytische Methode der Zuverlässigkeitstechnik. Die FMEA und FTA folgen komplementären methodischen Ansätzen mit ihren jeweiligen Stärken und Schwächen. Die Fehlerbaumanalyse ist am besten für die Wiedergabe von Redundanz geeignet, wenn diese maßgeblich für Sicherheits- oder Zuverlässigkeitsziele ist. Mit ihrer Hilfe lassen sich zudem Wirkketten von Fehlern gut nachbilden. Beides sind Aspekte, für die die FMEA nur sehr eingeschränkt tauglich ist. Die FMEA kann dafür aber den kompletten Querschnitt eines Systems abbilden und nicht nur die kritischsten Elemente. Nähere Informationen zur FMEA sind in Abschnitt 4.4 zu finden.

4.1.1 Anwendungsvoraussetzungen

Die Anwendungsvoraussetzungen der Fehlerbaumanalyse sind in Tabelle 4.3 zusammengefasst.

²⁾ Brüggemann/Bremer 2015, S. 38

³⁾ Edler et al. 2015, S. 12

⁴⁾ Edler et al. 2015, S. 12

Tabelle 4.3 Anwendungsvoraussetzungen

		
Anfänger, bei komplexen Systemen Fortgeschrittene	2 h bis 15 h (bei komplexen Aufgabenstellungen auch deutlich mehr)	mind. 1 bis 2 Personen

Zur Durchführung einer FTA werden geringe personelle Ressourcen benötigt. Bei entsprechender Komplexität der Thematik ist eine umfangreiche Methodenkenntnis vorteilhaft.

Zu Beginn einer FTA werden die Zielsetzung und der genaue Anwendungszweck festgelegt. Außerdem gilt es, den methodischen Rahmen abzustecken. Zudem muss geklärt werden, ob die FTA die richtige Methode ist und welche Techniken ergänzend eingesetzt werden können. Der Einsatz der Fehlerbaumanalyse ist sinnvoll und angemessen, wenn die folgenden Punkte erfüllt sind:⁵⁾

1. Bei den möglichen Ursachen muss die Kombination verschiedener Ereignisse eine Rolle spielen. Spielen Kombinationen keine maßgebliche Rolle, sind tabellarische Analysen, z. B. eine FMEA, effektiver.
2. Der zu untersuchende Gegenstand weist eine gewisse Komplexität auf, sodass einfachere Methoden nicht zum Ergebnis führen.
3. Der Aufwand für die Fehlerbaumanalyse muss in einem angemessenen Gegenwert resultieren.

Zur Erleichterung der grafischen Darstellung eines Fehlerbaums und der Durchführung der zugehörigen Berechnungen empfiehlt sich der Einsatz einer speziellen, leistungsfähigen Software. Insbesondere bei komplexen und umfangreichen Systemanalysen benötigt man geeignetes Softwarewerkzeug.⁶⁾

Zur Erstellung einer FTA ist eine gute Kenntnis des zu untersuchenden Systems notwendig. Gegebenenfalls ist es ratsam, einen Fachmann heranzuziehen.

Obwohl gerade bei der Nutzung einer Analyse-Software zur Erstellung eines Fehlerbaums das Vorgehen sehr intuitiv ist, ist dennoch ein tiefgreifendes methodisches und theoretisches Verständnis notwendig. Nur so sind die Ergebnisse auch belastbar. Neben der methodischen Kompetenz ist eine umfangreiche Informationsbeschaffung zum Untersuchungsgegenstand notwendig. Dementsprechend sind vor Beginn der Durchführung einer FTA Unterlagen und Dokumente, beispielsweise eine Systembe-

⁵ Edler et al. 2015, S. 3, S. 50

⁶ Edler et al. 2015, S. 5

schreibung oder auch ein Schaltplan, zu beschaffen. Aus bereits vorhandenem Analysematerial aus Testreihen können beispielsweise Fehlerraten oder Ausfallwahrscheinlichkeiten entnommen werden.⁷⁾

Mathematisches Vorwissen

Die boolesche Algebra bringt einige hilfreiche Gesetzmäßigkeiten mit, die für die Betrachtungen von Fehlerbäumen unerlässlich sind und mit denen man die Strukturfunktion weiter umformen kann.⁸⁾

1. Assoziativgesetz: $(A \wedge B) \wedge C = A \wedge (B \wedge C)$ sowie $(A \vee B) \vee C = A \vee (B \vee C)$

Ein UND/ODER-Gatter mit mehr als zwei Eingangsereignissen kann durch mehrere Operatoren in einer Formel beschrieben werden.

2. Kommutativgesetz: $A \wedge B = B \wedge A$ sowie $A \vee B = B \vee A$

Die Reihenfolgen der Eingangsereignisse sind irrelevant.

3. Distributivgesetz: $A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C)$ sowie $A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C)$

Das Distributivgesetz erlaubt die Umformung von komplexen Ausfallkombinationen.

Neben der booleschen Algebra wird insbesondere bei der Ermittlung von Eintrittswahrscheinlichkeiten die Wahrscheinlichkeitstheorie herangezogen. Die Wahrscheinlichkeit für Ereignisse lässt sich wie folgt berechnen:⁹⁾

1. UND-Verknüpfung zweier unabhängiger Ereignisse:

$$P(E_1 \cap E_2) = P(E_1) \cdot P(E_2)$$

2. ODER-Verknüpfung für sich ausschließende (inkompatible) Ereignisse:

$$P(E_1 \cup E_2) = P(E_1) + P(E_2)$$

3. ODER-Verknüpfung für unabhängige Ereignisse:

$$P(E_1 \cup E_2) = P(E_1) + P(E_2) - P(E_1) \cdot P(E_2)$$

Zwei Ereignisse E_1 und E_2 sind unabhängig, wenn das Eintreten des Ereignisses E_1 nicht die Wahrscheinlichkeit von E_2 beeinflusst und umgekehrt.¹⁰⁾

⁷⁾ Edler et al. 2015, S. 51

⁸⁾ Edler et al. 2015, S. 29

⁹⁾ Edler et al. 2015, S. 33

¹⁰⁾ Edler et al. 2015, S. 35 f.

4.1.2 Methodische Grundlagen

Der Ablaufplan einer Fehlerbaumanalyse ist in die drei Phasen Systemanalyse, Erstellung des Fehlerbaums und Auswertung des Fehlerbaums gegliedert. Der Ablauf gestaltet sich wie folgt:¹¹⁾

1. Systemanalyse:
 - detaillierte Untersuchung des Systems
2. Erstellung des Fehlerbaums:
 - Festlegung des unerwünschten Ereignisses und der Ausfallkriterien
 - Festlegung der Zuverlässigkeitskenngröße und der zu betrachtenden Zeitintervalle
 - Überlegungen zu den Ausfallarten der Komponenten
 - Aufstellung des Fehlerbaums
3. Auswertung des Fehlerbaums:
 - Bestimmung der Eingangsgrößen des Fehlerbaums
 - Auswertung des Fehlerbaums und Bewertung der Ergebnisse

Im Folgenden werden die einzelnen Phasen detailliert beschrieben.

Systemanalyse

Für die Fehlerbaumanalyse ist eine genaue Kenntnis des betrachteten Systems erforderlich. Das betrachtete System wird detailliert untersucht. Dafür werden zunächst die Funktionen, die das System zu erfüllen hat, mit den zulässigen Abweichungen identifiziert. Anschließend werden die verschiedenen Betriebszustände des Systems erfasst. Die Umgebungsbedingungen, die auf das System einwirken können, müssen bestimmt werden. Es werden notwendige Hilfsquellen, wie beispielsweise Energie- oder Informationsquellen, identifiziert. Zur Darstellung der verschiedenen Komponenten eines Systems und deren Zusammenwirken lässt sich ein Blockdiagramm heranziehen. Zuletzt werden die einzelnen Komponenten des Systems und deren Zusammenwirken zur Erzeugung der Systemfunktion ermittelt. Darauf aufbauend lässt sich das Verhalten des Systems analysieren. Dabei wird betrachtet, wie das System auf Umgebungsbedingungen oder Ausfälle von Komponenten oder Hilfsquellen reagiert.¹²⁾

¹¹ Brüggemann/Bremer 2015, S. 39

¹² Brüggemann/Bremer 2015, S. 39; DIN 25424, Teil 1, S. 5

Erstellung des Fehlerbaums

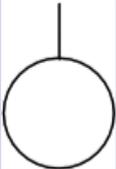
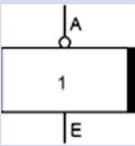
Der Fehlerbaum ist eine grafische Darstellung der logischen Zusammenhänge zwischen den Ereignissen, die zum unerwünschten „Top“-Ereignis führen. Zur Erstellung eines Fehlerbaums muss im ersten Schritt das unerwünschte „Top“-Ereignis festgelegt werden. Das Ereignis können beispielsweise der Ausfall des ganzen Systems oder der Ausfall einer bestimmten Funktion sein. Der Ausfall wird mithilfe klarer Kriterien genau definiert. Es werden die relevanten Zuverlässigkeitskenngrößen wie Ausfallhäufigkeit oder Nichtverfügbarkeit sowie das zugrunde liegende Zeitintervall angegeben.¹³⁾



Ein Ausfall einer technischen Betrachtungseinheit entsteht, wenn die zulässige Abweichung eines Merkmals überschritten wird.¹⁴⁾

Im nächsten Schritt werden die verschiedenen Ausfallarten der Komponenten aus dem unerwünschten Ereignis abgeleitet, die bei der Aufstellung des Fehlerbaums berücksichtigt werden sollen.¹⁵⁾ Anschließend wird ausgehend vom unerwünschten Ereignis der Fehlerbaum aufgestellt. Dabei werden nach DIN 25424 genormte Symbole angewendet, die in Tabelle 4.4 dargestellt sind. Teilweise ist zum besseren Verständnis des Bildzeichens eine Funktionstabelle angegeben. Dabei steht eine „0“ für funktionsfähig und eine „1“ für ausgefallen.

Tabelle 4.4 Symbole nach DIN 25424, Teil 1 (eigene Darstellung in Anlehnung an Brüggemann/Bremer 2015, S. 40; DIN 25424, Teil 1, S. 3)

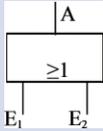
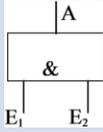
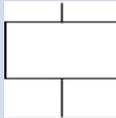
Bildzeichen	Name	Beschreibung						
	Standardeingang	Der Standardeingang steht für den Ausfall eines Funktionselements, wenn primäres Versagen möglich ist. Dem Standardeingang werden die Kenngrößen und die Ausfallzeit des Elements zugeordnet.						
	NICHT-Verknüpfung	Die NICHT-Verknüpfung steht für die Negation. Trifft A zu, so trifft E nicht zu und umgekehrt.						
		<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">E</td> <td style="padding: 5px;">A</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">1</td> <td style="padding: 5px;">0</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">0</td> <td style="padding: 5px;">1</td> </tr> </table>	E	A	1	0	0	1
E	A							
1	0							
0	1							

¹³ Brüggemann/Bremer 2015, S. 39; DIN 25424, Teil 1, S. 2 und S. 5

¹⁴ DIN 25424, Teil 1, S. 2

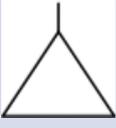
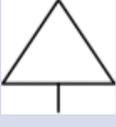
¹⁵ Brüggemann/Bremer 2015, S. 39

Tabelle 4.4 Symbole nach DIN 25424, Teil 1 (eigene Darstellung in Anlehnung an Brüggemann/Bremer 2015, S. 40; DIN 25424, Teil 1, S. 3) (Fortsetzung)

Bildzeichen	Name	Beschreibung															
	ODER-Verknüpfung	<p>Bei der ODER-Verknüpfung handelt es sich um eine logische Vereinigung mehrerer Eingänge. Kommt es an einem der Eingänge zu einem Ausfall, so kommt es auch am Ausgang zu einem Ausfall.¹⁶⁾</p> <table border="1" data-bbox="609 493 851 748"> <thead> <tr> <th>E1</th> <th>E2</th> <th>A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	E1	E2	A	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0
E1	E2	A															
1	1	1															
1	0	1															
0	1	1															
0	0	0															
	UND-Verknüpfung	<p>Bei der UND-Verknüpfung handelt es sich um den logischen Durchschnitt mehrerer Eingänge. Bei gleichzeitigem Ausfall an allen Eingängen kommt es am Ausgang zu einem Ausfall.¹⁷⁾</p> <table border="1" data-bbox="609 920 851 1175"> <thead> <tr> <th>E1</th> <th>E2</th> <th>A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	E1	E2	A	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
E1	E2	A															
1	1	1															
1	0	0															
0	1	0															
0	0	0															
	Kommentar	Beschreibungen von Ein- und Ausgängen von Verknüpfungen werden in Rechtecke eingetragen.															

¹⁶⁾ Kloth 2010

¹⁷⁾ Kloth 2010

Bildzeichen	Name	Beschreibung
	Übertragungseingang	Der Fehlerbaum wird an dieser Stelle abgebrochen und an anderer Stelle fortgesetzt.
	Übertragungsausgang	

Das Aufstellen des Fehlerbaums beginnt mit dem Eintragen des „Top“-Ereignisses in ein Kommentarrechteck. Danach werden alle möglichen Ausfälle, die unmittelbar zum Eintritt des unerwünschten „Top“-Ereignisses führen, festgestellt, mit einer logischen Verknüpfung (UND, ODER) zugeordnet und in Kommentarrechtecke eingetragen. Es entsteht die erste Ereignisebene des Fehlerbaums.¹⁸⁾ Dies ist in Bild 4.1 dargestellt.

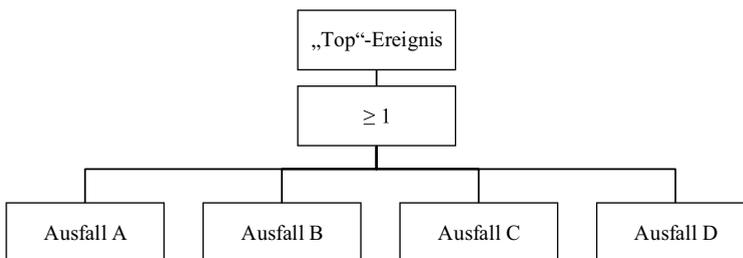


Bild 4.1 Erste Ereignisebene des Fehlerbaums

Ausfälle können in die Kategorien primärer, sekundärer und kommandierter Ausfall eingeteilt werden. Ein primärer Ausfall ist der Ausfall eines Teilsystems bzw. einer Komponente, der durch innewohnende Schwäche verursacht wird. Dieser Ausfall wird im Fehlerbaum durch einen Standardeingang dargestellt. Ein sekundärer Ausfall ist ein Ausfall, der durch Einsatzbedingungen oder Umgebungseinflüsse verursacht wird. Bei einem kommandierten Ausfall handelt es sich um einen Ausfall infolge falscher Ansteuerung oder den Ausfall einer Hilfsquelle.¹⁹⁾

Das Feststellen von Ausfällen, das Eintragen in Kommentarrechtecke und die Herstellung logischer Verknüpfungen wird nach dem Top-down-Prinzip so lange fortgesetzt, bis an den Enden aller Zweige des Fehlerbaums Primärausfälle von Komponenten bzw. (bei offenen Systemen) Sekundärereignisse als Ursache für den Ausfall einer

¹⁸⁾ Brüggemann/Bremer 2015, S. 41

¹⁹⁾ Brüggemann/Bremer 2015, S. 41 f., und DIN 25424, Teil 1, S. 2

Komponente stehen. Den Primärausfällen von Komponenten bzw. den Sekundärerignissen werden Eintrittswahrscheinlichkeiten zugeordnet, die z. B. mithilfe von Versuchen ermittelt werden.²⁰

Bild 4.2 zeigt den vollständigen schematischen Aufbau einer Fehlerbaumanalyse. Die gestrichelten Linien zeigen an, dass der Fehlerbaum an dieser Stelle nicht weiterentwickelt ist.

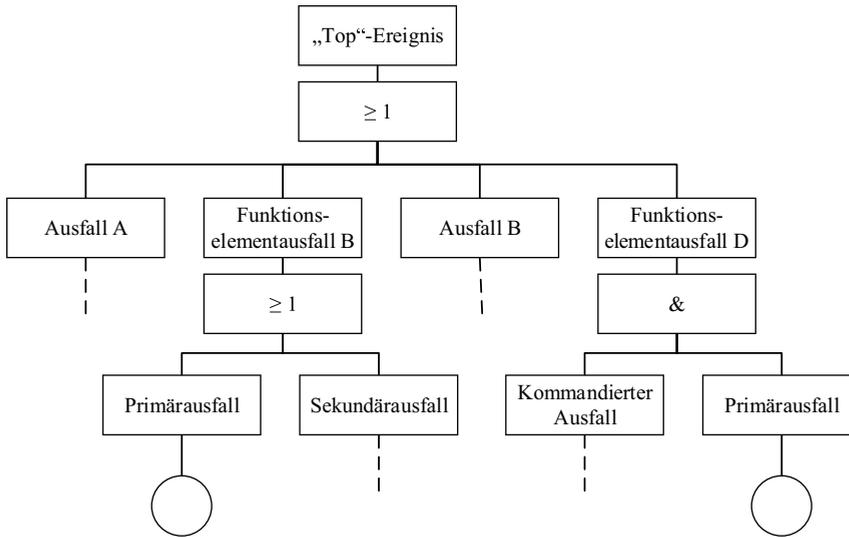


Bild 4.2 Gesamtschema eines Fehlerbaums (eigene Darstellung)

Auswertung des Fehlerbaums

In der letzten Phase erfolgt die Auswertung des erstellten Fehlerbaums. Je nach Zielsetzung kann diese qualitativ oder quantitativ erfolgen.²¹ Ziel ist die systematische Erfassung von Ausfallkombinationen, ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit sowie der Eintrittswahrscheinlichkeit des „Top“-Ergebnisses.

Qualitative Analyse (minimale Schnitte)

Bei der qualitativen Analyse wird anhand der Struktur des Fehlerbaums die Bedeutung einzelner Ausfälle und Ausfallkombinationen bewertet. Dazu werden sogenannte Minimalschnitte ermittelt. Minimalschnitte sind Ausfälle und Ausfallkombinationen, die direkt zum unerwünschten Ereignis führen und keine anderen Ausfallkombinationen mehr enthalten. Zur Ermittlung der Minimalschnitte lässt sich jeder Fehlerbaum auf drei Ereignisebenen reduzieren. Dabei enthält Ebene 0 eine ODER-Verknüpfung,

²⁰ Brüggemann/Bremer 2015, S. 42

²¹ Brüggemann/Bremer 2015, S. 42

Ebene 1 eine UND-Verknüpfung und Ebene 2 nur Primäreignisse. Die Menge der Eingänge jeder UND-Verknüpfung bildet dann eine Ausfallkombination.²²⁾ Die qualitative Analyse ist in der Regel für die meisten Analysen ausreichend.

In Bild 4.3 ist beispielhaft eine Minimalschnittsdarstellung aufgezeigt. Dabei handelt es sich bei den Ausfallkombinationen A1 und A2 um Minimalschnitte. A3 (1, 2, 4, 5) enthält die Ausfallkombination A1 (1, 2, 4) und ist deshalb kein Minimalschnitt. Das Ergebnis ist ein stark vereinfachter Fehlerbaum.

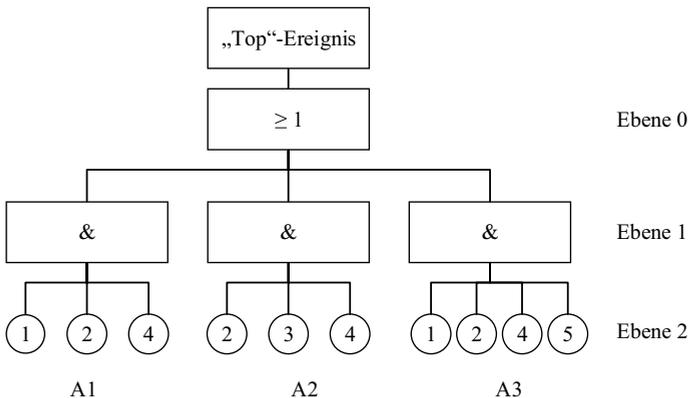


Bild 4.3 Beispielhafte Minimalschnittsdarstellung eines Fehlerbaums (eigene Darstellung in Anlehnung an DIN 25424, Teil 2, S. 2)

Die Minimalschnitte werden basierend auf der Anzahl der enthaltenen Ausfälle geordnet. Die Wahrscheinlichkeit des Eintretens des „Top“-Ereignisses steigt, je weniger Ausfälle in einem minimalen Schnitt enthalten sind. Daher werden die minimalen Schnitte mit den geringsten Ausfällen als am bedeutendsten bewertet. Aus dieser Bewertung lässt sich ableiten, an welchen Stellen im System Absicherungen sinnvoll sind.²³⁾

Quantitative Analyse

Bei der quantitativen Auswertung werden Zuverlässigkeitskenngrößen des Systems aus den Eintrittswahrscheinlichkeiten der Primärausfälle von Komponenten abgeleitet. Dazu zählen beispielsweise die Eintrittshäufigkeit des „Top“-Ereignisses ($p(C)$) oder die Häufigkeit von Ausfallkombinationen.²⁴⁾

²²⁾ Brüggemann/Bremer 2015, S. 42, und DIN 25424, Teil 2, S. 2

²³⁾ Brüggemann/Bremer 2015, S. 43

²⁴⁾ Brüggemann/Bremer 2015, S. 43

Bei der Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit des „Top“-Ereignisses und der Ausfallkombinationen sind die in Tabelle 4.5 angegebenen Verknüpfungsregeln zu beachten.

Tabelle 4.5 Verknüpfungsregeln für UND- und ODER-Verknüpfungen (eigene Darstellung in Anlehnung an Brüggemann/Bremer 2015, S. 44)

Verknüpfungsart	Mathematische Betrachtung
	$p(C) = p(AB) = p(A) \cdot p(B)$
	Voneinander abhängige Ausfälle: $p(C) = p(A+B) = p(A) + p(B) - p(AB)$ Voneinander unabhängige Ausfälle: $p(C) = p(A+B) = p(A) + p(B)$



Ereignisse werden als unabhängig betrachtet, wenn ihre Ausfallwahrscheinlichkeit von keinem anderen Ereignis beeinflusst wird. Generell werden bei der Fehlerbaumanalyse Primäreignisse als unabhängig behandelt, da man in der Regel nicht davon ausgeht, dass ein Fehlerzustand einen anderen ausschließt.

Zur Berechnung von Zuverlässigkeitskenngrößen sind oft Vereinfachungen des Fehlerbaums erforderlich. Dabei werden Verknüpfungen zusammengefasst und Vermaschungen beseitigt bzw. in vermaschungsfreie Teilfehlerbäume separiert.²⁵⁾



Aufgrund der Komplexität vieler Systeme und der Fehleranfälligkeit bei manueller Berechnung werden Auswertungen von Fehlerbäumen häufig rechnergestützt durchgeführt.²⁶⁾

²⁵ Brüggemann/Bremer 2015

²⁶ Brüggemann/Bremer 2015

Abschließend werden die gewonnenen Ergebnisse ausgewertet, um angemessene Maßnahmen zu ergreifen.

Die Checkliste in Tabelle 4.6 stellt sicher, dass alle zur Erstellung und Auswertung eines Fehlerbaums notwendigen Schritte abgearbeitet werden.

Tabelle 4.6 Checkliste Fehlerbaumanalyse

Checkliste Fehlerbaumanalyse	Check
Systemanalyse	
Identifikation der Funktionen und zulässigen Abweichungen	
Identifikation der Betriebszustände	
Bestimmung der Umgebungsbedingungen	
Identifikation der Hilfsquellen	
Identifikation der Komponenten und deren Zusammenwirken	
Analyse des Verhaltens des Systems	
Erstellung des Fehlerbaums <ul style="list-style-type: none"> ▪ Festlegung des Top-Ereignisses ▪ Definition des Ausfalls durch die Festlegung klarer Kriterien ▪ Angabe der Ausfallhäufigkeit, der Nichtverfügbarkeit sowie des zugrunde liegenden Zeitintervalls ▪ Festlegung der Ausfallarten ▪ Aufstellen des Fehlerbaums: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Eintragen des unerwünschten „Top“-Ereignisses ▪ Zuordnung aller möglichen Ausfälle, die unmittelbar zum Eintritt des unerwünschten Ereignisses führen²⁷⁾ ▪ Eintragen weiterer Ausfälle – so lange, bis nur noch Primär- bzw. Sekundärereignisse am Ende aller Zweige stehen ▪ Zuordnung von Eintrittswahrscheinlichkeiten zu den Primär- bzw. Sekundärereignissen 	
Auswertung des Fehlerbaums <p>Qualitative Analyse (minimale Schnitte):</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fehlerbaum auf drei Ebenen reduzieren (Ebene 0: ODER, Ebene 1: UND, Ebene 2: Primärausfälle) ▪ Sortieren der Minimalschnitte nach der Anzahl der enthaltenen Ausfälle <p>Quantitative Analyse:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit des „Top“-Ereignisses ▪ Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeiten der Ausfallkombinationen 	



²⁷⁾ Brüggemann/Bremer 2015

Bei der Durchführung der FTA sollte auf Folgendes geachtet werden:

- genormte Symbole für die FTA verwenden
- Software bei komplexen Aufgaben verwenden
- übersichtliche und strukturierte Darstellung des Fehlerbaums
- Software nicht ohne grundlegendes Methodenverständnis anwenden
- keine Fehlerursachen unterschlagen
- qualitative Analyse nur mit statistischen Grundkenntnissen anwenden (sonst Gefahr der Zahlenlotterie)

4.1.3 Anwendungsbeispiel

Die Methode der Fehlerbaumanalyse wird anhand eines geeigneten anschaulichen Beispiels geringer Komplexität schrittweise erläutert. Die nachfolgenden Erläuterungen beziehen sich auf das Beispiel „Wäsche aufhängen“. Es soll ein Fehlerbaum für das System von zwei Hosen, welche an einer Wäscheleine zum Trocknen aufgehängt wurden, erstellt werden.²⁸⁾

Der Lösungsweg erfolgt analog zu den zuvor in den methodischen Grundlagen beschriebenen drei Phasen: Im ersten Schritt wird das System analysiert, im Anschluss erfolgt die Erstellung des Fehlerbaums und zuletzt wird dieser ausgewertet.

(1) Systemanalyse

Das System besteht aus den Hosen (Hose A und Hose B), die getrocknet werden sollen, dem Wäscheständer mit den beiden Komponenten Wäscheleine und Gestell sowie den Klammern zum Aufhängen der Wäsche.

(2) Erstellung des Fehlerbaums

Ganz oben im Fehlerbaum steht das unerwünschte „Top“-Ereignis: Es befindet sich keine saubere Hose nach dem Trocknen an der Leine. Dieses Ereignis kann eintreten, wenn beide Hosen auf den Boden fallen. Aus diesem Grund erhält diese Ebene eine UND-Verknüpfung. Anschließend werden mögliche Fehlerursachen gesucht: Wie kann es dazu kommen, dass die Hosen auf den Boden fallen?²⁹⁾ Dieses unerwünschte Ereignis tritt ein, wenn die Leine reißt, das Gestell defekt ist oder die Klammern versagen. Auf äußere Einflüsse wie beispielsweise Wettereinflüsse wird verzichtet, um das Beispiel möglichst einfach zu halten.

²⁸⁾ Edler et al. 2015, S. 71

²⁹⁾ Edler et al. 2015, S. 73