Myron Tribus

**Planungs- und
Entscheidungstheorie
ingenieurwissenschaftlicher
Probleme**

Myron Tribus

Planungs- und Entscheidungstheorie ingenieurwissenschaftlicher Probleme

Mit 90 Bildern

Friedr. Vieweg + Sohn · Braunschweig

Titel der amerikanischen Originalausgabe:
Rational Descriptions, Decisions and Designs

Copyright © 1969 by Pergamon Press Inc. Elmsford, N. Y.

Übersetzer: Ferdinand Cap

1973

Alle Rechte an der deutschen Ausgabe vorbehalten
Copyright © 1973 der deutschen Ausgabe by Friedr. Vieweg + Sohn GmbH, Verlag, Braunschweig
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1973

Die Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder, auch für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, gestattet das Urheberrecht nur, wenn sie mit dem Verlag vorher vereinbart wurden. Im Einzelfall muß über die Zahlung einer Gebühr für die Nutzung fremden geistigen Eigentums entschieden werden. Das gilt für die Vervielfältigung durch alle Verfahren einschließlich Speicherung und jede Übertragung auf Papier, Transparente, Filme, Bänder, Platten und andere Medien.

Satz: Friedr. Vieweg + Sohn, Braunschweig

Buchbinder: W. Langelüddecke, Braunschweig

ISBN 978-3-322-98574-3 ISBN 978-3-322-98573-6 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-322-98573-6

Geleitwort

Seit dem Erscheinen des ersten Buches von Dr. *Tribus – Thermostatics and Thermodynamics* – sind nun gut acht Jahre vergangen. Dieses Buch schuf einen neuen Zugang zur Lehre der statistischen Thermodynamik. Auf die Arbeiten von *E. T. Jaynes* aufbauend, der als erster den Formalismus der Informationstheorie in Richtung auf die statistische Mechanik verallgemeinert hat, zeigt *Tribus*, wie man die Informationstheorie dazu verwenden kann, eine sicherere Basis für die statistische Thermodynamik zu erhalten, als es bisher möglich war. Die wesentliche logische Lücke – das Ergodenproblem – wurde dadurch nicht nur überbrückt, es wurde sogar gezeigt, daß das Problem irrelevant ist. Eine im Wesen neue Straße wurde gebaut, und zwar auf einer Route, auf der es keine Lücke zu überbrücken gab. Wahrscheinlich ist die Bedeutung dieses Buches jedoch noch höher. Obwohl Dr. *Tribus* nicht ganz übereinstimmen wird, aber es gibt andere analytische Wege als Zugänge zur Thermodynamik, und die gesamte statistische Thermodynamik muß als Komplement – ein wertvolles Komplement – zur makroskopischen Analyse und als Erklärung makroskopischer Phänomene betrachtet werden. Was jedoch das Gebiet des Treffens von Entscheidungen anbelangt, die Organisation von Verhaltensweisen, und die Aktion von bewußt Denkenden inmitten eines Wirrwarrs von sich widersprechenden Zielen, so kann hier keine analoge makroskopische Analyse existieren – außer der Beurteilung durch Historiker nach langer Zeit und der Rechnungsprüfer über kurze Intervalle.

Natürlich gibt es viele spezielle Lehrbücher über das Gebiet der statistischen Orientierung beim Treffen von Entscheidungen. Die Spieltheorie, die Theorie industrieller oder militärischer Strategien, die Theorie der Zuverlässigkeit, die Erneuerungstheorie, usw., alle haben in den letzten zwanzig Jahren von der Berührung mit der Informationstheorie und von der wieder zu Ansehen gekommenen Bayesischen Statistik profitiert. Ich glaube, daß es einer der wichtigsten Aspekte des vorliegenden Buches ist, daß der Autor selbst kein Spezialist auf einem dieser Gebiete ist. Als ausgezeichnete Ingenieur ist er sich jedoch bewußt, wieviele Entscheidungen auf jeder Stufe eines Planungsprozesses zu treffen sind, und er hat klarer als die meisten anderen empfunden, welch ein Kontrast gewöhnlich zwischen der analytischen Sorgfalt besteht, die ein Planungsingenieur seinen physikalischen und technischen Studien des Problems entgegenbringt, und den nicht-analytischen Urteilen, die er, oder andere für ihn, in Hinblick auf die unzähligen Wahlen von Aktion, Ziel und Synthese macht. Solch ein Kontrast ist unerwünscht, da er die wünschenswerte Einheit des gesamten technischen Prozesses stört, in dem Analysis und Berechnung einerseits, und Entscheidung und Aktion andererseits unvermeidlich stetig miteinander in Wechselwirkung stehen. Als ausgezeichnete Pädagoge bemerkt Dr. *Tribus*, daß der Ingenieur und der Ingenieurstudent, der die Prinzipien bei der Anwendung der Analysis auf Urteile und Entscheidungen zu begreifen versucht, von einem Buch profitieren muß, das vom Standpunkt der Vertrautheit mit der Ingenieurtradition der analytischen Planung geschrieben ist.

Es ist charakteristisch für diese Tradition, daß man bei allen speziellen Problemen, wie detailliert und wie individuell sie auch sein mögen, stets daran denkt, daß sie von ganz wenigen physikalischen Gesetzen beherrscht werden, den Gesetzen der Newtonschen Mechanik und den zwei Hauptsätzen der Thermodynamik. Indem er alle Aspekte der rationalen Entscheidungstheorie auf dem Basisformalismus der Informationstheorie aufbaut — gerade jener Basis, die er schon für eine physikalische Wissenschaft verwendet hat — stellt Dr. *Tribus* den Gegenstand unmißverständlich innerhalb diese Tradition.

Kurz gesagt, während es wichtig war, daß jemand ein Buch dieser Art schreibt, war es ganz besonders wichtig, daß ein Ingenieur es schreiben würde. Daß die Aufgabe die Aufmerksamkeit eines Mannes wie Dr. *Tribus* fand, der als Ingenieur wie als Lehrer gleich befähigt ist, ist gleichzeitig ein Maß für ihre echte Bedeutung. Dafür wird ihm, ich bin mir dessen sicher, in Zukunft noch so mancher dankbar sein. Er hat die Aufgabe, die er sich selbst gestellt hat, auf bewundernswerte Weise gelöst.

R. S. Silver

Vorwort

Die zentrale Tätigkeit der Technik ist im Gegensatz zur Wissenschaft die Konstruktion neuer Vorrichtungen, neuer Verfahren und neuer Systeme, die wirtschaftliche Hilfsquellen auf Kosten thermodynamischer Prozesse, der Zeit, des Raumes und anderer natürlicher Hilfsquellen schaffen. Der Beitrag der Technik wird danach beurteilt, ob die produzierten Werte die zerstörten Werte aufwiegen. Technik ist eine Kunst, die auf der Wissenschaft beruht. Die Unterscheidung zwischen Kunst und Wissenschaft lautet im Wörterbuch von Webster so: „Die Wissenschaft lehrt uns zu *Wissen*, die Kunst lehrt uns zu *Tun*.“ Die Kunst der Navigation war einst auf der Wissenschaft der Astronomie begründet.

Technische Planung muß auf wissenschaftlichen Fundamenten ruhen, wenn sie nicht zu weit vom Wege abkommen will. Das Wort Planung wird hier im weitesten Sinne gebraucht. Planung muß vom Erkennen einer Notwendigkeit ausgehen und die folgenden Phasen durchlaufen (wenn auch nicht notwendig in der gegebenen Reihenfolge):

- a) Ersinnen von Lösungen.
- b) Wahl von mindestens einer verheißungsvollen Lösung.
- c) Eventuell Entwicklung neuer Informationsquellen und neuer Techniken.
- d) Organisation der Hilfsmittel für die Produktion.
- e) Verwaltung der Hilfsmittel.
- f) Verteilung des Produkts.
- g) Verfügung über den Abfall.

Technische Planung erfordert auch die Erstellung einer Werteskala. Das Wertesystem bestimmt, wie die Planung zu beurteilen ist. Es ist völlig sinnlos, eine Planung zu versuchen, ohne zuerst das Wertesystem zu bestimmen, innerhalb dessen das Produkt zu beurteilen ist.

Wenn die Planung durch eine einzige Person durchgeführt wird, so liegt keine Notwendigkeit vor, die verschiedenen Phasen des Planungsprozesses zu unterscheiden und in formaler Weise zu behandeln. Wenn ein großes System zu entwerfen ist, oder wenn es sich um eine Massenproduktion handelt, so führt ein Mann allein selten die Planung während mehr als einer oder zweier Phasen durch. Wenn die Planung durch ein Planungsteam ausgeführt wird (und dies ist die normale Planungsmethode in unserer Zeit), so ist es wichtig, daß die Mitglieder des Teams sich im Verlauf ihrer individuellen Aufgaben untereinander verständigen. Von Zeit zu Zeit müssen die Mitglieder des Teams zusammentreffen, ihre gemeinsamen Probleme besprechen und über die nächsten Aktionen entscheiden.

Allen B. Rosenstein beschrieb die technische Planung als „Prozeß der iterativen Entscheidungen“. Dieser besondere Funke von Einsicht bildet die Grundlage für dieses Buch. Der gesamte Planungsprozeß wird hier als mehrfache Wiederholung eines *Einheitsprozesses* aufgefaßt (um in der Ausdrucksweise der chemischen Industrie zu sprechen), der aus zwei Basisschritten besteht:

- a) Die Schaffung einer oder mehrerer möglicher Alternativen.
- b) Die versuchsweise Annahme einer der speziellen Alternativen.

Keine Planung wird je mit vollständigen Kenntnissen abgewickelt werden können, weder in Hinblick auf die Verwendung, zu der das Produkt gelangen wird, noch in Hinblick auf die technischen Eigenschaften des Materials und der Teilsysteme, die dabei verwendet werden. Aus diesem Grund muß ein Planungsingenieur in der Lage sein, mit der Unsicherheit fertig zu werden.

Diese Art von Determinismus ist für die wohlbekannte Diskrepanz zwischen den Lehrbuchproblemen und den im tatsächlichen Leben gefundenen Probleme verantwortlich.

Obwohl in den Ingenieurschulen keine formalen Methoden zur Behandlung von Unsicherheiten gelehrt werden, lernen Ingenieure in der Praxis bald eine Vielfalt von Methoden kennen, welche die Beschränktheit in den eigenen Kenntnissen zu berücksichtigen erlauben. Diese Methoden sind zum Großteil persönlicher und privater Art. Sie beruhen fast ausschließlich auf Intuition. Diese Methoden sind oft überraschend gut, sie sind jedoch meist ziemlich schwerfällig – und was wichtig ist, sie sind schwer von einem Ingenieur zum anderen zu übertragen. Man braucht nur an eine typische Zusammenkunft zu denken, bei der eine schwierige Planungsentscheidung zu treffen ist, um zu erkennen, wie viel Zeit damit verloren geht, daß ein Planer einem anderen zu erklären versucht, wieviel Risiko man einzugehen hat. In der Tat wirkt es für einen jungen Ingenieur oft wie ein Schock, wenn er erkennen muß, daß jede Planung ein Risiko einschließt und daß er lernen muß, effektiv ein Risiko hinzunehmen.

Der Zweck dieses Buches liegt in der Bereitstellung eines formalen Hilfsmittels zum Treffen von technischen Entscheidungen. Die zugrunde liegenden Gedanken stellen die Adaptation von auf anderen Gebieten geleisteter Arbeit dar, besonders auf dem Gebiet der seit Kurzem entwickelten *Entscheidungstheorie*.

Plan für das Buch

Wenn ein formales Verfahren zum Treffen von Entscheidungen durch Ingenieure übernommen und verwendet werden soll, so muß es so entwickelt worden sein, daß die logischen Voraussetzungen einer Überprüfung zugänglich sind. Die Theorie darf dem Verstand nicht widersprechen – wenigstens muß man in der Lage sein, seine allgemeinen Kenntnisse mit den Ergebnissen der Theorie in Einklang zu bringen. Das Verfahren muß praktisch und leicht anzuwenden sein. Die Methoden sollten so beschaffen sein, daß sie im Zusammenhang mit technischen Problemen brauchbar sind.

Aus diesen Anforderungen ergab sich der Titel der Originalausgabe “Rational Descriptions, Decisions and Designs” (Rationale Beschreibungen, Entscheidungen und Planungen); er sollte zugleich ein Hinweis auf den inhaltlichen Aufbau des Buches sein.

Im ersten Teil des Buches wird die Bedeutung des Wortes *rational* erklärt. Die Prämissen der Theorie werden dargelegt, und die Schlußfolgerungen aus den Prämissen erforscht. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist ein eindeutiger *Kode* zur Verständigung unter Unsicherheit.

Der zweite Teil des Buches befaßt sich mit dem Gebrauch dieses *Kodes* zur Mitteilung von Kenntnissen. Solche Mitteilungen heißen *Beschreibungen*. Es handelt sich um *rationale*

Beschreibungen in dem Sinne, der dem Wort rational im ersten Teil gegeben wurde. Solche Beschreibungen haben den Zweck, weder mehr noch weniger mitzuteilen, als die Person wünscht, welche die Mitteilung macht.

Der dritte Teil des Buches befaßt sich mit einem Verfahren zum Treffen von rationalen Entscheidungen, wenn die verfügbaren Beschreibungen unvollständig sind. In diesem Teil des Buches wird gezeigt, daß die üblichen Verfahren der Entscheidungstheorie aus den im ersten Teil des Buches dargelegten Prämissen folgen. Diese Verfahren werden durch Anwendung auf verschiedene technische Probleme erläutert.

Der vierte Teil des Buches befaßt sich mit der Verwendung dieser Methoden bei der technischen Planung.

Beziehung zu anderen Arbeiten

Dieses Buch sollte in Beziehung zu anderen Beiträgen zum Gebiet der technischen Planung betrachtet werden, die nun verfügbar werden. Solche Bücher spiegeln ein wachsendes Interesse für die Entwicklung der *Entscheidungstheorie* wider. Die Einführungen in den meisten dieser Bücher ähneln einander darin, daß sie einen systematischen Plan für die Ausführung einer Planung darbieten. Das vorliegende Buch befaßt sich mehr mit den logischen Grundlagen für solche systematische Zugänge. Es besteht hier kein Widerspruch in der Auffassung – nur die Betonung liegt anders. Da ein Versuch unternommen wurde, die *Eindeutigkeit* des hier entwickelten Zugangs zu beweisen, sind die Ergebnisse in mehr mathematische Form gekleidet, als man üblicherweise in einem den Planungsmethoden gewidmeten Buch antrifft. In diesem Sinne darf der Inhalt dieses Buches als Beitrag zur *Wissenschaft vom Treffen von Entscheidungen* bezeichnet werden, welche die Grundlage für die *Kunst des Treffens von Entscheidungen bei technischer Planung* bildet.

Ferner besteht ein wichtiger Zusammenhang zwischen dem Inhalt dieses Buches und einer allgemeinen Streitfrage, die im Bereich der Wahrscheinlichkeitstheorie viel Aufregung hervorzurufen scheint. Das Werk wurde ohne jede voreingenommene Ansicht begonnen, daß eine der verschiedenen streitenden Parteien recht hat. Aber die Ergebnisse der logischen Prozesse scheinen zu ergeben, daß die als *Bayesier* bezeichnete Gruppe von Statistikern eher recht zu haben scheint als die sogenannten *Klassiker*. Natürlich ist die Sachlage nicht so klar, daß sie die Verwendung so kurzer Worte wie „richtig“ oder „falsch“ gestatten würde. In der Tat kann ein Buch, das von der Unsicherheit handelt, selten zu einer derartigen Unterscheidung gelangen. Trotzdem glaubt der Autor, daß die hier gegebene Einführung die Basis für ein Verständnis dessen bilden kann, was der Unterschied zwischen den rivalisierenden Ansichten ist und warum der Bayesische Zugang Vorteile besitzt.

Dieses Werk ist zum Teil durch ein Stipendium der General Electric Company unterstützt worden. Für seine Hilfe und seine Ermunterung sei Herrn C. C. *Leader* herzlich gedankt.

Viele der in diesem Buch ausgearbeiteten Probleme fanden eine Förderung durch die National Science Foundation. Ohne deren Unterstützung wäre in der Tat das Buch kaum

geschrieben worden, da zur Ausarbeitung der verschiedenen theoretischen Probleme, die andauernd auftraten, die Hilfe eines stetigen Stromes von fortgeschrittenen Studenten nötig war.

Ich möchte an dieser Stelle gerne meine Dankesschuld an mehrere dieser Studenten zum Ausdruck bringen. Herr *Gary Crellin* bearbeitete viele Probleme beim Test von Hypothesen, ebenso Herr *Richard Kornblum*. Herr *John Kunz* klärte einige Gesichtspunkte im Zusammenhang mit den Kontingenztabellen. Herr *Gary Fitts* löste einige interessante Probleme.

Herr *Robert Evans* war seit dem Beginn des Werks ein interessierter Kollege, ich schulde seinem Ideenreichtum viele Einfälle.

Herr *R. H. Norris* las das Manuskript und machte zahlreiche Vorschläge, die übernommen wurden.

Dr. *D. V. Lindley* las und kritisierte freundlicherweise einige Kapitel des Manuskripts. Dadurch konnten einige Fehler aufgedeckt und manche Unklarheiten beseitigt werden. Dr. Lindleys eigene Veröffentlichungen über Bayesische *Schlußweisen* boten große Hilfe.

Herr *Jacques Pezier* half bei der Korrektur des gesamten Manuskripts. Einige Originalbeiträge in den Kapiteln VI und VII stammen von ihm. Herr *Pezier* bereitet die französische Übersetzung dieses Buches vor.

Neben allem gilt meine Anerkennung dem Kiewit Computation Center am Dartmouth College, das mir durch die Entwicklung eines Time-Shared-Computer's ermöglichte, die Rechenbeispiele wirksam und schnell in der Isolation meines Zuhause mit Hilfe einer Teletype-Maschine auszuführen, die mit dem zentralen Computer in Verbindung stand. Aufgrund dieser Erfahrung prophezeie ich, daß kein Autor eines ähnlichen Lehrbuches es in Zukunft ohne gleichartige Hilfe wagen wird, sein Manuskript vorzubereiten.

M. Tribus

Inhaltsverzeichnis

1.	Was verstehen wir unter rational ?	1
1.1.	Was hat die Sorge um Rationalität mit Planung zu tun ?	2
1.2.	Induktive Logik	3
1.3.	Forderungen an einen Computer mit induktiver Logik	4
1.4.	Eine erste Folgerung aus den Forderungen	5
1.5.	Eine zweite Folgerung aus den Forderungen	12
1.6.	Die Funktionalgleichungen	13
1.7.	Eine Lösung für die Funktionalgleichung	17
1.8.	Eine zweite Funktionalbeziehung	20
1.9.	Eine spezielle Wahl der Variablen	22
1.10.	Über erlaubte Transformationen	25
1.11.	Das Problem des logischen Schließens	27
1.12.	Anhang	29
	A. Die Lösung der ersten Funktionalgleichung	29
	B. Die Lösung der zweiten Funktionalgleichung	33
2.	Rationale Beschreibungen, einige mathematische Vorbemerkungen	35
2.1.	Wahrscheinlichkeit einer „Oder“-Aussage	35
2.2.	Eine geometrische Interpretation des Additionssatzes	36
2.3.	Übersichtstabelle	37
2.4.	Aufgaben	40
2.5.	Aufgaben	45
2.6.	Verkodung einer symmetrischen Kenntnis	46
2.7.	Unsymmetrische Folgerungen aus symmetrischen Kenntnissen	48
2.8.	Der Begriff einer Bernoullischen Versuchsfolge	49
2.9.	Die Multinomialverteilung	51
2.10.	Die Stirlingsche Näherung für $n!$ und $\log n!$	52
2.11.	Die Wahrscheinlichkeit einer speziellen Häufigkeit	52
2.12.	Der Begriff des Erwartungswertes	58
2.13.	Erwartungen und mathematische Erwartungen	59
2.14.	Die Varianz und höhere Momente	60
2.15.	Zusätzliche Bemerkungen über den Unterschied zwischen Häufigkeit und Wahrscheinlichkeit	62
2.16.	Stetige Verteilung	64
2.17.	Deterministische Kenntnisse über eine diskrete oder stetige Variable	68
3.	Die Gleichung von Bayes und das Problem des logischen Schließens	69
3.1.	Die Gleichung von Bayes	69
3.2.	Die Bayes'sche Gleichung und die Rolle der a priori-Wahrscheinlichkeit – Die Erweiterungsregel	74
3.3.	Über die Nutzlosigkeit von Erörterungen über den Bedarf an a priori-Wahrscheinlichkeiten	76
3.4.	Das Konzept der statistischen Abhängigkeit	78
3.5.	Test einer Hypothese und die Evidenzform der Bayes'schen Gleichung	78
3.6.	Beispiel für ein Problem: Der Zündkerzenhersteller	82
3.7.	Vielfache Ausgänge und Nicht-Bernoulli Prozesse	89
3.8.	Gibt es eine Hypothese, die wir nicht betrachtet haben	94
3.9.	Der Chi-Quadrat-Test einer Hypothese	97
3.10.	Test eines Generators für Zufallszahlen	100

4.	Ein rationales Maß für die Unsicherheit	102
4.1.	Entropie als Maß für die Unsicherheit	105
4.2.	Die Verwendung von mehrwertigen Fragen	109
5.	Das Prinzip der maximalen Entropie	113
5.1.	Der Formalismus der maximalen Entropie	114
5.2.	Beweis dafür, daß S ein lokales Maximum und nicht ein lokaler Sattelpunkt ist	117
5.3.	Einige Eigenschaften der Verteilung mit maximaler Entropie	118
5.4.	Wahrscheinlichkeitsverteilungen mit maximaler Entropie	121
5.5.	Die uniforme Verteilung	121
5.6.	Die Exponentialverteilung	123
5.7.	Die verkürzte Gaußsche Verteilung und die Normalverteilung	125
5.8.	Die Gammaverteilung	136
5.9.	Die unvollständige Gammafunktion	140
5.10.	Die Betaverteilung	141
5.11.	Einige andere Wahrscheinlichkeitsverteilungen	145
5.12.	Die Entropie und der Test von Hypothesen	147
5.13.	Einige Rechenbeispiele	150
5.14.	Anhang	158
	C. Die Fehlerfunktion und ihre Approximation	158
	D. Verwendung der Digammafunktion zur Anpassung der Betaverteilung	166
6.	Kontingenztafeln	171
6.1.	Einige Beispiele für Kontingenztafeln	171
6.2.	A priori-Information	174
6.3.	Die Summierungsvereinbarung	175
6.4.	Ein wichtiges Integral	175
6.5.	Die 2×2 -Tafel mit dem Kenntnisstand 1A	176
6.6.	Die $r \times s$ -Tafel mit dem Kenntnisstand 1A	182
6.7.	Der Entropietest und der Chi-Quadrat-Test	185
6.8.	Der Effekt von Kontrollen während des Experiments (Kenntnis 1B)	187
6.9.	Test der Analyse durch Simulation	191
6.10.	Ein Programm zur Simulation einer Kontingenztafel mit zwei Niveaus	192
6.11.	Beschreibung der statistischen Wahrscheinlichkeit	197
6.12.	Der Effekt der a priori-Kenntnis vom System (Kenntnisstand X_{3A})	201
6.13.	Die Beziehung zwischen den a priori-Verteilungen für die Mitte der Tafel und deren Ränder	202
6.14.	Der Effekt einer präzisen Kenntnis der Wahrscheinlichkeit für ein Attribut (Kenntnisstand X_{2A})	204
6.15.	Kombination der Ergebnisse von zwei Tafeln	206
6.16.	Über die Widerspruchsfreiheit der Methode	208
6.17.	Die Tafel mit drei Niveaus (Kenntnisstand X_{1A})	211
6.18.	Simulationsabläufe zum Testen der Genauigkeit der Analyse der Tafel mit drei Niveaus	216
6.19.	Die Behandlung der Hypothesen H_8-H_{11}	222
6.20.	Anhang	225
	E. Ein bestimmtes mehrfaches Integral	225
	F. Ein Computerprogramm für die Tafel mit drei Niveaus	227

7.	Rationale Beschreibungen	236
7.1.	Abschätzung der Produktion eines Konkurrenten	237
7.2.	Die Anzahl der im Gebrauch stehenden Stücke	241
7.3.	Schätzung der Anzahl von Defekten	246
7.4.	Wahrscheinlichkeitsverteilungen für Summen – das Stapelproblem	250
7.5.	Eine Montage aus zwei Komponenten (Rechteckige Verteilung)	252
7.6.	Eine Montage aus drei Komponenten (Rechteckige Verteilung)	255
7.7.	Der zentrale Grenzwertsatz und das Prinzip von der maximalen Entropie	258
7.8.	Die Summe von Variablen, die alle durch eine Gaußsche Verteilung beschrieben werden	259
7.9.	Sukzessive Beobachtungen einer Geschwindigkeitskonstanten für den Massentransfer	260
7.10.	Abschätzung der Anzahl von Bestellungen	263
7.11.	Beweis für die Rekursionsformel	270
7.12.	Probleme mit Warteschlangen	271
7.13.	Der Poisson-Prozeß mit Betrachtungen über die maximale Entropie	272
7.14.	Die Poisson-Verteilung als Grenzfall einer Binominalverteilung	274
7.15.	Anwendung auf das Problem der Warteschlangen	275
7.16.	Seltene Ereignisse	283
7.17.	Eine Näherungsgleichung für kleine Wahrscheinlichkeiten (Das schwächste Kettenglied)	284
7.18.	Das größte Element einer Menge	287
7.19.	Rückschluß auf den Parameter α	292
7.20.	Die Wiederkehrperiode	294
7.21.	Eine Alternativmethode (Die Methode von Thomas)	295
7.22.	Anhang	298
	G. Die Z-Transformation	298
	H. Sprungfunktionen, Stufen- und Deltafunktionen	301
	I. Die Summe von Variablen, die alle durch eine Gaußsche Verteilung beschrieben werden	303
	J. Simulation mit einem Digitalrechner hoher Geschwindigkeit	305
	K. Die Jakobischen Funktionaldeterminanten bei einer Variablentransformation	313
8.	Entscheidungstheorie	316
8.1.	Was sind die Elemente einer Entscheidung	316
8.2.	Entscheidungsbäume	319
8.3.	Strategien und Werte	322
8.4.	Nutzen- oder Wertfunktionen	323
8.5.	Die Erstellung von Strategien	325
8.6.	Mehr über den Nutzen	331
8.7.	Der Nutzen von Geld	333
8.8.	Eine Nutzenkurve mit konstantem Verhalten	338
8.9.	Nutzen und a priori-Wahrscheinlichkeiten	340
8.10.	Der Wert einer perfekten Information	344
8.11.	Die Planung eines Experiments	347
8.12.	Sequentialtest	356
8.13.	Eine zweite Formulierung für die Entscheidungsanalyse	365
8.14.	Angebot unter Unsicherheit	366
8.15.	Anhang	369
	L. Bestimmung der optimalen Lage für die Beendigung des Wald'schen Sequentialverfahrens	369

9.	Technische Planung	373
9.1.	Auf der Suche nach einer Theorie des Planungsprozesses	373
9.2.	Der Nutzen	376
9.3.	Die Erzeugung von Alternativen	377
9.4.	Der Planungsprozeß	378
9.5.	Warum überhaupt Entscheidungstheorie?	380
9.6.	Entscheidungstheoretische Lösung des Pfeifchenproblems	382
9.7.	Die Planung eines Senders	388
9.8.	Die Planung eines Voltmeters	394
9.9.	Anhang	401
	M. Die Beziehung zwischen der Leistung des Systems und der Leistung der Komponenten	401
10.	Zuverlässigkeitstechnik	404
10.1.	Rationale Beschreibung der Zuverlässigkeit	404
10.2.	Der Begriff des Schwierigkeitsgrades	407
10.3.	Einige Grundbegriffe der Zuverlässigkeitstechnik	408
10.4.	Zwang der Sterblichkeit	409
10.5.	Abnutzung oder Funktionsprüfung	410
10.6.	Verbesserung der Daten über die Zuverlässigkeit	412
10.7.	Die Verwendung von Daten über die Lebensdauer zur Erstellung einer Exponentialverteilung	413
10.8.	Die Wirkung von Versagern	419
10.9.	Die Wahrscheinlichkeit für einen Versager	420
10.10.	Die Erfolgswahrscheinlichkeit	421
10.11.	Asymptotisches Verhalten für große Werte von n	421
10.12.	Eine andere Darstellung der a priori-Kenntnis	422
10.13.	Die Bayes'sche Schlußweise im Gegensatz zu klassischen Verfahren	424
10.14.	Versager eines Systems von Komponenten in Serienschaltung	429
10.15.	Die Tyrannei der Zahlen	431
10.16.	Parallelsysteme oder redundante Systeme	433
10.17.	Serien- und Parallelsysteme	434
10.18.	Die Wahrscheinlichkeit für ein Versagen unter Belastung	435
10.19.	Näherungen für die Wahrscheinlichkeitsverteilungen aus den Daten über die Toleranzen	437
10.20.	Matrixmethoden	439
10.21.	Anhang	451
	N. Berechnung eines bestimmten Integrals	451
	Sachwortverzeichnis	454