
Statistik für Ingenieure

Hartmut Schiefer · Felix Schiefer

Statistik für Ingenieure

Eine Einführung mit
Beispielen aus der Praxis

 Springer Vieweg

Hartmut Schiefer
Mönchweiler, Deutschland

Felix Schiefer
Stuttgart, Deutschland

ISBN 978-3-658-20639-0

<https://doi.org/10.1007/978-3-658-20640-6>

ISBN 978-3-658-20640-6 (eBook)

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

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2018

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

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

Lektorat: Thomas Zipsner

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

*Es gibt zu jeder technischen Aufgabe zumindest
eine Lösung,
und zu jeder Lösung existiert eine bessere.*

Vorwort

Der Ingenieur nutzt in vielfältiger Weise statistische Methoden in seiner Arbeit. Dabei ergibt sich aus den wirtschaftlichen und wissenschaftlich-technischen Anforderungen der Zwang, bessere Kenntnisse über technische Systeme wie deren Ursache-Wirkungs-Beziehung, die genauere Erfassung und Beschreibung von Versuchs- und Beobachtungsdaten und der Führung von technischen Prozessen zu erhalten.

Wir sind Ingenieure und für Ingenieure ist die Mathematik und damit auch die Statistik Arbeitsmittel. Wir verwenden mathematische Methoden in vielfältiger Weise. Und Ingenieure haben beeindruckende Beiträge zur Lösung mathematischer Aufgabenstellungen erbracht. Ich denke dabei an die Lösung der Fourier'schen Differentialgleichung durch numerische Diskretisierung von L. Binder (1910) und E. Schmidt (1924), an die Elastostatik-Element-Methode (ESEM, später als FEM bezeichnet) von A. Zimmer in den 1950er Jahren und an K. Zuse, der mit dem frei programmierbaren Rechner mit binären Zahlen (Z1-1937) Nestor moderner Rechentechnik ist.

Die vorliegenden Ausführungen sind eine Einführung in die statistischen Methoden, wie sie im Ingenieurbereich Anwendung finden. Ingenieure stehen immer unter dem Zwang, Zeit, Kosten und Material zu sparen. Dies kann der Ingenieur aber nur, wenn er die Kette von der Konstruktion über die Fertigung bis zur Anwendung des Produktes möglichst genau kennt. Die Statistik ist ein wichtiges Handwerkszeug, um diese Kenntnis der Zusammenhänge herzustellen.

Die technische Entwicklung geht einher mit einer Zunahme des Datenaufkommens in einem bisher nicht gekannten Ausmaß. In allen Bereichen ist dies feststellbar, in der Medizin ebenso wie im Ingenieurbereich und in den Naturwissenschaften. Diese Datenfülle zur tieferen Durchdringung von Ursache und Wirkung auszuwerten, ist Herausforderung und Chance zugleich. Mit der phänomenologischen Beschreibung des Zusammenhangs von Ursache und Wirkung wird die weitere theoretische Durchdringung ermöglicht – vom phänomenologischen Modell zur physikalisch-technischen Beschreibung.

Dieses Lehrbuch soll dazu beitragen, dass statistische Methoden breiter angewendet werden. Durch die Anwendung statistischer Methoden wird erreicht, dass statistisch fundierte Aussagen vorliegen, der Versuchsaufwand verringert wird, dass Versuchsergebnisse vollständig ausgewertet werden, also mehr und statistisch gesicherte Informationen aus den statistisch geplanten Versuchen oder aus Beobachtungen gewonnen werden. Inse-

samt kann durch die Anwendung der statistischen Methoden erreicht werden, dass effektiver und effizienter entwickelt, kostengünstiger und prozesssicherer gefertigt und bei Schadensfällen die Ursachen schneller gefunden werden.

Die in sieben Kapiteln dargestellten Inhalte statistischer Methoden sollen den Zugang zu der ausführlichen und umfangreichen Literatur in Büchern sowie im Internet erleichtern. In Beispielen wird die Anwendung dieser Methoden gezeigt.

Die vorliegenden Inhalte können hoffentlich eine kleine Brücke bauen zwischen Statistiker und Ingenieur.

Bitte nutzen Sie auch die Berechnungsangebote im Internet. Für Anregungen zur Verbesserung des Inhaltes und Hinweise auf Fehler sind wir dankbar.

Herrn Thomas Zipsner vom Verlag Springer Vieweg danken wir für die konstruktive Zusammenarbeit.

Mönchweiler und Stuttgart, Frühjahr 2018

Hartmut Schiefer
Felix Schiefer

Verzeichnis der Kurzzeichen

B	Bestimmtheitsmaß ($r^2 = B$)
c	Anzahl der fehlerhaften Teile
c_m	Maschinenbeherrschbarkeit
c_{mk}	Maschinenfähigkeit
c_p	Prozessbeherrschbarkeit
c_{pk}	Prozessfähigkeit
D	Durchschlupf
e	Residuum (Rest)
F	Beiwert nach Fischer (F -Verteilung, F -Test)
f	Freiheitsgrad
f_x	Vertrauensbereich für Messwerte
f_{xi}	Streumaß für Messwerte
G_{ym}	Fehlergrenze, absolute maximale
G_{ys}	Fehlergrenze, absolute statistische
H_j	theoretische Häufigkeit
h_j	empirische Häufigkeit, relative Häufigkeit
H_0	Nullhypothese
H_1	Gegenhypothese
K	Spannweitenkoeffizient
k	Anzahl der Klassen
$L(p)$	Annahmekennlinie, Operationscharakteristik
N	Anzahl der Werte der Grundgesamtheit
n	Stichprobenzahl, Anzahl der Messwerte
n_x	Anzahl bestimmter Ereignisse
P	Grundwahrscheinlichkeit
p	mittlere Wahrscheinlichkeit, Annahmewahrscheinlichkeit
Q	Grundgegenwahrscheinlichkeit
R	Spannweite
r	Korrelationskoeffizient
S	statistische Sicherheit

s	Standardabweichung, Streuung der Stichprobe
s^2	Varianz der Stichprobe, Dispersion
t	Beiwert nach Student (t -Verteilung, t -Test)
u_x, u_y	zufälliger Fehler, Unsicherheit
Z	Streuzaahl
z	z -Transformation
\bar{x}	arithmetisches Mittel der Stichprobe
\bar{y}	Mittelwert von y
x_D	häufigster Wert, Modalwert, Dichtemittel
\bar{x}_G	Geometrisches Mittel
\bar{x}_H	Harmonisches Mittel, reziproker Mittelwert
x_i	Messwert, Einzelmesswert
x_z	Zentralwert, Median
α	Irrtumswahrscheinlichkeit, Herstellerrisiko, Lieferantennisiko
α	Signifikanzniveau, Fehler erster Art
β	Fehler zweiter Art
β	Abnehmerrisiko
γ	Schiefe
$\Delta x, \Delta y$	Unrichtigkeit, systematischer Fehler
δ_x	systematischer Fehler
η	Exzess
λ	Wert der Normalverteilung
μ	Mittelwert der Grundgesamtheit
ν	Variationskoeffizient, Variabilitätskoeffizient
σ	Standardabweichung, Streuung der Grundgesamtheit
σ^2	Varianz der Grundgesamtheit
$\Phi(x)$	Verteilungsfunktion
$\varphi(x)$	Dichtefunktion
χ^2	Beiwert nach Helmert/Pearson (χ^2 -Verteilung, χ^2 -Test)

Inhaltsverzeichnis

1	Statistische Versuchsplanung, Design of Experiments (DoE)	1
1.1	Planen von Versuchen	1
1.1.1	Grundbegriffe	2
1.1.2	Grundprinzipien der Versuchsplanung	2
1.1.3	Durchführen von Versuchen	4
1.2	Versuchspläne	7
1.2.1	Vollständige faktorielle Versuchspläne	8
1.2.2	Lateinische Quadrate	10
1.2.3	Teilfaktorielle Versuchspläne	12
1.2.4	Faktorielle Versuchspläne mit Zentralpunkt	13
1.2.5	Zentral zusammengesetzte Versuchspläne	14
	Literatur	20
2	Charakterisierung von Stichprobe und Grundgesamtheit	21
2.1	Mittelwerte	22
2.1.1	Arithmetisches Mittel (Durchschnitt) \bar{x}	23
2.1.2	Geometrisches Mittel \bar{x}_G	24
2.1.3	Zentralwert x_z	25
2.1.4	Häufigster Wert x_D (Modalwert, Dichtemittel)	25
2.1.5	Harmonisches Mittel (Reziproker Mittelwert) \bar{x}_H	25
2.1.6	Relationen der Mittelwerte	26
2.1.7	Robuste arithmetische Mittelwerte	26
2.1.8	Mittelwerte aus mehreren Stichproben	27
2.2	Streuungsmaße	27
2.2.1	Variationsbreite (Spannweite) R	27
2.2.2	Varianz s^2 , σ^2 (Dispersion); Standardabweichung (Streuung) s , σ	28
2.2.3	Variationskoeffizient (Variabilitätskoeffizient) v	29
2.2.4	Schiefe und Exzess	29
2.3	Streubereich und Vertrauensbereich	32
2.3.1	Streubereich	32
2.3.2	Vertrauensbereich (Konfidenzbereich)	34
	Literatur	36

3	Statistische Messdaten und Fertigung	37
3.1	Statistische Daten in der Fertigung	37
3.2	Maschinenfähigkeit, Maschinenfähigkeitsuntersuchung	39
3.3	Prozessfähigkeit, Prozessfähigkeitsuntersuchung	40
3.4	Operationscharakteristik, Durchschlupf	42
	Literatur	48
4	Fehlerbetrachtung (Fehlerrechnung)	49
4.1	Fehler der Messwerte	49
4.1.1	Systematische Fehler	50
4.1.2	Zufällige Fehler	51
4.2	Fehler des Messergebnisses	52
4.2.1	Fehler des Messergebnisses durch systematische Fehler	52
4.2.2	Fehler des Messergebnisses durch zufällige Fehler	56
4.2.3	Fehlergrenzen	57
	Literatur	63
5	Statistische Tests	65
5.1	Parametergebundene statistische Tests	65
5.2	Hypothesen zum statistischen Test	68
5.3	t -Test	71
5.4	F -Test	76
5.5	Der Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test)	79
5.5.1	Bedingungen zum Chi-Quadrat-Test	79
5.5.2	Chi-Quadrat-Anpassungstest/Verteilungstest	80
5.5.3	Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest	85
	Literatur	87
6	Korrelation	89
6.1	Kovarianz, Empirische Kovarianz	89
6.2	Korrelation (Stichprobenkorrelation), empirischer Korrelationskoeffizient	90
6.3	Partieller Korrelationskoeffizient, Partialkorrelation	91
	Literatur	92
7	Regression	93
7.1	Ursache-Wirkung-Beziehung	93
7.2	Lineare Regression	95
7.3	Nichtlineare Regression (Linearisierung)	98
7.4	Mehrfache lineare und nichtlineare Regression	100
7.5	Beispiele zur Regression	102
	Literatur	107

Anhang	109
A.1 Tabellen zur Standardnormalverteilung	109
A.2 Tabellen zur t -Verteilung	112
A.3 Tabellen zur F -Verteilung	114
A.4 Tabelle zur Chi-Quadrat-Verteilung	117
Weiterführende Literatur	119
Sachverzeichnis	123