

Springer-Lehrbuch

Wolfgang Köhler
Gabriel Schachtel
Peter Voleske

Biostatistik

Eine Einführung
für Biologen und Agrarwissenschaftler

Dritte, aktualisierte und erweiterte Auflage

Mit 60 Abbildungen



Springer

Professor Dr. WOLFGANG KÖHLER
Dr. GABRIEL SCHACHTEL
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II
Biometrie und Populationsgenetik
Heinrich Buff Ring 26–32
D-35392 Gießen

Dr. PETER VOLESKE
Gruenthal Forschung
Zieglerstraße 6
52078 Aachen

ISBN 978-3-540-42947-0

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Köhler, Wolfgang:

Biostatistik: Einführung in die Biometrie für Biologen und Agrarwissenschaftler /
Wolfgang Köhler; Gabriel Schachtel; Peter Voleske – 3. Aufl.

(Springer-Lehrbuch)

1. Aufl. u.d.T.: Köhler, Wolfgang: Biometrie

ISBN 978-3-540-42947-0 ISBN 978-3-662-06116-9 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-06116-9

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

<http://www.springer.de>

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2002

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 2002

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.

Satzarbeiten: K+V Fotosatz, Beerfelden

Einbandgestaltung: design & production, Heidelberg, unter Verwendung eines Fotos von Prof. Dr. Wolfgang Friedt, Gießen, Feldversuch mit Lein

SPIN 10851194 29/3130-5 4 3 2 1 0 – Gedruckt auf säurefreiem Papier

Vorwort zur 3. Auflage

Die nun vorliegende 3. Auflage der Biostatistik wurde in mehreren Kapiteln wesentlich überarbeitet. Einzelne Abschnitte wurden stark gekürzt, andere ergänzt und auch neue Themen hinzugefügt. Dabei ist es uns gelungen, daß der Gesamtumfang des Buches nur geringfügig zugenommen hat. Unser Ziel war es, den Umgang mit statistischen Methoden in anschaulicher Form zu vermitteln, um dem Anwender den Zugang zur Statistik zu erleichtern. Daher wurde, wie bereits in den früheren Auflagen, auf unnötige Abstraktionen verzichtet.

Wir danken allen, die uns durch sachliche Hinweise und kritische Kommentare unterstützt haben. Unser besonderer Dank gilt Frau Elisabeth Schmidt für eine Vielzahl von Anregungen und Verbesserungsvorschlägen. Für sorgfältige technische Hilfe bei der Anfertigung des Manuskripts und der zusätzlichen graphischen Darstellungen danken wir Frau Anita Schmid.

Sehr hilfreich für die Überarbeitung waren die Ratschläge von Lesern und Leserinnen. Da es wohl kaum ein perfektes Lehrbuch gibt, sind wir auch zukünftig für Verbesserungsvorschläge dankbar.

Gießen und Aachen, im November 2001

WOLFGANG KÖHLER
GABRIEL SCHACHTEL
PETER VOLESKE

Vorwort zur 2. Auflage

Die vorliegende 2. Auflage der Biostatistik wurde in einzelnen Abschnitten ergänzt und überarbeitet. Wesentlichste Veränderung ist die Aufnahme eines Anhangs zu den Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik mit einer Einführung wichtiger Wahrscheinlichkeits- und Prüfverteilungen; wieder wurde auf unnötige Abstraktionen verzichtet, um in anschaulicher Form den Zugang zur Statistik zu erleichtern. Wir hoffen, daß den LeserInnen mit diesem zusätzlichen Anhang ein hilfreiches Repetitorium zum schnellen Auffrischen ihrer Statistik-Kenntnisse bereitsteht.

Für vielfältige Unterstützung bei der Überarbeitung sei Frau A. HERRMANN gedankt.

Gießen, im Oktober 1995

WOLFGANG KÖHLER
GABRIEL SCHACHTEL
PETER VOLESKE

Vorwort zur 1. Auflage

Dieses Buch richtet sich an die Anwender statistischer Methoden aus der Biologie und den Agrarwissenschaften. Es versucht die behandelten statistischen Verfahren mit möglichst wenig Formalismus, durch anschauliche Beispiele und mit Hilfe graphischer Darstellungen ausführlich zu erläutern. Die Auswahl des behandelten Stoffes erfolgte unter dem Gesichtspunkt, daß im Verlauf eines Semesters ein Einblick sowohl in die beschreibende als auch in die schließende Statistik und in die Versuchsplanung möglich ist. Auf eine Aufarbeitung der Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung wurde verzichtet. Zur Wiederholung empfehlen wir z. B. das entsprechende Kapitel aus dem Buch von Batschelet (siehe Literaturhinweise).

Ziel dieses Lehrbuches ist es nicht, aus einem Anwender einen Statistiker zu machen, sondern es gilt, den Dialog zwischen beiden zu ermöglichen. Dieser Dialog in Form von statistischer Beratung wird als wesentlich angesehen und sollte nicht erst nach Durchführung der Datenerhebung, sondern möglichst schon im Stadium der Versuchsplanung beginnen.

Die Anwendung rechenaufwendiger und komplizierter statistischer Verfahren ist durch den Einsatz von Computern und durch die damit verbundene zunehmende Verbreitung statistischer Programmpakete wesentlich erleichtert worden. Einerseits ermöglicht dies eine verbesserte und umfangreichere Auswertung der in einem Datensatz enthaltenen Informationen, andererseits verführt dieser unkomplizierte Zugang zu unkritischer Anwendung der verschiedensten statistischen Methoden, ohne die zugrundeliegenden Voraussetzungen der Verfahren zu berücksichtigen. Ein Hauptanliegen dieses Buches ist es daher, die hinter den beschriebenen Verfahren stehenden Fragestellungen und Modelle zu vermitteln, um so dem Anwender eine bessere Grundlage und Motivation bei der Auswahl geeigneter Statistik-Prozeduren zur Verrechnung seiner Daten zu geben. Dadurch wird er auch in die Lage versetzt, die Tragfähigkeit seiner Ergebnisse besser zu beurteilen.

Obwohl wir nach Beschreibung der Grundgedanken zu jedem Verfahren den Rechengang in „Kästchen“ anführen, wollen wir keine „Rezeptsammlung“ vorlegen. Das Durchrechnen von Beispielen anhand dieser Kästchen soll nach der allgemeinen Beschreibung eine konkrete Vorstellung vom rechnerischen Ablauf der Verfahren

vermitteln. Wir empfehlen dem Leser die angeführten Beispiele jeweils eigenständig mit dem Taschenrechner durchzurechnen. Neben der Einübung der Verfahren können die Rechenanleitungen zur schnellen Auswertung kleiner Versuche hilfreich sein. Grundsätzlich wurden „Fragestellung“ und „Voraussetzung“ in den Kästchen aufgeführt, um hervorzuheben, daß stets geklärt sein muß, ob die Daten den Anforderungen des gewählten Verfahrens genügen.

Bei der Behandlung multipler Vergleiche haben wir auf die Unterscheidung zwischen geplanten (a priori) und ungeplanten (a posteriori) Testmethoden Wert gelegt. Bei den A-priori-Verfahren wurde die äußerst begrenzte Anwendungsmöglichkeit dieser Tests im Rahmen der Hypothesenprüfung (konfirmatorische Statistik) hervorgehoben. Es muß aber an dieser Stelle betont werden, daß damit ihre Bedeutung beim Aufdecken möglicher Signifikanzen im Rahmen einer Hypothesenfindung (explorative Datenanalyse) nicht geschmälert werden soll. In keiner Weise war unser Anliegen, die Biometrie in eine „inferenzstatistische Zwangsjacke“ zu stecken. Nur sollte der beliebten Unsitte entgegengetreten werden, explorativ erhaltenen Aussagen konfirmatorische Autorität durch Angabe einer Sicherheitswahrscheinlichkeit zu verleihen.

Ein ausführliches Sachverzeichnis soll dem Leser ermöglichen, das Buch später auch zum Nachschlagen spezieller Abschnitte zu verwenden. Die Aufnahme eines Verzeichnisses englischer Fachausdrücke schien uns angesichts der meist englisch-sprachigen statistischen Programmpakete sinnvoll.

Unser Dank gilt allen, die durch Fragen und Kritik die heutige Form des Buches beeinflussten, insbesondere Frau CHR. WEINANDT für die Geduld beim Tippen des Manuskripts, Herrn A. WAGNER für die sorgfältige Anfertigung der über 60 graphischen Darstellungen und Frau R. PLÄTKE für vielfältige Vorschläge zur inhaltlichen Gestaltung.

Gießen, im Juni 1992

WOLFGANG KÖHLER
GABRIEL SCHACHTEL
PETER VOLESKE

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Kapitel I Merkmalsauswahl	5
§ 1 Wahl geeigneter Merkmale	5
1.1 Objektivität, Reliabilität, Validität	5
1.2 Die verschiedenen Skalen-Niveaus	6
Kapitel II Beschreibende Statistik	12
§ 2 Tabellen zur Darstellung monovariabler Verteilungen . .	12
§ 3 Graphische Darstellung monovariabler Verteilungen . .	17
3.1 Verschiedene Arten graphischer Darstellung	18
3.2 Die Schaubilder einiger Verteilungstypen	25
3.3 Das Summenhäufigkeits-Polygon	26
3.4 ... als die Bilder lügen lernten	27
§ 4 Charakteristische Maßzahlen monovariabler Verteilungen	29
4.1 Die Lageparameter	31
4.2 Die Streuungsmaße	37
4.3 Zur Anwendung der eingeführten Maßzahlen	44
§ 5 Graphische Darstellung bivariabler Verteilungen	47
§ 6 Zur Korrelationsanalyse	51
6.1 Der Pearsonsche Maßkorrelationskoeffizient	51
6.2 Das Bestimmtheitsmaß	54
6.3 Zur Interpretation von Korrelationskoeffizient und Bestimmtheitsmaß	55
6.4 Der Spearmansche Rangkorrelationskoeffizient	59
6.5 Der Kontingenzkoeffizient	62
§ 7 Zur Regressionsrechnung	67
7.1 Die Ermittlung einer Geradengleichung	67
7.2 Einige Achsentransformationen	75
7.3 Einige Datentransformationen	82

Kapitel III Einführung in die schließende Statistik	86
§ 8 Grundgedanken zur Test-Theorie	86
8.1 Zielsetzung statistischer Tests	86
8.2 Fehler 1. Art und 2. Art	88
8.3 Einseitige und zweiseitige Fragestellung	94
8.4 Prüfstatistik und Prüfverteilung	96
8.5 Vorgehen bei statistischen Tests	97
§ 9 Eine Auswahl wichtiger Tests	99
9.1 Tests bei normalverteilten Grundgesamtheiten	99
9.2 Tests zu ordinalskalierten Daten (Rangtests)	105
9.3 Tests zu nominalskalierten Daten	110
§ 10 Vertrauensbereiche	114
10.1 Konfidenzintervalle für μ bei Normalverteilung	114
 Kapitel IV Varianzanalyse bei normalverteilten Gesamtheiten	 117
§ 11 Grundgedanken zur Varianzanalyse	117
11.1 Zerlegung der Varianz nach Streuungsursachen	117
11.2 Unterscheidung in feste und zufällige Effekte	119
§ 12 Einfaktorielle Varianzanalyse (Modell I)	123
12.1 Mathematische Bezeichnungen	123
12.2 Zu den Voraussetzungen der Varianzanalyse	127
12.3 Zerlegung in Streuungskomponenten	129
12.4 Durchführung der einfaktoriellen Varianzanalyse (Modell I)	131
§ 13 Zweifaktorielle Varianzanalyse (Modell I)	134
13.1 Das zweifaktorielle Modell	134
13.2 Durchführung der zweifaktoriellen ANOVA (mehrfache Besetzung, Modell I)	140
13.3 Die zweifaktorielle ANOVA ohne Wiederholungen (Modell I)	145
§ 14 Prüfung der Voraussetzungen	149
14.1 Zwei Tests auf Varianzhomogenität	151
§ 15 Multiple Mittelwertvergleiche	157
15.1 Einige A-priori-Testverfahren	159
15.2 Einige A-posteriori-Testverfahren	166
§ 16 Einfaktorielle Varianzanalyse (Modell II)	185

Kapitel V Varianzanalyse bei ordinalskalierten Daten	189
§ 17 Parameterfreie Verfahren für mehrere unabhängige Stichproben	189
17.1 Der H -Test (Kruskal-Wallis)	190
17.2 Der Nemenyi-Test für multiple Vergleiche	194
§ 18 Parameterfreie Verfahren für mehrere verbundene Stichproben	195
18.1 Der Friedman-Test (Rangvarianzanalyse)	195
18.2 Der Wilcoxon-Wilcox-Test für multiple Vergleiche	198
Kapitel VI Regressionsanalyse	201
§ 19 Grundgedanken zur Regressionsanalyse	201
19.1 Interessierende Fragestellungen	201
19.2 Zu den Voraussetzungen einer Regressionsanalyse	203
19.3 Mathematische Bezeichnungen	206
§ 20 Lineare Regression bei einfacher Besetzung	208
20.1 Signifikanzprüfung auf Anstieg	210
20.2 Berechnung von Konfidenzintervallen	212
20.3 Durchführung der Regressionsanalyse (ohne Wiederholung)	214
§ 21 Lineare Regression bei mehrfach-Besetzung	216
21.1 Prüfung der Linearität	217
21.2 Durchführung der Regressionsanalyse (mit Wiederholung)	219
Kapitel VII Zur Versuchsplanung	224
§ 22 Am Anfang sollte die Versuchsplanung stehen	224
22.1 Treffgenauigkeit und Präzision	226
22.2 Einige Grundsätze der Versuchsplanung	226
22.3 Verschiedene Versuchsanordnungen	234
22.4 Zur Wahl des Stichprobenumfangs	240
Anhang: Einige Grundlagen der Wahrscheinlichkeits- rechnung	247
§ 23 Bezeichnungen, Axiome, Rechenregeln	247
23.1 Zufallsereignisse	247
23.2 Der Wahrscheinlichkeitsbegriff	248
23.3 Die axiomatische Definition der Wahrscheinlichkeit . .	250

XIV Inhaltsverzeichnis

23.4	Bedingte Wahrscheinlichkeit und Unabhängigkeit	251
23.5	Zufallsvariable	252
23.6	Kombinatorik oder die Kunst des Abzählens	255
§ 24	Wahrscheinlichkeitsverteilungen	257
24.1	Zur Binomialverteilung	258
24.2	Zur Poissonverteilung	261
24.3	Zur Normalverteilung	264
24.4	Standardnormalverteilung und z -Transformation	266
§ 25	Prüfverteilungen	269
25.1	Die Normalverteilung als Prüfverteilung	270
25.2	Zur t -Verteilung von Student	271
25.3	Zur χ^2 -Verteilung	272
25.4	Zur F -Verteilung	273
Literaturhinweise		275
Tabellen-Anhang		277
Sachverzeichnis		291
Auswahl englischer Fachausdrücke		299