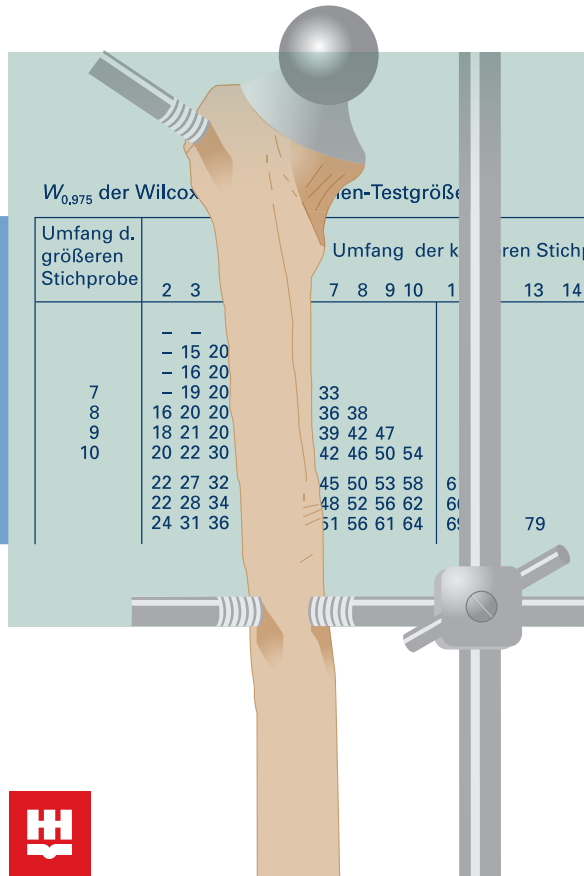
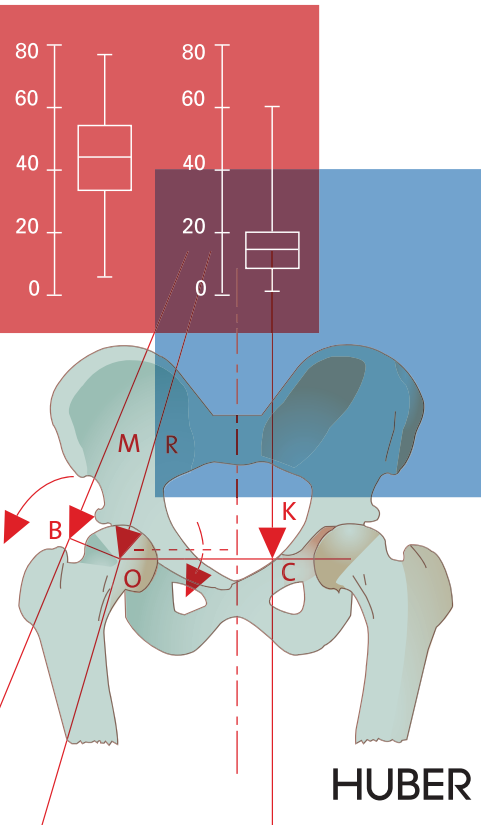


Jürg Hüsler Heinz Zimmermann

Statistische Prinzipien für medizinische Projekte

5., überarbeitete und erweiterte Auflage



HUBER



Hüsler / Zimmermann
**Statistische Prinzipien für
medizinische Projekte**

Verlag Hans Huber
Programmbereich Medizin

HUBER



Bücher aus verwandten Sachgebieten

Coggon

Statistik

Einführung für Gesundheitsberufe

2007. ISBN 978-3-456-84465-7

Leonhart

Lehrbuch Statistik

Einstieg und Vertiefung

2. Aufl. 2009. ISBN 978-3-456-84611-8

Bachmann / Puhan / Steurer (Hrsg.)

Patientenorientierte Forschung

Einführung in die Planung und Durchführung einer Studie

2008. ISBN 978-3-456-84538-8

Kunz / Khan / Kleijnen / Antes

Systematische Übersichtsarbeiten und Meta-Analysen

Einführung in Instrumente der evidenzbasierten Medizin für Ärzte, klinische Forscher und Experten im Gesundheitswesen

2. Aufl. 2009. ISBN: 978-3-456-84691-0

Diepgen (Hrsg.)

Grundwissen Epidemiologie, medizinische Biometrie und medizinische Informatik

2008. ISBN 978-3-456-84180-9

Fletcher / Fletcher

Klinische Epidemiologie

Grundlagen und Anwendung

2. Aufl. 2007. ISBN: 978-3-456-84374-2

Greenhalgh

Einführung in die Evidence-based Medicine

Kritische Beurteilung klinischer Studien als Basis einer rationalen Medizin

2. A. 2003. ISBN 978-3-456-83926-4

Hall (Hrsg.)

Publish or Perish

Wie man einen wissenschaftlichen Beitrag schreibt, ohne die Leser zu langweilen oder die Daten zu verfälschen

1998. ISBN 978-3-456-82884-8

Newble / Cannon

Lehren und Vortragen in der Medizin

2001. ISBN 978-3-456-83291-3

Weitere Informationen über unsere Neuerscheinungen finden Sie im Internet unter www.verlag-hanshuber.com.

Jürg Hüsler
Heinz Zimmermann

Statistische Prinzipien für medizinische Projekte

5., überarbeitete und erweiterte Auflage

Verlag Hans Huber

Lektorat: Dr. Klaus Reinhardt
Herstellung: Peter E. Wüthrich
Umschlag: Claude Borer, Basel
Druck und buchbinderische Verarbeitung: AZ Druck und Datentechnik, Kempten
Printed in Germany

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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



Dieses Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Verfasser haben größte Mühe darauf verwandt, dass die therapeutischen Angaben insbesondere von Medikamenten, ihre Dosierungen und Applikationen dem jeweiligen Wissensstand bei der Fertigstellung des Werkes entsprechen. Da jedoch die Medizin als Wissenschaft ständig im Fluss ist und menschliche Irrtümer und Druckfehler nie völlig auszuschließen sind, übernimmt der Verlag für derartige Angaben keine Gewähr. Jeder Anwender ist daher dringend aufgefordert, alle Angaben in eigener Verantwortung auf ihre Richtigkeit zu überprüfen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen oder Warenbezeichnungen in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen-Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Anregungen und Zuschriften bitte an:

Verlag Hans Huber
Lektorat Medizin
Länggass-Strasse 76
CH-3000 Bern 9
Tel: 0041 (0)31 300 4500
Fax: 0041 (0)31 300 4593
verlag@hanshuber.com
www.verlag-hanshuber.com

5. Auflage 2010

© 1993 / 1996 / 2006 / 2010 by Verlag Hans Huber, Hogrefe AG, Bern
ISBN 978-3-456-84868-6

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	15
1.1	Notwendigkeit statistischer Kenntnisse	15
1.2	Daten und die statistische Arbeit	16
1.3	Statistische Welt: Was umfasst sie?	17
1.4	Projektdurchführung und Protokoll	19
1.5	Inhaltsüberblick	21
2	Graphische Mittel	
	Wie werden Daten graphisch dargestellt?	23
2.1	Qualitative (kategoriale) Daten	23
2.2	Quantitative Daten	26
2.3	Multivariate Daten	30
3	Statistische Maßzahlen	
	Wie werden Daten quantitativ beschrieben?	39
3.1	Maßzahlen der mittleren Lage	39
3.2	Maßzahlen der Lage	40
3.3	Maßzahlen der Streuung	42
4	Statistische Maßzahlen:	
	Formeln	47
4.1	Bezeichnungen	47
4.2	Maßzahlen der mittleren Lage	48
4.3	Maßzahlen der Lage	48
4.4	Maßzahlen der Streuung (Variabilität)	49
5	Statistische Begriffe	
	Warum sind Population, Stichprobe, Randomisierung und Bias wichtig?	53
5.1	Population, Stichprobe und Variable	53
5.2	Auswahlverfahren	56
5.3	Bias (Verfälschung)	57

6	Statistische Verteilungen	
	Wie sind Daten oder Mittelwerte verteilt?	63
6.1	Stichprobenverteilung	63
6.2	Normalverteilung	65
6.3	Normalverteilte Variablen	66
7	Vertrauensintervall	
	Wie werden wichtige Resultate präsentiert?	73
7.1	Vertrauensintervall für einen Populationsmittelwert	73
7.2	Vertrauensintervall zum Vergleich zweier Populationsmittelwerte	81
8	Der statistische Test	
	Wie werden Hypothesen geprüft?	85
8.1	Allgemeine Bemerkungen	85
8.2	Hypothesen	89
8.3	Parametrische und nichtparametrische Tests	91
9	Analyse von gepaarten Stichproben	
	Wie werden Mittelwerte von gepaarten Daten beurteilt?	95
9.1	Gepaarter t -Test bei normalverteilten Daten	95
9.2	Verschiedene Testsituationen	101
9.3	Normalitätsprüfung	103
9.4	Wilcoxon-Vorzeichen-Rangsummentest	105
9.5	Vorzeichen-Test	109
10	Analyse eines Gruppenmittelwerts	
	Wie wird eine Gruppe alleine beurteilt?	111
10.1	t -Test, der parametrische Test	112
10.2	Wilcoxon-Vorzeichen-Rangsummentest	114
10.3	Nichtparametrische Vertrauensintervalle	115
10.4	Vorzeichen-Test	116
10.5	Fehlerwahrscheinlichkeiten α und β	117
11	Analyse von zwei unverbundenen Stichproben	
	Wie werden Mittelwerte von zwei ungepaarten Stichproben untersucht?	123
11.1	Ungepaarter t -Test	123
11.2	Wilcoxon-Mann-Whitney-Rangsummentest	127
11.3	Nichtparametrisches Vertrauensintervall	132
11.4	Median-Test	133
11.5	Große Stichprobenumfänge bei zwei Gruppen	135

12 Häufigkeiten und Proportionen	
Wie werden kategoriale Daten analysiert?	141
12.1 Beurteilung einer Proportion	142
12.2 Vergleich von zwei Proportionen ungepaarter Stichproben . . .	145
12.3 Gepaarte Stichproben, 2×2 -Tabelle	147
12.4 Kontingenztafeln, Analyse mehrerer Häufigkeiten	149
13 Wahl des Stichprobenumfangs	
Wie groß muss die Stichprobe sein?	157
13.1 Allgemeine Überlegungen, Einstichprobenfall	157
13.2 Poweranalyse in anderen Fällen	160
14 Vergleich von mehreren Stichproben - Varianzanalyse	
Wie werden mehr als zwei Stichproben (Gruppen) miteinander verglichen?	163
14.1 Allgemeine Überlegungen	163
14.2 Mittelwertsvergleiche mit Varianzanalysen	166
15 Ein-Weg-Varianzanalyse	
Wie wird der Einfluss eines (kategoriellen) Faktors auf eine metrische Variable untersucht?	169
15.1 Parametrisches Verfahren: F -Test	169
15.2 Nichtparametrische Ein-Weg-Varianzanalyse, Kruskal-Wallis-Test	175
16 Zwei-Weg-Varianzanalyse, Randomisierter Blockplan	
Wie wird der Einfluss von zwei Faktoren auf eine metrische Variable untersucht?	181
16.1 Parametrische Zwei-Weg-Varianzanalyse mit F -Test	181
16.2 Nichtparametrische Zwei-Weg-ANOVA, Friedman-Test	187
17 Allgemeine Varianzanalyse	
Wie wird der Einfluss mehrerer Faktoren auf eine metrische Variable beurteilt?	195
17.1 Allgemeine Bemerkungen	195
17.2 Beispiel mit drei Einfluss-Faktoren	196
18 Lineare Abhängigkeit, Korrelation	
Wie wird der Zusammenhang zwischen zwei Variablen gemessen?	205
18.1 Lineare / Nichtlineare Abhängigkeit	205
18.2 Korrelationskoeffizient	206
18.3 Rangkorrelationskoeffizient	209
18.4 Kendall's Tau	210

19 Lineare Regression

Wie wird der Zusammenhang zwischen zwei metrischen Variablen untersucht?

	215
19.1 Regressionsgerade	215
19.2 Regressionsschätzung	217
19.3 Parametrische Regression	218
19.4 Regressionsprüfung	219

20 Multiple Regression

Wie wird der Einfluss mehrerer Variablen auf eine metrische oder binäre Variable untersucht?

	227
20.1 Regressionsparameter	227
20.2 Prüfung der multiplen Regression	230
20.3 Modell-Verifikation	232
20.4 Beispiel mit mehreren Variablen	236
20.5 Logistische Regression	243

21 Analyse von Überlebensdaten

Wie werden Überlebensdaten untersucht?

	253
21.1 Überlebensdaten	253
21.2 Schätzung der Überlebensfunktion	256
21.3 Vergleich von Überlebensfunktionen	262
21.4 Stratifizierung	265
21.5 Cox-Regression	268

22 Analyse multivariater Daten

Wie wird der Zusammenhang mehrerer Variablen beurteilt?

	273
22.1 Übersicht multivariater Verfahren	274
22.2 MANOVA	276
22.3 Hauptkomponentenanalyse	279
22.4 Faktoranalyse	283
22.5 Diskriminanzanalyse	285
22.6 Clusteranalyse	287

23 Medizinische Studiendesigns	
Welcher Studienplan soll verwendet werden?	293
23.1 Studienarten	293
23.2 Randomisierte Studie	297
23.3 Querschnittsstudien	298
23.4 Kohortenstudie	299
23.5 Fall-Kontrollstudie	301
23.6 Cross-over-Studie	302
23.7 Meta-Analyse	304
23.8 Äquivalenzstudien	310
A Software	315
B Übungsaufgaben	318
C Lösungen der Aufgaben	330
D Glossar	346
D.1 Deutsch-englisches Glossar	346
D.2 Englisch-deutsches Glossar	352
E Liste der mathematischen Symbole	357
F Tabellen der statistischen Tests	359
G Literaturverzeichnis	373

Vorwort zur fünften Auflage

In den Einführungskursen wurden wir auf statistische Methoden angesprochen, die nun in Publikationen häufiger verwendet werden als in früheren Jahren. Da deren Verständnis beim Lesen wissenschaftlicher Artikel und beim Bearbeiten von Daten von Nutzen sein kann, haben wir diese Methoden in der vorliegenden Neuauflage berücksichtigt; so wird z.B. die logistische Regression etwas ausführlicher behandelt als in den vorangehenden Auflagen.

Ursprünglich wurde das Buch als Grundlage für einen Ausbildungskurs konzipiert. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass es oft auch als Methodik-Nachschlagewerk bei der statistischen Auswertung von Studien dient. Deshalb wurden die Kapitel 8-11 umgestellt, so dass sich die neue Auflage weiterhin als Lehrbuch, aber gleichzeitig auch besser zum Nachschlagen eignet.

Wir freuen uns über die unvermindert große Nachfrage nach unserem Buch und danken sowohl allen Kursteilnehmenden, die uns zu den erwähnten Erweiterungen anregten, wie auch Frau A. Fraefel und J. Furrer, die uns bei der Überarbeitung unterstützten.

Jürg Hüsler
Heinz Zimmermann

Bern, Mai 2010

Vorwort zur vierten Auflage

In den letzten Jahren kam der Evidence Based Medicine (EBM) eine immer größere Bedeutung zu. Ohne ein vertieftes Verständnis in die statistischen Prinzipien ist aber die Beurteilung von Publikationen und damit der gegenwärtigen besten Evidenz kaum möglich. Die wiederum überarbeitete und auch etwas erweiterte 4. Auflage, welche nun auch in zweifarbigen Gewand erscheint, dürfte auch hier eine ideale Hilfe sein.

Wir freuen uns an der anhaltenden Nachfrage an unserem Buch. Danken möchten wir allen, die uns wiederum auf Druckfehler hinwiesen, nützliche Bemerkungen zum Buch zusandten oder bei der technischen Bearbeitung behilflich waren: Frau S.-F. Hsu Schmitz, Frau M. Schaller, Herrn M. Vock, Herrn Th. Friedli, Herrn M. Schenker, Herrn N. Hüsler, Herrn A. Nirikko, und den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Kurse, die uns zu Erweiterungen anregten.

Jürg Hüsler
Heinz Zimmermann

Bern, Oktober 2005

Vorwort zur dritten Auflage

Nachdem das vorliegende Buch sich schon fast zehn Jahre als Lehrbuch in vielen Kursen und Vorlesungen bewährt hat, wollten wir die dritte Auflage vollständig überarbeiten. Dabei wurde auch ein neuzeitlicheres Erscheinungsbild gewählt. Hinzugefügt wurden zwei Kapitel, ein Kapitel über multivariate statistische Analysen und ein weiteres über die verschiedenen Studientypen. Heutige Software-Pakete bieten vermehrt Möglichkeiten der multivariaten statistischen Analyse an. Um Missbräuche bei der Verwendung dieser multivariaten Analysemethoden vorzubeugen, werden die wichtigsten Prinzipien multivariater Analyse im Kapitel 22 behandelt. Es soll auch Medizinerinnen und Medizinern ermutigen, solche Fragestellungen mit einer Statistikerin oder einem Statistiker zu diskutieren. Erweitert wurde das Buch mit einem Kapitel über die am meisten verwendeten Studienarten, ihre Planung und ihre Umsetzung. In diesem Kapitel werden auch die Prinzipien und Probleme der Meta-Analyse erläutert. Alle Kapitel wurden ergänzt. Dadurch glauben wir, dass das Buch auch in den nächsten Jahren für eine medizinisch-statistisch interessierte Leserschaft nützlich und gewinnbringend sein wird.

Bei der Überarbeitung haben wir aus Gründen der Lesbarkeit die männliche Form der Bezeichnung beibehalten, bei denen beide Geschlechter gemeint sind.

Bei der Verwirklichung der dritten Auflage waren uns mehrere Freunde und Kollegen behilflich. Herrn M. Schenker möchten wir danken für die Einrichtung des neuen Layouts, Frau A. Fraefel für Unterstützung bei gestalterischen und textlichen Problemen, Frau D. Minder und Herrn T. Friedli für die Durchsicht der Kapitel und Dr. E. Eggenberger und andern für Hinweise auf Druckfehler. Für die freundliche und geduldige Unterstützung bei der Verwirklichung der überarbeiteten dritten Auflage möchten wir uns auch bei Herrn J. Flury und für das sorgfältige Lektorat bei Frau G. Burgermeister vom Verlag Hans Huber bedanken.

Jürg Hüsler
Heinz Zimmermann

Bern, November 2000

Lancet, Feb 23, 1867: ...but we do think that in documents dealing with the important event of life and death it would be better to avoid what we may call 'number (original: figures) gymnastics', and adhere to plain obvious deductions based on the good old principle that two and two make four, neither more nor less...

Vorwort zur ersten Auflage

Edmond Halley (1656-1742), bekannt als Kometenforscher, war einer der ersten Begründer der medizinischen Statistik. 1693 publizierte er zwei Artikel [1, 2] über die Verwendung von Mortalitätsstatistiken, in denen er Sterberaten berechnete. Heute - 300 Jahre später - lässt sich die Statistik nicht mehr aus der Medizin wegdenken; es gibt praktisch keine medizinischen Artikel, die sich nicht in irgend einer Form auf die Statistik abstützen. Um medizinische Publikationen zu verstehen, ist es deshalb für Medizinerinnen und Mediziner heute unerlässlich, statistische Begriffe und Methoden zu kennen. Dass dies aber häufig nicht der Fall zu sein scheint, belegen kürzlich erschienene Publikationen [3, 4]. Wulff und Mitarbeiter befragten Mediziner nach elementaren statistischen Grundbegriffen und folgerten aus der Auswertung: «Da das statistische Wissen der meisten Ärzte sehr limitiert ist, kann man nicht erwarten, dass sie die richtigen Schlüsse aus statistischen Analysen ziehen können, welche in medizinischen Zeitschriften gefunden werden.» (Natürlich wurde hier von einer Stichprobe von 148 dänischen Ärzten auf sämtliche Ärzte extrapoliert...). Zudem wurde an vielen medizinischen Fakultäten in den letzten Jahren das Fach Statistik aus der Grundausbildung gestrichen, was das Verständnis für die Statistik nicht eben verbessert.

Unser Buch soll hier eine Lücke füllen. Auf leicht verständliche Art und mit vielen Beispielen wird versucht, den Ärzten und Ärztinnen, den Medizinstudenten, die eine Dissertation oder eine Publikation schreiben, dem Leser medizinischer Artikel und weiteren an medizinischer Statistik interessierten Personen diese Prinzipien darzulegen und zu erklären.

Ferner will das vorliegende Buch dem Leser die elementare statistische Sprache lehren, damit er sie versteht und sprechen kann. In diesem Sinne soll dies nicht ein «statistisches Kochbuch» sein. Der Leser sollte nach dem Studium des Buches fähig sein, einfachere Analysen selbständig durchzuführen.

Es war nicht unsere Absicht, ein vollständiges Lehrbuch der medizinischen Statistik zu schreiben, sondern wir haben uns die Freiheit genommen, nur die einfachen und in medizinischen Publikationen häufig verwendeten statistischen Verfahren zu behandeln. So wurde auf heute viel diskutierte oder spezielle Methoden, wie spezielle Versuchspläne, multivariate Regression, multivariate Diskriminanzanalyse und Meta-Analyse, bewußt verzichtet, da diese meistens eher in Zusammenarbeit mit einer Statistikerin oder einem Statistiker verwendet

werden. Denn jeder Arzt läßt sich auch in medizinischen Fächern konsiliarisch beraten, in denen er Grundkenntnisse besitzt. Auch innerhalb gewisser Kapitel wurde keine Vollständigkeit angestrebt, sondern nur das Wesentliche sollte vermittelt werden. Zudem wurden gewisse Sachverhalte etwas vereinfacht dargestellt, um auf dieser Stufe der Einführung leicht verständlich zu bleiben, obwohl gewisse Verfahren nicht so einfach sind. Zudem wurden die Kapitel zusammengefaßt, um das Wesentliche zu betonen. Beim ersten Lesen lassen sich ohne weiteres schwierige oder technische Abschnitte, wie Kapitel 4, 6.3, 17 oder 20, überspringen.

Um den Zusammenhang zwischen den praktischen Problemen und den entsprechenden Kapiteln im Buch herzustellen, haben wir auf den vorderen Umschlagseiten eine graphische Übersicht über die wichtigsten statistischen Analysen gegeben. Auf den hinteren Umschlagseiten findet sich eine Checkliste mit Hinweisen, die bei der Planung, Durchführung, Auswertung und Beschreibung eines Projektes nützlich sind.

Wir glauben, dass gerade die Zusammenarbeit eines Mediziners und eines Statistikers als Autoren Voraussetzung ist, den oben formulierten Zielen gerecht zu werden.

Sollten Sie beim Lesen des Buches auf Fehler und Unklarheiten stoßen, so möchten wir Sie bitten, uns dies mitzuteilen. Auch würden wir es begrüßen, wenn Sie uns Anregungen und weitere Kommentare zukommen lassen.

An dieser Stelle möchten wir uns bestens bedanken bei Dr. Ruedi Maibach, der wesentlich das Kapitel über Überlebensdaten mitgestaltete, bei Frau Maria Hostettler und Dr. Christian Schindler für ihren unermüdlichen Einsatz beim Erstellen der Abbildungen, Durchlesen und Korrigieren des Manuskriptes, bei Frau Ursula Zimmermann für das Lassobild und bei Dr. Peter Wehmeier vom Verlag Hans Huber, der unseren Wünschen bezüglich Ausgestaltung des Buches in großzügiger Weise entgegen kam. Nützlich waren uns auch die Fragen und Anregungen der Medizinerinnen und Mediziner, die an unseren Kursen «Statistische Ideen in medizinischen Projekten» teilnahmen.

Jürg Hüslér

Heinz Zimmermann

Bern, 1993

[1] Halley, E. An estimate of the Degrees of Mortality of Mankind drawn from curious Tables of the Births and Funerals at the City of Breslaw. *Trans. R. Soc.* **17**, 596-610, 1693.

[2] Halley, E. Some further Considerations on the Breslaw Bills of Mortality. *Trans. R. Soc.* **17**, 654-656, 1693.

[3] Wulff, H.R., Anderson, B., Brandenhoff, P. und Guttler, F. What do doctors know about statistics? *Stat. Med.* **6**, 3-10, 1987.

[4] Berwick, D.M., Fineberg, H.V. und Weinstein, M.C. When doctors meet numbers. *Am. J. Med* **71**, 991-998, 1981.

Kapitel 1

Einleitung

Inhalt

1.1	Notwendigkeit statistischer Kenntnisse	15
1.2	Daten und die statistische Arbeit	16
1.3	Statistische Welt: Was umfasst sie?	17
1.4	Projektdurchführung und Protokoll	19
1.5	Inhaltsüberblick	21

Dieses Kapitel führt in die wichtigsten Aspekte der Statistik ein, mit der Mediziner heute konfrontiert werden und gibt einen Überblick über die Inhalte des Buches.

1.1 Notwendigkeit statistischer Kenntnisse

Statistische Methoden sind heute in der Medizin so weit verbreitet, dass die wichtigsten elementaren Methoden unter Medizinern bekannt sein sollten, um Publikationen besser beurteilen und die eigene Forschung planen, durchführen und publizieren zu können. Einige der oft verwendeten Methoden sind einfach zu verstehen und können selbst nachvollzogen werden.

Dieses Buch führt in die medizinische Statistik ein. Es kann weder das breite Gebiet der Statistik noch eine vollständige Übersicht über die verschiedenen Verfahren vermittelt werden. Ziel dieses Buchs ist es vielmehr, die am meisten verwendeten, parametrischen und nicht-parametrischen Konzepte zu behandeln und die Möglichkeiten der statistischen Verfahren in der allgemeinen medizinischen Forschung aufzuzeigen. Weiter sollen die Ideen einiger komplexer Verfahren vorgestellt werden, die Mediziner jedoch nicht selber ohne Unterstützung eines Statistikers anwenden sollten.

Ist die Gedankenwelt der Statistik und die Sprache des Statistikers vertraut, lassen sich auch größere medizinische Projekte mit einem Statistiker leichter diskutieren. Dies wirkt sich in solchen Forschungsprojekten in einer besseren Planung und Durchführung aus. Eine gute Zusammenarbeit zwischen Statistiker und Mediziner ist unbedingt erforderlich.

1.2 Daten und die statistische Arbeit

Statistik beginnt, könnte man meinen, mit der Auswertung der bereits gesammelten numerischen Daten. Dies trifft aber nicht zu, denn die statistische Auswertung hängt stark von der Planung einer Untersuchung oder eines Experiments, von den gewählten Beobachtungsgrößen, den Parametern, den Messverfahren und vielem anderem ab.

Beispiel 1.1: In einer Studie sollen zwei Medikamente zur Blutdrucksenkung bei hypertensiven Patienten untersucht werden. Dabei werden die Daten des systolischen und diastolischen Blutdrucks vor und nach einer bestimmten Behandlungszeit gemessen und zur statistischen Auswertung zusammen getragen (**Abb. 1.1**). In dieser Studie sind einige Dinge zu klären: Bevor eine statistische Auswertung erfolgen kann, muss beispielsweise geklärt sein, wie die Patienten ausgewählt wurden, wie ein Patient einer der Medikamentengruppen zugeteilt wurde, welches Studiendesign verwendet wurde, wer die Messungen mit welchem Gerät durchführte, wie zuverlässig die Behandlung erfolgte, oder ob wichtige Einflussfaktoren in der Auswertung berücksichtigt werden müssen.

Ohne richtiges Konzept gesammelte oder beobachtete Daten können kaum oder nur schlecht analysiert werden. Man spricht von nutzlosen oder schlechten Daten.

Man unterscheidet vor allem zwei Hauptrichtungen der statistischen Datenanalyse: die *Deskriptive Statistik* und die *Inferenz-Statistik* oder konfirmatorische Statistik.

- *Deskriptive Statistik* versucht, die Daten zu beschreiben und die wichtigsten Effekte, Unterschiede zwischen Gruppen usw. herauszufinden (etwa mit Graphiken und statistischen Maßzahlen, siehe **Kap. 2** und **3**).
- *Inferenz-Statistik* hingegen hat zum Ziel, mit der statistischen Auswertung Schlussfolgerungen zu ermöglichen, die valid (gültig) sind. Dazu werden meistens statistische Tests (siehe **Kap. 8** und folgende) verwendet. Dies ist nur bei gut geplanten Untersuchungen sinnvoll und berechtigt. Zum Beispiel möchte man beurteilen, ob die mittlere Abnahme der Blutdruckwerte bei beiden Medikamenten im **Bsp. 1.1** in jeder Gruppe signifikant ist und ob diese Abnahmen in den Gruppen im Mittel verschieden sind.

Heute ist die *explorative* Statistik wichtiger geworden und kommt am häufigsten vor. Sie verbindet die beiden Hauptrichtungen, ohne harte statistische Schlussfolgerungen zu ziehen. Sie versucht die Daten nicht nur zu beschreiben, sondern auch neue Erkenntnisse mit deskriptiven und Inferenz-statistischen Methoden zu finden, die in folgenden Studien überprüft und weiter untersucht werden. Diese explorative Haltung entspricht mehr der üblichen wissenschaftlichen Forschungsarbeit, die offen für neue, nicht vorausgeahnte Erkenntnisse sein sollte.

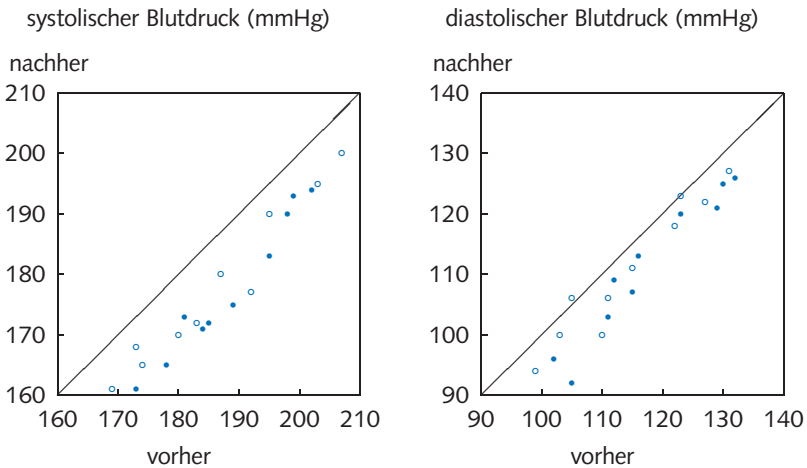


Abb. 1.1: Systolische und diastolische Blutdruckwerte von hypertensiven Patienten vor und nach der Behandlungszeit. In jeder Medikamentengruppe sind 10 Patienten aufgenommen worden, deren Werte mit den unterschiedlichen Symbolen \circ und \bullet für die beiden Medikamentengruppen markiert sind. Mittlere Abnahmewerte (mit Standardabweichung) beider Gruppen: 8.5 (3.0) resp. 10.7 (2.9) mmHg des systolischen Blutdrucks, 3.9 (3.0) resp. 6.3 (3.1) mmHg des diastolischen Blutdrucks des **Bsp. 1.1**.

1.3 Statistische Welt: Was umfasst sie?

Zur statistischen Welt gehören Maßzahlen, Tests, Graphiken und weitere statistische Modelle und Methoden. Diese Begriffe und deren Bedeutung muss man kennen, damit man die einfachen statistischen Methoden anwenden und die Resultate richtig diskutieren kann. Statistische Methoden werden beim

- Sammeln,
- Beschreiben,
- Organisieren,
- Analysieren und beim
- Interpretieren

von numerischen Daten verwendet. Statistische Methoden kann man als eine Möglichkeit der wissenschaftlichen Organisation der Dateninformation verstehen.

Im Speziellen ermöglicht die Statistik, wichtige Informationen aus der Fülle der Daten herauszulesen oder -zufiltern. Dies ist wichtig, weil die Daten oft durch viele verschiedene Faktoren beeinflusst und gestört werden. Insbesondere sind Messfehler, Beobachtungsfehler und Ähnliches in jedem Experiment

präsent. Meistens sind diese Fehler so genannt *zufälliger* Art, im Gegensatz zu den *systematischen* Fehlern (siehe **Kap. 5.3**). Zufällige Störungen oder Fehler sind üblich, systematische Fehler sind durch passende Planung und Durchführung einer Studie zu vermeiden.

Verschiedene Methoden werden beim Herausfiltern der Information verwendet. Zum Beispiel:

- Es soll ein Trend oder ein Unterschied zwischen Gruppen von Daten beobachtet und behandelt werden.
- Es soll untersucht werden, ob die Daten durch bestimmte Faktoren beeinflusst werden.
- Es soll beurteilt werden, ob ein Zusammenhang zwischen mehreren Beobachtungsgrößen vorhanden sei.

In jedem Fall wird versucht, diese Fragen durch einfache statistische Größen, Kennzahlen und Testentscheide zu beantworten. Dabei wird immer die Datenmenge reduziert. Man spricht von einer *Datenreduktion* auf das im Zusammenhang mit der Fragestellung Wesentliche.

Anstatt zum Beispiel 20 numerische Werte einer einfachen Datei aufzulisten, sollen wenige (vielleicht 2 oder 3) *statistische Maßzahlen* (Kennzahlen wie z.B. Mittelwert und Varianz) diese Datei beschreiben. Diese Maßzahlen sollen dem Anspruch genügen, eine Diskussion, Vergleiche mit verschiedenen anderen Untersuchungen, anderen Experimenten und Fragestellungen zu ermöglichen.

Neben dieser Beschreibung wird die sehr verbreitete *Visualisierung* der Daten in einer Graphik verwendet (z.B. **Abb. 1.1**). Eine Graphik hat mindestens zwei Ziele:

- Einerseits soll sie einen *Überblick* (im wahrsten Sinn des Wortes) über die Daten liefern. Sie soll viele Daten und eine große Information auf verständliche Art wiedergeben. Daraus soll Eigentümliches und Wesentliches herausgelesen werden können.
- Andererseits werden Graphiken als Präsentationsmittel, Blickfang in einer Publikation oder in einem Vortrag verwendet, um das Wesentliche klar (ersichtlich) wiederzugeben.

Neben diesen einfachen Methoden der Beschreibung von Daten mit graphischen Mitteln oder statistischen Maßzahlen werden in der Inferenz-Statistik so genannte *statistische Tests* verwendet. Diese ermöglichen, zwischen Hypothesen zu entscheiden. Die grundsätzlichen Ideen eines statistischen Tests werden wir später diskutieren (**Kap. 8**). Die statistischen Tests basieren jedoch auf gewissen Voraussetzungen, die bei der Anwendung des Tests erfüllt sein müssen.

Die Berechnungen der statistischen Kennzahlen, Test- und Schätzwerte sind heute dank Computern und Software leicht. Sogar komplexe Modelle können verwendet werden. Das notwendige Verständnis der Methoden und deren Voraussetzungen muss jedoch beim Anwender vorhanden sein, um eine statistische Analyse richtig durchführen zu können.

1.4 Projektdurchführung und Protokoll

Bei der Durchführung medizinischer Projekte oder klinischer Studien werden normalerweise ähnliche Phasen oder Stufen durchlaufen. Diese Phasen können folgendermaßen charakterisiert werden, hier in 5 Stufen unterteilt.

- 1. Stufe
 - Fragestellung diskutieren, Ziel des Projekts festlegen
 - Alle relevanten Variablen, Faktoren und Einflussgrößen bestimmen
 - Modellüberlegungen mit Einbezug von bekannten und verwandten wissenschaftlichen Arbeiten
- 2. Stufe
 - Planung des Experiments (siehe **Kap. 22**)
 - Die relevanten Variablen oder Parameter, die primären und sekundären Endpunkte, die Faktoren und Einflussgrößen bestimmen und die Einschluss- und Ausschlusskriterien festlegen
 - Stichprobengröße bestimmen (siehe **Kap. 13**), Kostenfrage und zeitlichen Aufwand abklären
- 3. Stufe
 - Protokoll des Experiments
 - Durchführung des Experiments gemäß Protokoll
 - Sorgfältige Messung oder Erfassung der Variablen und Kontrolle der Einflussgrößen
 - Kontrolle aller Probanden oder Patienten, auch derjenigen, die aus der Studie austreten
- 4. Stufe
 - Statistische Auswertung, Graphiken und Maßzahlen
 - Schätzungen und Entscheidungen
 - neue Entdeckungen
 - Diskussion der Modellannahmen
- 5. Stufe
 - Diskussion der neuen Information
 - Validität der Entscheidungen
 - Schlussfolgerungen und Bericht verfassen

Der Anteil der statistischen Arbeit und Auswertung ist normalerweise recht groß und wird meistens unterschätzt. In jeder Stufe kann der Statistiker Wesentliches beitragen. Dieser sollte deshalb bei komplexeren Projekten schon am Anfang beigezogen werden.

Abgesehen von gewissen typischen Fragestellungen unterscheidet sich in der Regel ein Projekt jedoch von allen anderen. Deshalb sollte jedes Projekt individuell und sorgfältig geplant und durchgeführt werden. Daten sind nicht einfach nur Zahlen, sondern Informationsträger in einem qualitativen Zusammenhang. Eine (die) perfekte Analyse gibt es nicht, da jedes Projekt von medizinischen und mathematischen/statistischen Annahmen abhängt. Jede Analyse enthält immer gewisse subjektive Elemente der beteiligten Wissenschaftler.

In medizinischen Studien werden im Unterschied zu anderen statistischen Anwendungsgebieten oft spezielle Versuchspläne verwendet. Diese typischen medizinischen Studienpläne werden eingehend im **Kap. 22** behandelt.

Protokoll eines Projekts

Die verschiedenen Aspekte einer Studie müssen in der Planung berücksichtigt und in einem Protokoll festgehalten werden. Im Protokoll wird festgelegt, wie die medizinische Untersuchung oder klinische Studie erfolgen soll. Wird das Protokoll in der Studie eingehalten, wird dadurch eine standardmäßig gute Qualität der Arbeit ermöglicht. Falls die Studie gut geplant wurde, ist damit meistens die Akzeptanz der Resultate garantiert. Ein Protokoll muss allenfalls auch der ethischen Kommission vorgelegt werden. Es sollte folgende Punkte enthalten:

- Titelseite mit Studientitel, Name und Adresse des Hauptverantwortlichen, eventuell auch weiterer Verantwortlicher; Datum des Manuskripts.
- Ziel der Studie, in kurzer Formulierung.
- Einführung, wissenschaftlicher Hintergrund, allgemeine Zielsetzungen, sowie Abschätzung des Nutzens der Studie.
- Information zur Behandlung, zu den Medikamenten und Dosierungen, eventuell auch zur medizinischen Indikation, die betrachtet werden soll.
- Patienten-Selektion mit quantitativen Einschluss- und Ausschlusskriterien der Patienten oder Probanden, womit die Population definiert wird, für die die Resultate gelten sollen.
- Aufgabenverteilung während der Studie: Bestimmung der Verantwortlichen zur Patientenaufnahme, Datenerfassung und -verarbeitung, zur Randomisierung, zur Stratifikation (falls notwendig).
- Behandlungsschema und Maskierung (Verblindung) der Behandlung.
- Patientenausschlusskriterien im Falle von Komplikationen oder unerwünschten Nebenwirkungen. In diesen Fällen kann z.B. nur eine mögliche Dosierungsänderung vorgesehen werden. Kriterien sollen festgelegt werden, unter welchen Umständen eine Behandlung abgebrochen werden soll.
- Protokoll-Abweichungen. Festlegen des Prozedere, falls Patienten die verlangte Therapie nicht befolgen oder abbrechen.

- Vorbereitung, Lagerung, Sicherheit und Bereitstellung der erforderlichen Medikamente.
- Detaillierte Festlegung der Parameter, der Endpunkte, der Messungen und Beurteilungen, mit zeitlichem Schema.
- Statistische Analyse: Angabe der zu verwendenden statistischen Methoden, der Stichprobengröße und der Güte (Power). Falls Interimsanalysen vorgesehen sind, sind diese und die entsprechende statistische Methodik anzugeben.
- Detaillierte Angabe über Datenerfassung und -bearbeitung. Auch werden die Verantwortlichen für die einzelnen Teile festgelegt. Um die Datensicherheit und den Datenschutz zu gewährleisten, sind auch hier Maßnahmen vorzusehen und festzulegen.
- Informed consent: Patientenformulare sind in allgemein verständlicher Sprache zu verfassen. Patienten oder Probanden müssen sich schriftlich einverstanden erklären, an der Studie teilzunehmen. Auch sollen sie die Einwilligung geben, dass ihre Daten zu wissenschaftlichen Zwecken verwendet werden dürfen.
- Patientenversicherung. Die Patienten müssen gemäß den gesetzlichen Bestimmungen versichert sein.
- Studien-Abbruchkriterien. Die Studienverantwortlichen müssen sich über den Verlauf der Studie informieren, um gegebenenfalls die Studie aus ethischen, wissenschaftlichen oder Datenqualitätsgründen abzubrechen. Die Gründe sollten in der Planung diskutiert und festgelegt werden.

1.5 Inhaltsüberblick

Die ersten Kapitel des Buchs befassen sich mit der Beschreibung von Daten, der so genannten deskriptiven Statistik, die einerseits graphische Darstellungen (**Kap. 2**) und andererseits statistische Maßzahlen oder Kennzahlen (**Kap. 3**) verwendet. Die der Statistik zugrundeliegenden Begriffe, wie Population, Stichprobe, zufällige Auswahl, Bias und statistische Verteilungen, Normalverteilung, werden in den **Kap. 5** und **6** behandelt. Die zwei wichtigsten statistischen Prinzipien, Vertrauensintervall und statistischer Test, werden in den **Kap. 7** und **8** eingeführt. Diese Methoden gehören bereits zur konfirmatorischen Statistik.

Die statistischen Test-Methoden werden in den **Kap. 9–21** behandelt. In den **Kap. 9–11** werden die Prinzipien der parametrischen und nicht-parametrischen Tests für stetige Variablen im Ein- und Zwei-Stichprobenfall beschrieben. Die einfachsten statistischen Methoden bei nominalen (oder ordinalen) Daten werden im **Kap. 12** behandelt. Wie die notwendigen Fallzahlen bzw. Stichprobenumfänge bestimmt werden, wird im **Kap. 13** diskutiert und in einfachen Fällen die Bestimmungsmethoden angegeben.

Die Fälle von mehr als zwei Stichproben werden in den **Kap. 15–17** vorgestellt, von der einfachen Ein-Weg-Varianzanalyse bis zur komplexeren Mehr-Weg-Varianzanalyse. Die weiteren **Kap. 18–20** behandeln die statistische Analyse des Zusammenhangs von stetigen Variablen, der Korrelation und der einfachen sowie multiplen, linearen Regression.

Die Analyse von Überlebensdaten ist verschieden von der Analyse anderer stetiger Daten, weil die Überlebensdaten nicht alle vollständig beobachtet werden können (zum Beispiel bis zum Tode eines Patienten, weil die Studie abgeschlossen wird). Diese sogenannten zensierten Daten können mit den Methoden Kaplan-Meier oder Cox-Regression analysiert werden (**Kap. 21**).

Klinische Studien verwenden bestimmte standardisierte Versuchsanordnungen, die wir im **Kap. 22** überblickmäßig behandeln. Abschließend werden noch die wichtigsten Möglichkeiten und Prinzipien einer multivariaten Analyse von Daten aufgezeigt, da die statistische Software heute vermehrt solche Methoden anbietet (**Kap. 23**).

Zum Teil werden die Prinzipien gewisser Methoden vollständig diskutiert, weil sie einfach sind und von Medizinern selber angewendet werden können, andere Teile werden nur partiell besprochen, weil wir meinen, dass diese Methoden nicht ohne Statistiker oder Biometriker verwendet werden sollten.

Im Anhang finden sich noch Bemerkungen zu empfehlenswerter Software, die bei der Anschaffung eines passenden Statistikpakets nützlich sind. Eine Sammlung von Übungsaufgaben wurde im Anhang B mit Lösungen (Anhang C) zusammengestellt, wie auch Angaben zu weiterführender Literatur. Die Daten zu den Übungsaufgaben stehen auf der Webseite zur Verfügung. Man findet sie über www.imsy.unibe.ch, dann > *Mitarbeitende* > *Hüsler* > *Persönliche Seiten* > *Medizinerbuch*. Da die meisten Artikel englisch verfasst werden, sind die wichtigsten statistischen Ausdrücke im Anhang D aufgelistet. Die letzten Teile des Anhangs enthalten eine Liste der verwendeten mathematischen Symbole und schließlich noch eine kurze Liste verwendeter und weiterführender Literatur.

Benötigen Sie zur Planung einer klinischen Studie oder zur sachgemäßen statistischen Datenanalyse einen Statistiker, wenden Sie sich an Ihre lokalen Biometriker oder Statistiker. Gerne werden wir Ihnen dabei passende Adressen vermitteln. (email: juerg.huesler@stat.unibe.ch).

Kapitel 2

Graphische Mittel

Wie werden Daten graphisch dargestellt?

Inhalt

2.1	Qualitative (kategoriale) Daten	23
2.2	Quantitative Daten	26
2.3	Multivariate Daten	30

Jede statistische Auswertung beginnt grundsätzlich mit graphischen Darstellungen, um einerseits fehlerhafte Daten zu entdecken und andererseits die Daten zu überblicken und um sicher zu sein, dass die folgenden Auswertungsschritte sinnvoll sind. Deshalb werden in diesem Kapitel die am häufigsten verwendeten Graphiken, zum Beispiel Stabdiagramm, Sektordiagramm, Boxplot, Histogramm behandelt.

Ihre Verwendung hängt jedoch vom Datentyp ab. Daten werden in zwei Klassen eingeteilt, in so genannt qualitative (kategoriale) und quantitative Daten.

2.1 Qualitative (kategoriale) Daten

Qualitative Daten werden auch als *kategoriale* Daten bezeichnet, deren mögliche Werte aus Kategorien bestehen. Zum Beispiel ist das Geschlecht eine kategoriale Größe, die aus den Kategorien weiblich und männlich besteht. Die kategorialen Daten werden noch in **nominale** und **ordinale** Daten unterteilt.

- **nominale** (Namen) Daten, zum Beispiel:
 - Geschlecht: männlich - weiblich,
 - Gruppenzugehörigkeit: Kontroll- und Behandlungsgruppen.

Die nominalen Daten können auch numerisch dargestellt sein. Zum Beispiel Geschlecht: 1 (weiblich) - 2 (männlich)), jedoch besitzen diese Zahlen keine numerische Bedeutung.

- **ordinale** (geordnete) Skala besitzen, wie zum Beispiel:
 - bei Gruppenzugehörigkeit mit verschiedenen Krankheitsstadien in einer Reihenfolge des Schweregrads (Duke stadium A–D).
 - Schmerzen: wenig - mittel - stark

Bei kategoriellen Daten interessieren uns die Häufigkeiten der möglichen Kategorien. Qualitative Daten werden mit Balken- (respektive Säulen-) oder Sektoriagrammen dargestellt. Heute werden oft «attraktive» dreidimensionale Darstellungen mit der Software ermöglicht. Dreidimensionale Darstellungen sollten jedoch nicht verwendet werden, wenn die dritte Dimension keine weitere Information enthält und teilweise die gegebene Information verfälscht.

Beispiel 2.1: Wir untersuchen die verschiedenen Diagnosen bei Lebertransplantationen, ein typisches Beispiel nominaler Daten.

Tab. 2.1: absolute und relative Häufigkeiten, Bsp. 2.1.

Diagnose	abs. Häufigkeit	rel. Häufigkeit %
Biliary Atresia (BA)	58	56
Metabolic (ME)	14	13
Fulminant hepatic failure (FH)	8	8
Tumors (TU)	4	4
Biliary Hypoplasia (BH)	2	2
Familial Cholestasis (FC)	5	5
Miscellaneous (MI)	13	12
Umfang	104	100

• Balkendiagramm (Bar Chart)

Jeder *Balken* oder jede *Säule* repräsentiert die absolute oder relative Häufigkeit einer der Kategorien (z.B. Diagnose bei Lebertransplantation) (**Abb. 2.1**).

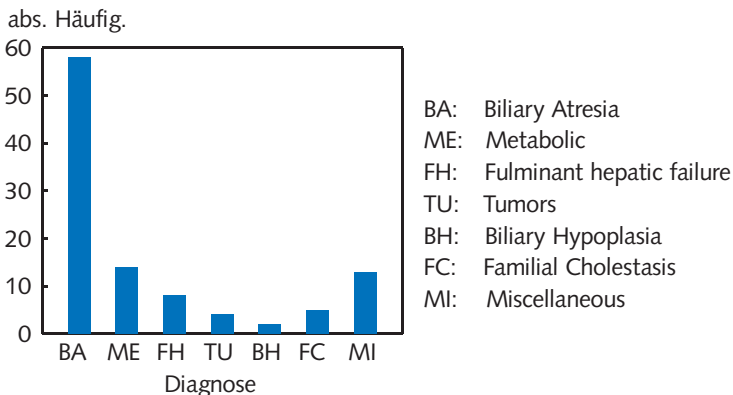


Abb. 2.1: Balken- (oder Säulen-)diagramm des Bsp. 2.1

Wird die Graphik um 90 Grad gedreht, lassen sich die Legende und die Abkürzungen vermeiden, wodurch eine einfacher zu lesende Graphik entsteht (**Abb. 2.2**).

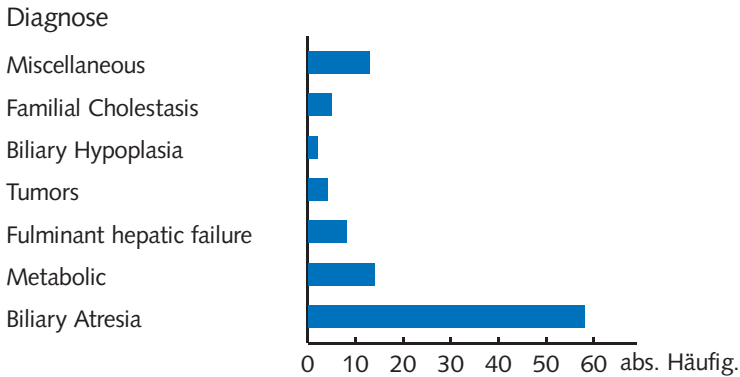


Abb. 2.2: Balkendiagramm des **Bsp. 2.1** gedreht

- **Sektordiagramm (Pie Chart)**

Jeder Sektor eines Kreises repräsentiert die Häufigkeit einer Kategorie. Die Graphik ist passend für den Vergleich von relativen Anteilen in Fällen bei wenigen Kategorien mit nicht kleinen Kategorienhäufigkeiten. Da meistens keine Skala gegeben ist, müssen deshalb die Kategorienhäufigkeiten angegeben werden (**Abb. 2.3**).

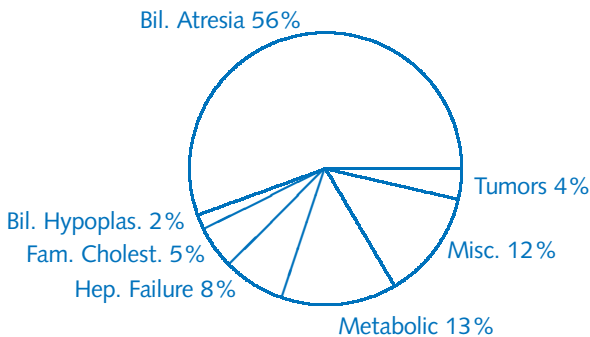


Abb. 2.3: Sektordiagramm des **Bsp. 2.1**

2.2 Quantitative Daten

Quantitative (metrische) Daten werden in ordinale Daten, Daten mit Intervallskala und rationale Daten eingeteilt.

- **ordinale** Daten (mit quantitativer Bedeutung), z.B. Gruppenzugehörigkeit mit steigender Medikamentendosierung, Intelligenzquotienten, VAS
- **Daten mit Intervallskala** (kein absoluter Nullwert, Verhältnisse sind bedeutungslos, Differenzen sind berechtigt) wie Temperaturwerte (Celsius (36–38° oder 34–36°), Fahrenheit), Kalenderzeit,
- **rationale** Daten (Verhältnisse sind bedeutsam, absoluter Nullwert) wie Alter, Längen- (cm und inches) und Gewichtsmessungen.

Wiederum bestehen verschiedene graphische Darstellungen, um die quantitativen Daten zu überblicken. Häufig werden Baumdiagramme, Histogramme, Häufigkeitspolygone, Strichdiagramme und Boxplots verwendet.

Beispiel 2.2: Wir untersuchen Hämoglobinwerte (rationale Daten, in g/100ml) von siebenzig Patienten.

Tab. 2.2: Hb g/100ml, Daten **Bsp. 2.2.**

10.2	13.7	10.4	14.9	11.5	12.0	11.0
13.3	12.9	12.1	9.4	13.2	10.8	11.7
10.6	10.5	13.7	11.8	14.1	10.3	13.6
12.1	12.9	11.4	12.7	10.6	11.4	11.9
9.3	13.5	14.6	11.2	11.7	10.9	10.4
12.0	12.9	11.1	8.8	10.2	11.6	12.5
13.4	12.1	10.9	11.3	14.7	10.8	13.3
11.9	11.4	12.5	13.0	11.6	13.1	9.7
11.2	15.1	10.7	12.9	13.4	12.3	11.0
14.6	11.1	13.5	10.9	13.1	11.8	12.2

- **Baumdiagramm** (Stem and Leaf Diagram)

Eine einfache Darstellung der Häufigkeiten, klassiert mit den wichtigsten Ziffern. Die Ziffern werden in den «Stamm» (erste Ziffern: hier 8, 9, 10, ...) und in die «Äste» (zweite Ziffern: hier 1. Stelle nach dem Komma) zerlegt. Im Diagramm bezeichnen: *M* den Median und *Q* die 1. und 3. Quartilwerte. Definition des Medians und der Quartilwerte siehe **Kap. 3**. Das Baumdiagramm ist ein einfaches Histogramm. Im folgenden Diagramm wurde die Stamm-Einteilung noch zusätzlich verfeinert, damit die Anzahl genügend groß ist. Dieses Diagramm sieht man nur noch selten.

Falls man dieses Diagramm um 90 Grad dreht, erkennt man ein einfaches Histogramm, das mit Ziffern gebildet wurde.

Hämoglobin (g/100ml)

```

8 8
9 34
9 7
10 22344
10Q 566788999
11 0011223444
11M 566778899
12 0011123
12 5579999
13Q 01123344
13 55677
14 1
14 6679
15 1

```

Abb. 2.4: Baumdiagramm für Bsp. 2.2

• Histogramm

Bekannteste Darstellung von Klassenhäufigkeiten; Rechtecke repräsentieren die absolute oder relative Häufigkeit der Klassen. (Flächen proportional zu den Häufigkeiten) (Abb. 2.5).

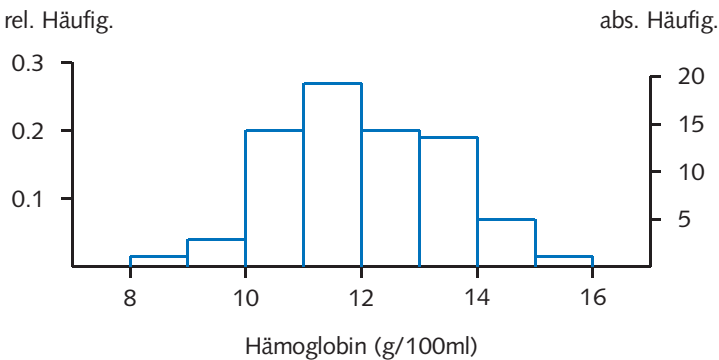


Abb. 2.5: Histogramm des Bsp. 2.2

Die Wahl der Anzahl Klassen, der Klassengrenzen und der Skalen ist eine wichtige Voraussetzung für eine gute Graphik. Ein gutes Histogramm wird oft erst durch Veränderung der Klassen und der Skalen gefunden (zum Vergleich siehe Abb. 2.6). Ein Histogramm ist nur bei genügender Anzahl (mindestens 50) von Beobachtungen eine passende Graphik.

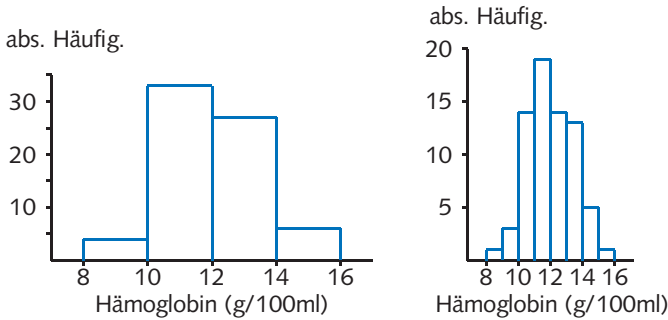


Abb. 2.6: Schlechte Histogramme mit zuwenigen Klassen oder schlecht gewählter Skala, **Bsp. 2.2**

- **Häufigkeitspolygon**

Die Rechtecke des Histogramms werden durch lineare Verbindungen «geglättet» (**Abb. 2.7**).

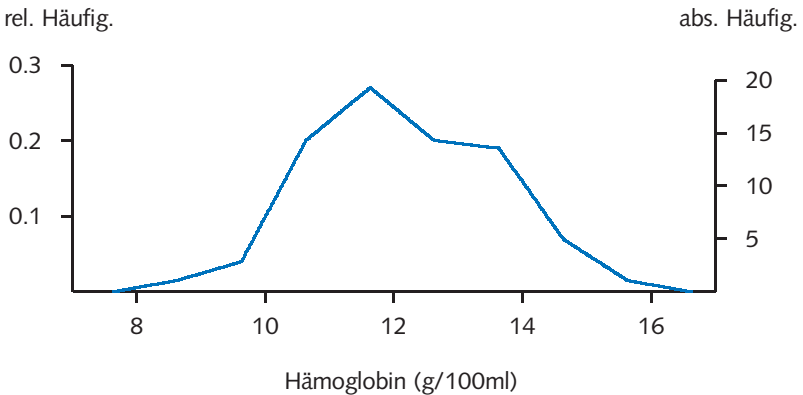


Abb. 2.7: Häufigkeitspolygon des **Bsp. 2.2**

Die Polygonarstellung wird meistens verwendet, wenn mehrere Häufigkeitsverteilungen verschiedener Gruppen oder Dateien in der gleichen Graphik miteinander verglichen werden (**Abb. 2.8**).

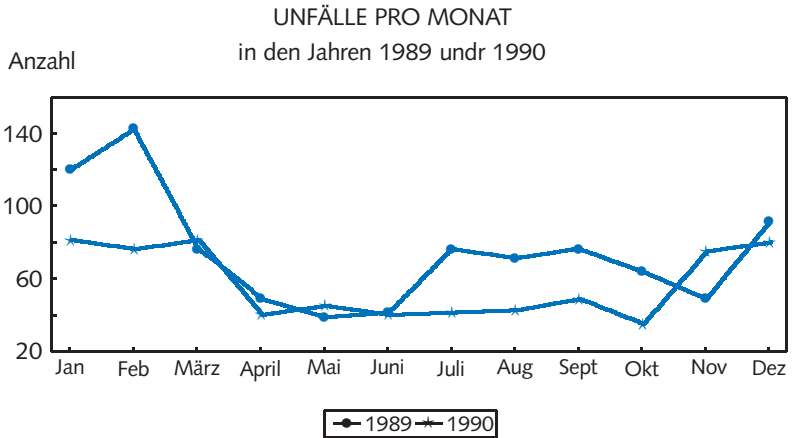


Abb. 2.8: Häufigkeitspolygon zweier Gruppen (Jahre)

- **Strichdiagramm** (Spike diagram)

Das Strichdiagramm enthält die volle Dateninformation. Jeder Wert wird mit einem Strich (entsprechend der Häufigkeit) repräsentiert (**Abb. 2.9**). Es wird häufig nur bei kleinem Umfang n der Daten verwendet. Bei großem Umfang werden Histogramme oder Häufigkeitspolygone zur graphischen Darstellung der Daten benutzt.

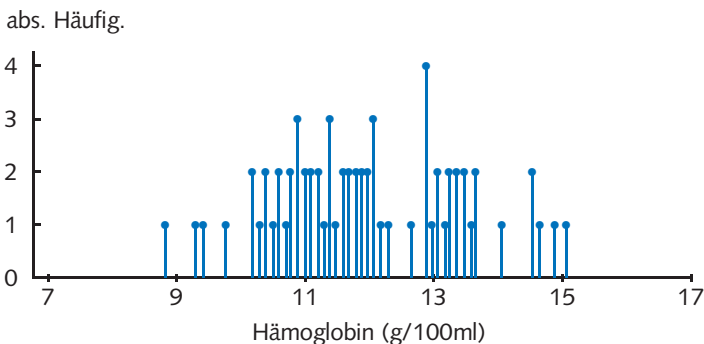


Abb. 2.9: Strichdiagramm des Bsp. 2.2