

Vorwort

Es gibt keine gute Medizin ohne Biostatistik. Dieser Satz wird bei den meisten Medizinstudenten auf Unverständnis stoßen. Warum ist es wichtig, als Mediziner sich mit Biostatistik zu befassen? Das ärztliche Handeln muß auf Wissen basieren. Alles andere ist Scharlatanerie – auch wenn es mit gutem Gewissen und in bester vorgebracht wird. Neues Wissen in der Medizin kann nur unter Kenntnis und Anwendung von statistischen Methoden gewonnen werden. Sonst verfallen wir Zufällen und Halbwahrheiten, die auch dann nicht besser werden, wenn sie mantrahaft wiederholt werden.

Ist Biostatistik unattraktiv? Keineswegs – es gibt sogar Mediziner, die Biostatistik faszinierend finden. Erst damit ist es möglich, Forschungsergebnisse (auch eigene) zu verifizieren und zu bewerten. Der schlechte Ruf, der diesem Fach vorausleilt, ist dadurch begründet, daß statistische Methoden auf mathematischen Formeln basieren, die für viele mathematikgeschädigte Mediziner ein Greuel sind. Als Anwender muß man diese Formeln jedoch nicht herleiten können oder auswendig lernen. Man sollte vielmehr verstehen, wie statistische Methoden sinnvoll in der Medizin angewandt werden. Öffnet man sich diesem Fachgebiet, erschließen sich äußerst interessante Anwendungsmöglichkeiten.

Wie sieht die Zukunft der Biostatistik aus? Die Biostatistik wird für die klinische und die forschende Medizin immer wichtiger werden. Statistische Softwarepakete ermöglichen es, auch komplizierte Auswertungen schnell und kompetent durchzuführen. Unser Wissen und unser Handeln werden sich immer mehr auf das kollektive Gesamtwissen stützen. Die Medizin des 21. Jahrhunderts wird die 'evidence based medicine' sein.

Ziel dieses Buches ist es deshalb, Studenten einen kompetenten Überblick über statistische Anwendungen in der Medizin zu geben.

Das Buch ist breit angelegt. Es ist nicht nur Studenten bei den Kurs- und Examensvorbereitungen nützlich, sondern auch als Nachschlagekompendium geeignet. Die Methoden werden verständlich dargestellt und anhand von einfachen Beispielen verdeutlicht. Die mathematischen Formeln werden nicht nur aufgelistet, sondern (soweit dies mit schulmathematischen Kenntnissen möglich ist) auch hergeleitet. Diese Abhandlungen sind jedoch **nicht** in den laufenden Text eingebettet. Der Leser kann bei Interesse die Formeln nachvollziehen – für das grundsätzliche Verständnis des Stoffes ist dies nicht erforderlich. Es ist geplant, in Kürze den Stoff durch Aufgaben im Internet abzurunden. Diese Aufgaben haben unterschiedliche Schwierigkeitsgrade und werden zusammen mit kommentierten Lösungen präsentiert.

Dieses Buch hätte nicht entstehen können ohne die Hilfe von zahlreichen Beteiligten. Hier sind in erster Linie Dr. Heiner Krieter, Uwe Thomke und Sandra Glass vom wissenschaftlichen Beirat zu nennen. Dr. Krieter stand immer als Ratgeber bezüglich medizinischer Fachfragen zur Verfügung und hat mich konstruktiv mit vielen eigenen Ideen unterstützt. Er hat – ebenso wie die beiden Studenten Herr Thomke und Frau Glass – den ganzen Text durchgearbeitet und kritisch kommentiert. Herr PD Dr. Berthold Rzany, Sc. M. hat als Epidemiologe freundlicherweise den letzten Teil (Versuchsplanung) übernommen und mir darüber hinaus mit vielen wertvollen Hinweisen geholfen. Danken möchte ich auch Frau Anne Repnow, Frau Dr. Petra Segräfe und Frau Constanze Sonntag vom Springer-Verlag für ihre große Geduld und die hervorragende Zusammenarbeit. Schließlich danke ich meinem Ehemann und meinen kleinen Töchtern Judith und Miriam, die das alles ertragen haben.

Noch ein letztes: wie verhält es sich eigentlich mit den Klapperstörchen und den kleinen Kindern? Gibt es hier tatsächlich einen Zusammenhang – und wenn ja, wodurch ist dieser begründet? Lesen Sie dieses Buch – dann wissen Sie Bescheid!

Christel Weiß

Mannheim, im Frühjahr 1999

1 Einleitung

1.1 Die Bedeutung der Statistik für die Medizin

Jeder medizinische Wissenschaftler und jeder praktisch tätige Arzt weiß aus Erfahrung, daß alle Erkenntnisse und Entscheidungen in der Medizin mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind. In diesem Punkt unterscheiden sich die Biowissenschaften grundlegend von den exakten Naturwissenschaften: während die meisten Zusammenhänge in der Mathematik oder der theoretischen Physik determiniert und damit berechenbar sind (etwa aufgrund einer mathematischen Gleichung oder eines physikalischen Gesetzes), unterliegen die Zustände und Vorgänge bei biologischen Systemen auch dem Zufall. Aus diesem Grund lassen sich die Eigenschaften eines Individuums oder medizinisch-biologische Abläufe allenfalls abschätzen, aber niemals exakt berechnen oder vorhersagen.

Im allgemeinen sind zwar zahlreiche Faktoren bekannt, die ein bestimmtes Merkmal beeinflussen. So ist etwa das Körpergewicht einer Person abhängig von deren Alter und Geschlecht; außerdem sind genetische Einflüsse, die Körpergröße, pathologische und psychische Besonderheiten sowie eine Reihe weiterer Einflußgrößen maßgebend. Es wird aber niemals möglich sein, *alle* das Körpergewicht bestimmenden Faktoren zu benennen und deren Einfluß im einzelnen zu quantifizieren. Dazu sind die Vorgänge und Zusammenhänge im menschlichen Organismus viel zu komplex und von unserem Verstand nicht mehr nachvollziehbar. Man geht deshalb davon aus, daß das Körpergewicht – wie alle anderen physiologischen Parameter – letztlich auch dem Zufall unterliegt.

Ebenso kennt man bei fast allen Krankheiten diverse Faktoren, die deren Entstehen möglicherweise verursachen oder deren Auftreten begünstigen. So weiß man beispielsweise, daß bei Menschen, die unter permanenter Anspannung leben und gleichzeitig unter erhöhtem Blutdruck und starkem Übergewicht leiden, die

Gefahr eines Herzinfarkts besonders hoch ist, und jeder verantwortungsbewußte Arzt wird einen Risikopatienten darauf hinweisen. Dessen ungeachtet gibt es Personen, die mit allen Risikofaktoren behaftet sind und dabei steinalt werden, ohne jemals einen Herzinfarkt zu erleiden; andererseits bietet eine vermeintlich gesunde Lebensweise, die alle bekannten Risikofaktoren ausschließt, keinen zuverlässigen Schutz vor dieser Krankheit. Schließlich ist auch hier der Zufall mitentscheidend. Aus diesem Grund kann bei keinem Menschen präzise vorhergesagt werden, ob eine bestimmte Krankheit im Laufe seines Lebens eintreten wird.

In Einzelfällen kann der Zufall zu extremen Werten oder zu unerwarteten Ergebnissen führen. Deshalb erlebt jeder Mediziner hin und wieder Überraschungen – angenehmer oder unangenehmer Art. Dies gilt für den Wissenschaftler, dessen Forschungsergebnisse stets eine gewisse Irrtumswahrscheinlichkeit beinhalten, ebenso wie für den behandelnden Arzt, der den Verlauf einer Krankheit nicht vorhersehen kann und niemals mit absoluter Sicherheit weiß, ob eine therapeutische Maßnahme den gewünschten Erfolg erzielen wird.

Die Statistik als die Wissenschaft des Zufalls stellt Methoden zur Verfügung, mit denen es möglich ist, trotz der Unberechenbarkeit der Einzelvorgänge allgemein gültige Aussagen herzuleiten. Diese bilden die Basis für jede wissenschaftliche Erkenntnis und jedes daraus abgeleitete ärztliche Handeln. Wann immer ein Arzt eine Entscheidung zu treffen hat, wird er sich an seiner eigenen Erfahrung sowie an diesen allgemeinen Grundsätzen orientieren. Dieses Vorgehen garantiert zwar nicht, daß die Entscheidung in jedem Fall sinnvoll ist und zum erwarteten Ergebnis führt. Sie ist aber nachvollziehbar, und das Risiko einer Fehlentscheidung ist minimiert. Der Zufall wird bei dieser Vorgehensweise nicht eliminiert, aber doch wenigstens quantifiziert.

Insofern ist die Statistik für die Medizin unentbehrlich, sowohl um Forschung zu betreiben als auch um deren Ergebnisse in der Praxis anzuwenden.

Teil I

Deskriptive Statistik

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Grundgesamtheit und Stichprobe

Die Hypothesen, die in den Bio- und Sozialwissenschaften aufgestellt werden und zu verifizieren sind, beziehen sich meist auf eine sehr große Anzahl von Individuen. Es wäre aus organisatorischen und zeitlichen Gründen viel zu aufwendig oder gar unmöglich, die gesamte Population zu untersuchen, auf die die Hypothese zutreffen könnte. Dies ist im allgemeinen auch gar nicht notwendig. Die moderne Statistik stellt nämlich Methoden zur Verfügung, die es ermöglichen, basierend auf einer relativ kleinen Stichprobe allgemein gültige Aussagen bezüglich einer weitaus größeren Grundgesamtheit herzuleiten.

Eine **Total-** oder **Vollerhebung** wird daher nur in Ausnahmefällen durchgeführt. Beispielsweise beruhen die Todesursachenstatistiken, die im jährlich erscheinenden Statistischen Jahrbuch der Bundesrepublik Deutschland veröffentlicht werden, medizinische Register oder die Ergebnisse einer politischen Wahl auf einer Vollerhebung. Im allgemeinen beschränkt man sich jedoch – insbesondere in der medizinischen Forschung – auf die Untersuchung einer kleinen Teilmenge, nämlich der **Stichprobe**, und überträgt die daraus gewonnenen Erkenntnisse auf die **Grundgesamtheit**. Dies ist allerdings nur unter der Voraussetzung sinnvoll, daß die charakteristischen Eigenschaften der Stichprobe – abgesehen von zufällig bedingten Abweichungen – mit denen der Grundgesamtheit übereinstimmen. Eine solche Stichprobe heißt **repräsentativ**.

Bei vielen Untersuchungen ist man vor das Problem gestellt, aus einer konkret vorgegebenen Grundgesamtheit eine repräsentative Stichprobe zu wählen. Ein Beispiel hierfür stellt eine Umfrage vor einer politischen Wahl dar. Die Grundgesamtheit besteht in diesem Fall aus allen wahlberechtigten Bürgern. Um eine Prognose zu erstellen, beschränkt man sich auf eine Stichprobe von einigen tausend Personen. Diese Stichprobe muß repräsentativ

sein, damit sie das endgültige Wahlergebnis hinreichend genau widerspiegelt.

Bei Untersuchungen in der Medizin ist die Problemstellung häufig umgekehrt: gegeben ist eine konkrete Stichprobe (beispielsweise die Patienten, die im Rahmen einer Studie untersucht werden). Danach ist zu klären, wie die Grundgesamtheit beschaffen ist und ob die Ergebnisse aus der Stichprobe auf diese übertragbar sind. Eine Antwort auf diese Frage beruht mehr auf sachlogischen als auf statistischen Überlegungen und ist eng mit dem jeweiligen Forschungsvorhaben verknüpft. Oft läßt sich die entsprechende Grundgesamtheit gar nicht angeben. Man sollte sich in jedem Fall davor hüten, allzu weitreichende Schlußfolgerungen zu ziehen, die sich im nachhinein als falsch herausstellen könnten.

Dieses Problem kann man zwar umgehen, indem man eine Untersuchung nur für einen speziellen, eng begrenzten Personenkreis durchführt und diesen als Grundgesamtheit auffaßt. Allerdings gelten die dadurch gewonnenen Ergebnisse nur eingeschränkt auf die Menge der untersuchten Personen und lassen sich nicht verallgemeinern.

2.2 Die Aufgaben der deskriptiven Statistik

Aus dem obigen Abschnitt geht hervor, daß bei einer Stichprobenuntersuchung die statistische Analyse aus 2 Teilen besteht. Zunächst werden die Daten der Stichprobe ausgewertet mit dem Ziel, deren charakteristische Eigenschaften zu beschreiben. Dies ist das Aufgabengebiet der *deskriptiven Statistik*. Dazu zählen im einzelnen:

- das Zusammenfassen und Ordnen der Daten in übersichtlichen **Tabellen**,
- das Erstellen von **Diagrammen** und
- das Berechnen **charakteristischer Kenngrößen** oder Maßzahlen (z.B. Mittelwert, Standardabweichung, Korrelationskoeffizient).

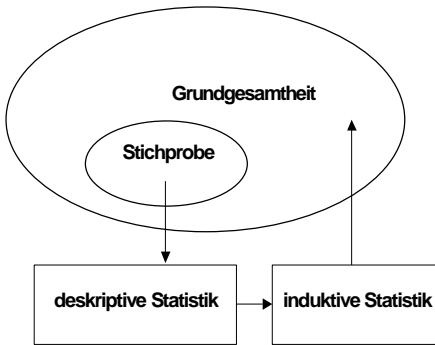


Abb. 2.1.
Grundgesamtheit und
Stichprobe

In einem zweiten Schritt versucht man dann, mit Methoden der **induktiven Statistik** zu allgemein gültigen Aussagen bezüglich der Grundgesamtheit zu gelangen. So gesehen, ist die deskriptive Statistik bei praktischen Anwendungen die Vorstufe zur induktiven Statistik. Beide Teilbereiche sind zur Datenanalyse notwendig und ergänzen sich.

Wenn anstelle einer Stichprobe die komplette Grundgesamtheit untersucht wird, werden die Daten mit Methoden der deskriptiven Statistik ausgewertet. Eine weitere Analyse mittels induktiver Statistik ist dabei nicht erforderlich.

2.3 Merkmale

2.3.1 Grundbegriffe

Die Personen oder Objekte einer Stichprobe werden als **Untersuchungseinheiten** (oder **Merkmalssträger**) bezeichnet. In der medizinischen Forschung handelt es sich dabei meist um Patienten, gesunde Probanden oder Versuchstiere. Darüber hinaus sind die **Beobachtungseinheiten** festzulegen – das sind die kleinsten Einheiten, an denen die einzelnen Beobachtungen registriert werden.

Bei vielen Studien sind die Beobachtungseinheiten mit den Untersuchungseinheiten identisch. Oft ist es jedoch angebracht,

die Beobachtungseinheiten näher zu spezifizieren. Wenn etwa von mehreren Patienten das rechte und das linke Auge untersucht wird, dann versteht man unter den Untersuchungseinheiten die Patienten und unter den Beobachtungseinheiten die einzelnen Augen. Wenn Patienten im Rahmen einer Studie mehrmals untersucht werden, dann ist eine Beobachtungseinheit identisch mit einem Patienten bezogen auf eine einzelne Untersuchung.

Die Beobachtungseinheiten sind durch bestimmte **Merkmale** charakterisiert – das sind Eigenschaften, die für die betreffende Studie relevant sind und statistisch ausgewertet werden. Alle Werte, die ein bestimmtes Merkmal annehmen kann, heißen **Merkmalsausprägungen**. Andere Eigenschaften der Beobachtungseinheiten sind – für die jeweilige Studie – uninteressant.

Die Art der Merkmale ist entscheidend für den weiteren Verlauf der Untersuchung, insbesondere für den erforderlichen Stichprobenumfang und die statistischen Analysemethoden. Deshalb sind zu Beginn der Planungsphase die zu erfassenden Merkmale genau festzulegen und deren Eigenschaften zu spezifizieren.

Bei einer medizinischen Studie werden in der Regel mehrere Merkmale erhoben. Diese werden zunächst einzeln, also unabhängig voneinander ausgewertet. Dies ist das Aufgabengebiet der univariaten Datenbeschreibung, die in Kapitel 3 behandelt wird. In vielen Fällen ist es darüber hinaus interessant, den Zusammenhang zwischen 2 Merkmalen zu untersuchen. Dieses Thema behandelt die bivariate Statistik in Kapitel 4. Mit multivariaten Analysemethoden wird der Zusammenhang zwischen mehreren Merkmalen erforscht. Diese Methoden können in diesem Buch nicht ausführlich behandelt werden. In Kapitel 9 werden einige kurz vorgestellt.

2.3.2 Ziel- und Einflußgrößen

Die Merkmale lassen sich grob einteilen in Ziel- und Einflußgrößen. Der eigentliche Zweck einer Studie besteht darin, Erkenntnisse über die **Zielgrößen** zu gewinnen. Die Merkmale, die in einem funktionalen Zusammenhang zu den Zielgrößen stehen und diese beeinflussen, heißen **Einflußgrößen**. Sie lassen sich unterteilen in:

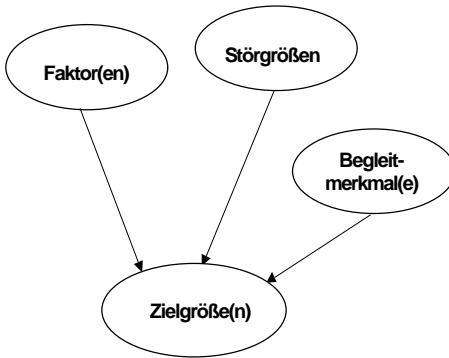


Abb. 2.2
Einflußgrößen und
Zielgrößen

- **Faktoren**, die erfaßt und ausgewertet werden,
- **Begleitmerkmale**, die eventuell erfaßt, aber im Rahmen der aktuellen Studie nicht ausgewertet werden,
- **Störgrößen**, die im Versuchsplan nicht berücksichtigt sind und deshalb nicht erfaßt werden.

Beispiel 2.1

Aus der Hypothese „Zigarettenrauchen beeinflusst das Entstehen eines Lungenkarzinoms“ geht hervor, daß das Merkmal „Entstehen eines Lungenkarzinoms“ die Zielgröße ist, während „Zigarettenrauchen“ der zu untersuchende Faktor ist. Andere Einflußgrößen wie etwa das Alter der Untersuchungseinheiten wird man im allgemeinen auch erfassen und – falls diese Größen nicht explizit ausgewertet werden – als Begleitmerkmale behandeln. Zu den Störgrößen zählen genetische Veranlagungen, Umweltbelastungen etc. – also Merkmale, die ebenfalls das Entstehen eines Lungenkarzinoms beeinflussen, aber nicht explizit erfaßt werden.

Anmerkung. Es gibt unverzerrende und verzerrende Störgrößen. Die unverzerrenden sind verantwortlich für die zufallsbedingte Streuung der Versuchsergebnisse. Die verzerrenden sind gefährlicher: sie können ein Ergebnis verfälschen oder zu Fehlinterpretationen verleiten. Sie sind jedoch bei einer sorgfältigen Versuchsplanung und –durchführung vermeidbar (s. Kap. 10).

2.3.3 Klassifikation nach Skalenniveaus

Jedes Merkmal läßt sich einem bestimmten *Skalenniveau* zuordnen. Dieses Niveau gibt Auskunft darüber, wie die entsprechenden Daten weiterverarbeitet werden können.

Nominalskala. Sie hat das niedrigste Niveau; die Ausprägungen unterscheiden sich nur begrifflich voneinander. Beispiele stellen die Augenfarbe, die Haarfarbe oder die Blutgruppe dar. Eine Spezialform bilden die *Alternativmerkmale* (die auch als *dichotome* oder *binäre Merkmale* bezeichnet werden) mit nur 2 Ausprägungen. So ist etwa das Geschlecht mit den Ausprägungen „männlich“ und „weiblich“ ein Alternativmerkmal, ebenso der Rhesusfaktor mit den Ausprägungen „positiv“ und „negativ“.

Ordinalskala (oder Rangskala). Sie besitzt ein höheres Niveau; die Ausprägungen dieser Merkmale lassen sich in einer Rangfolge anordnen. Ein bekanntes Beispiel bilden die Zensuren mit den Ausprägungen 1 bis 6. Auch medizinische Scores sind ordinalskaliert, ebenso das Merkmal Therapieerfolg mit den möglichen Abstufungen „vollständig geheilt“ bis hin zu „Patient verstorben“.

Nominal- und ordinalskalierte Merkmale werden zusammenfassend als *qualitative Merkmale* bezeichnet. Es ist allgemein üblich, diese Merkmale zahlenmäßig zu codieren. So kann das Geschlecht einer Person durch die Zahlen 1 (für männlich) oder 2 (für weiblich) angegeben werden; der Therapieerfolg läßt sich mit natürlichen Zahlen 0, 1, 2 ... beschreiben. Diese Zahlen haben jedoch keine numerische Bedeutung. Man kann zwar 2 Ausprägungen A und B eines nominalen Merkmals durch $A = B$ oder $A \neq B$ miteinander in Beziehung setzen; bei einem ordinalen Merkmal läßt sich eine der Relationen $A = B$, $A < B$ oder $A > B$ angeben. Mathematische Operationen wie beispielsweise die Bildung einer Differenz oder eines Quotienten sind jedoch sinnlos. Es leuchtet ein, daß bei qualitativen Merkmalen weder der Abstand zwischen 2 Ausprägungen noch deren Verhältnis definiert ist.

Metrische Skala. Sie hat einen höheren Informationsgehalt als die Ordinalskala. Metrisch skalierte Merkmale werden auch als *quantitativ* bezeichnet, da sich die Ausprägungen zahlenmäßig

unterscheiden. Diese Meßstrukturen findet man vor allem im physikalisch-naturwissenschaftlichen Umfeld und damit auch in der Medizin. Man unterscheidet 2 metrische Skalen. Bei der **Intervallskala** (auch **Abstandsskala** genannt) ist der Nullpunkt willkürlich festgelegt, so daß auch negative Zahlenwerte auftreten können. Die **Verhältnisskala** (oder **Ratioskala**) hat dagegen einen absoluten Nullpunkt. Bei beiden Skalen kann die Differenz zwischen 2 Ausprägungen $A - B$ berechnet werden; bei verhältnisskalierten Merkmalen ist es darüber hinaus möglich, das Verhältnis $A : B$ zu bilden (falls $B \neq 0$).

Beispiel 2.2

Das Merkmal „Temperatur in Celsiusgraden“ hat einen willkürlich festgelegten Nullpunkt (Gefrierpunkt des Wassers) und ist deshalb intervallskaliert. Beim Vergleich der beiden Ausprägungen 20°C und 40°C läßt sich zwar der Abstand berechnen; es wäre aber unsinnig, die Werte in ein Verhältnis zu setzen und zu sagen, 40°C seien doppelt so warm wie 20°C .

Viele Merkmale aus der Medizin sind verhältnisskaliert: das Körpergewicht, die Körpergröße, der Cholesteringehalt oder die Leukozytenanzahl pro μl Blut. Vergleiche der Art „10.000 Leukozyten pro μl Blut sind doppelt so viel wie 5.000“ sind bei diesen Merkmalen durchaus sinnvoll.

Anmerkung. Die Bezeichnungen „nominal“, „ordinal“ und „metrisch“ beziehen sich ursprünglich auf die Skalenniveaus und nicht auf die dazugehörigen Merkmale oder Daten. Diese werden korrekterweise als qualitativ bzw. quantitativ oder – um das Skalenniveau hervorzuheben – als nominalskaliert, ordinalskaliert bzw. metrisch skaliert gekennzeichnet. Es hat sich jedoch mittlerweile eingebürgert, nicht nur die Skalen, sondern auch die Merkmale und Daten mit den Attributen nominal, ordinal bzw. metrisch zu kennzeichnen.

2.3.4 Diskrete und stetige Merkmale

Ferner kann man zwischen diskreten und stetigen Merkmalen unterscheiden. Ein Merkmal heißt **diskret**, wenn es nur abzählbar viele Werte annehmen kann. Alle qualitativen Merkmale sind trivialerweise diskret. Quantitative Merkmale sind dann diskret, wenn die Merkmalsausprägungen durch einen Zählvorgang ermittelt werden. Beispiele sind die Anzahl der Leukozyten pro μl Blut oder die Anzahl richtig gelöster Klausuraufgaben.

Ein *stetiges* Merkmal kann dagegen alle Zahlenwerte innerhalb eines bestimmten Intervalls annehmen; die Ausprägungen werden in der Regel durch einen Meßvorgang ermittelt. Als Beispiele seien die Körpergröße oder das Körpergewicht genannt. Allerdings läßt die begrenzte Meßgenauigkeit bei der Bestimmung eines stetigen Merkmals nur abzählbar viele Ausprägungen zu. So wird die Körpergröße meist in der Einheit „cm“ mit ganzzahligen Zahlenwerten angegeben, wobei im Einzelfall auf- oder abgerundet wird. Deshalb ist bei praktischen Untersuchungen letzten Endes jedes Merkmal diskret.

Übersicht 1: Die Skalenniveaus

Merk- malsart	Skalenniveau	Beispiele	Hinweise	Vergleich 2er Ausprägungen	
qua- litativ	nicht- metrisch	Nominal- skala	Blutgruppe, Rhesusfaktor	niedrigstes Niveau	<ul style="list-style-type: none"> • $A = B$ oder $A \neq B$
		Ordinal- skala (Rangskala)	Intelligenz- quotient, med. Score	Rangfolge ist definiert	<ul style="list-style-type: none"> • $A = B$ oder $A \neq B$ • $A = B$, $A > B$ oder $A < B$
quan- titativ	metrisch	Intervall- skala (Abstands- skala)	Temperatur in Celsius- Graden	Skala mit willkür- lichem Nullpunkt, Abstand ist definiert	<ul style="list-style-type: none"> • $A = B$ oder $A \neq B$ • $A = B$, $A > B$ oder $A < B$ • $d = A - B$
		Ratioskala (Verhältnis- skala)	Leukozyten- anzahl pro μ l Blut, Körpergröße	höchstes Niveau, Skala mit abs. Null- punkt, Verhältnis ist definiert	<ul style="list-style-type: none"> • $A = B$ oder $A \neq B$ • $A = B$, $A > B$ oder $A < B$ • $d = A - B$ • $c = A : B$ (für $B \neq 0$)

Es gibt jedoch statistische Analysemethoden, die stetige Merkmale voraussetzen und die dann angewandt werden, wenn das quantitative Merkmal innerhalb eines bestimmten Bereichs zahlreiche, fein abgestufte Ausprägungen hat. Insofern ist eine Unterscheidung zwischen diskreten und stetigen Merkmalen nicht nur theoretisch, sondern auch für praktische Anwendungen sinnvoll.

2.3.5 Skalentransformationen

Es ist generell möglich, ein höheres Skalenniveau auf ein niedrigeres zu transformieren. Jede Verhältnisskala ist gleichzeitig eine Intervallskala; diese wiederum kann als eine Ordinalskala aufgefaßt werden. Die Nominalskala kann grundsätzlich jedem Merkmal zugeordnet werden. Es handelt sich bei einer Skalentransformation also immer um eine Reduktion des Niveaus.

Beispiel 2.3

Dieser Sachverhalt sei erläutert am Merkmal „Zigarettenkonsum eines Patienten“. Die Merkmalsart und das Skalenniveau sind abhängig von der Art, wie man dieses Merkmal mißt:

Ausprägungen	Merkmalsart	Skala
Menge des pro Jahr konsumierten Tabaks in Gramm	quantitativ-stetig	Verhältnisskala
Anzahl der pro Jahr gerauchten Zigaretten	quantitativ-diskret	Verhältnisskala
Nichtraucher – schwacher Raucher – mäßiger Raucher – starker Raucher	qualitativ	Ordinalskala
Nichtraucher – Raucher	qualitativ	Nominalskala

Dieses Beispiel macht deutlich, daß eine Reduktion des Skalenniveaus einerseits mit einer einfacheren Meßtechnik einhergeht, andererseits einen Informationsverlust beinhaltet. Dennoch ist eine Skalentransformation bei praktischen Anwendungen zuweilen sinnvoll. Um beispielsweise bei Routineuntersuchungen den Glukosegehalt im Blut zu bestimmen, ist es nicht notwendig, diesen exakt in mg zu erfassen. Statt dessen verwendet man Teststreifen mit den Ergebnissen „negativ“ und „positiv“. Im Einzelfall ist stets

abzuwägen, ob das Skalenniveau zugunsten eines einfachen und schnellen Meßverfahrens reduziert werden kann.

In den nachfolgenden Kapiteln wird gezeigt, daß die statistischen Analysemethoden für metrisch skalierte Merkmale erheblich differenziertere Auswertungen ermöglichen als die Methoden für ordinal- oder nominalskalierte Merkmale. Eine Skalentransformation sollte man deshalb nur dann durchführen, wenn praktische Gründe dies erfordern, und ansonsten versuchen, ein möglichst hohes Niveau beizubehalten. Wenn jedoch Zweifel bestehen, ob ein höheres Skalenniveau überhaupt angenommen werden kann, sollte man sicherheitshalber das nächst niedrigere zugrunde legen.