

**Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt
für Land- und Forstwirtschaft
Berlin-Dahlem**

Heft 192

Dezember 1979



Aus dem Richtlinienarbeitskreis
„Biometrie“
der Biologischen Bundesanstalt
für Land- und Forstwirtschaft

**Über das Messen und die Skalenarten
im Pflanzenschutzversuchswesen**

Von
Dr. János O'sváth, Dr. Hubertus Peil
Celamerck GmbH u. Co. KG, Ingelheim
und
Prof. Dr. Hans Geidel
Universität Stuttgart-Hohenheim
Rechenzentrum

Berlin 1979

*Herausgegeben
von der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft
Berlin-Dahlem*

Kommissionsverlag Paul Parey, Berlin und Hamburg
Lindenstraße 44-47, D-1000 Berlin 61

ISSN 0067-5849

ISBN 3-489-19200-1

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

O'sváth, János:

Über das Messen und die Skalenarten im Pflanzenschutzversuchswesen/von János O'sváth, Hubertus Peil u. Hans Geidel. Hrsg. von d. Biolog. Bundesanst. für Land- u. Forstwirtschaft Berlin-Dahlem.

– Berlin, Hamburg: Parey [in Komm.], 1979.

(Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem; H. 192)
ISBN 3-489-19200-1

NE: Peil, Hubertus.; Geidel, Hans:

© Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen, der Funk- sendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Werden einzelne Vervielfältigungsstücke in dem nach § 54 Abs. 1 UrhG zulässigen Umfang für gewerbliche Zwecke hergestellt, ist an den Verlag die nach § 54 Abs. 2 UrhG zu zahlende Vergütung zu entrichten, die für jedes vervielfältigte Blatt 0,40 DM beträgt.

1979 Kommissionsverlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, Lindenstraße 44–47, D-1000 Berlin 61, Printed in Germany by Arno Brynda GmbH, 1000 Berlin 62. Buchbinder: C.F. Walter, 1000 Berlin 61.

<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
1 Die Bedeutung der Skalenauswahl	5
2 Das Messen	10
3 Fundamentalskalen	15
3.1 Nominalskala	15
3.2 Rangskala	17
3.3 Intervallskala	22
3.4 Absolutskala	23
4 Statistische Bearbeitungsmöglichkeiten bei Fundamentalskalen	28
4.1 Lokations-, Dispersions- und Korrelationsmaße	28
4.2 Statistische Tests	30
4.3 Einige skalenuabhängige Aspekte bei der Auswahl statistischer Tests	32
5 Abgeleitete Größen und zugehörige Skalen	34
5.1 Abgeleitete Größen	36
5.2 Vor- und Nachteile der "Abgeleiteten Größen"	42
5.3 Skalenarten und statistische Bearbeitungsmöglichkeiten	44
6 Wertzahlen und Wertskalen	47
6.1 Klassifizierung	48
6.2 Zuordnung von Wertzahlen zu den Klassen: Wertskala	51
6.3 Beispiele zu den Wertskalen	53
6.4 Statistische Bearbeitungsmöglichkeiten bei Wertskalen	60
7 Wahl der Skalenart	64
7.1 Biologische Natur des Phänomens	64
7.2 Ökonomische Aspekte	65
7.3 Erfassung der Phänomene durch mehrere Zielgrößen	65
7.4 Über skalenuabhängige Gründe für die nicht Auswertbarkeit der Datenmengen	70
Liste der Beispiele	78
Index der Begriffe aus dem Versuchswesen und der Statistik	81

On Measurement and Types of Scales in Plants Protection
Experiments

by J. O'SVATH, H. PEIL and H. GEIDEL

<u>Contents</u>	<u>Page</u>
1 The importance of scale choicing	5
2 Measurement	10
3 Fundamental scales	15
3.1 Nominal scale	15
3.2 Ranking scale	17
3.3 Interval scale	22
3.4 Ratio scale	23
4 Statistical analysis based on fundamental scales	28
4.1 Parameters of location, dispersion and of correlation	28
4.2 Statistical tests	30
4.3 Some scale independent aspects of choicing a statistical test	32
5 Derived measurement and related scales	34
5.1 Derived measurement	36
5.2 Advantages and disadvantages of derived measurements	42
5.3 Types of derived scales and related statistical analysis	44
6 Scores and related scales	47
6.1 Classification	48
6.2 Assignment of scores to classifying groups: Scale of scores	51
6.3 Examples for scales of scores	53
6.4. Statistical analysis based on scales of scores	60
7 Choicing of scales	64
7.1 Biological nature of the phenomenon	64
7.2 Economical aspects	65
7.3 Registration of the phenomenon by several variables	65
7.4 On the scale in dependent reasons that data can not be analyzed by statistical methods	70
List of examples	78
Index of notation from field experiments and statistics	81

1 Die Bedeutung der Skalenauswahl
=====

Dem Statistiker bereiten die zum Verrechnen bestimmten Daten nicht selten Schwierigkeiten. Auch bei ordnungsgemäß vorgeplanten Versuchen erfordern die erhobenen Daten von Fall zu Fall eine individuelle statistische Analyse, die oft von den routinemäßigen Verfahren abweichen kann. Manchmal muß sogar auf eine statistische Analyse gänzlich verzichtet werden.

Beispiel 1:

Art: Kartoffel

Pflanzenschutzmittel: Herbizid

Zielgröße: Beschädigung der Kartoffeln in Prozent

Prüfglied	Behandlung	Dosis kg/ha	Block		
			a	b	c
1	A	1	0	0	0
2		2	0	0	0
3		4	40	40	40
4	B	1	0	0	0
5		2	20	0	0
6		4	20	0	5
7	St. I	2	0	0	0
8	St. II	0,7	0	0	0

Beispiel 2:

Art: Zuckerrübe

Pflanzenschutzmittel: Insektizid

Zielgröße: In "Unbehandelt": Effektiver Befall
In den übrigen Parzellen:
Wirkung in Prozent auf "Unbehandelt" bezogen

Prüfglied	Behandlung	Dosis kg/ha	Block			
			a	b	c	d
1	Unbehandelt		13	10	8	6
2	A	25	94	100	92	100
3		50	100	100	92	100
4		100	100	100	100	100
5	B	25	95	93	91	90
6		50	100	93	100	100
7		100	100	100	100	100
8	St.	20	100	100	90	100

Beispiel 3:

Art: Kartoffeln

Pflanzenschutzmittel: Fungizid

Zielgröße: Befall nach der Skala "BBA 1 - 9"

Prüfglied	Behandlung	Block			
		a	b	c	d
1	Kontrolle	8	7	9	8
2	Präparat A	1	2	1	1
3	Präparat B	1	1	1	1
4	Präparat C	1	1	1	1
5	Präparat D	2	4	1	3
6	Präparat E	3	2	4	3

Die Daten der Beispiele 1 - 3 stammen aus tatsächlich durchgeführten, in Blöcken angelegten Feldversuchen, die allerdings nicht alle nach BBA-Richtlinien durchgeführt wurden. Die Behandlungen waren in den einzelnen Blocks zufällig angeordnet.

Rechenanlagen stehen selbstverständlich zur Verfügung, und es sind auch Programme vorhanden, die randomisierte Blockanlagen korrekt verrechnen können. Dennoch können Daten, wie sie in den Beispielen 1 - 3 aufgezeigt sind, nicht ohne weiteres analysiert werden.

Einige Gründe fallen sofort auf:

- Die Daten zeigen zu grobe Abstufungen (Beispiel 1).
- Die Daten sind keine einheitlichen Meßgrößen (Beispiel 2).
- Die Varianzen der einzelnen Behandlungen können nicht als homogen angesehen werden, was auch durch Transformationen nicht behoben werden kann (alle drei Beispiele).
- Die Daten können zum Teil noch nicht einmal in eine Rangordnung gebracht werden, da zu viele gleich sind (alle drei Beispiele).

Ob und wie Daten statistisch analysiert werden können bzw. sollen, hängt von verschiedenen Voraussetzungen und Umständen ab. Die Auswirkung der Versuchsanlage auf die Auswertungsmethode und die speziellen Voraussetzungen der Auswertungsmethoden werden in den Lehrbüchern ausführlich behandelt (vgl. u.a. COCHRAN und COX, 1957; FEDERER, 1955; LINDER, 1953, MUDRA, 1958). Auch die Art, wie Daten zu erheben sind, ist allgemein bekannt. Auf die Folgen von "nicht repräsentativen", "ungenauen", "subjektiv (d.h. durch Bonitur) gewonnen", "abhängigen" und "diskontinuierlichen" Daten wird immer wieder hingewiesen.

Eine weitere Schwierigkeit für eine statistische Analyse kann man unter Umständen schon bei der Versuchsplanung voraussehen. Eine unglückliche Auswahl der Skala, an der das Phänomen "gemessen" werden soll, kann die Möglichkeiten der statistischen Bearbeitung begrenzen oder sogar verbieten. Dies macht die Bedeutung der zweckmäßigen Skalenauswahl offensichtlich.

In dieser Arbeit soll auf Fragen eingegangen werden, die sich auf den engeren Bereich der Skalenauswahl beziehen. Die vielseitigen Verbindungen

- mit dem psychologischen Vorgang des Beobachtens,
 - mit den Arten der Datenerhebungen (Stichprobenahme, Versuchsanlage),
 - mit den Möglichkeiten der Transformationen und
 - mit den Voraussetzungen der Analysemethoden
- werden nicht besprochen.

Hauptsächlich werden behandelt:

- (1) Darstellung, Gruppierungen und Unterscheidung verschiedener Skalenarten.
- (2) Beispiele aus der Literatur und aus dem Pflanzenversuchswesen.
- (3) Hinweise auf die Art der statistischen Auswertungsmethoden, die bei den verschiedenen Skalenarten möglich sind.

Schließlich beschränken wir uns auf die Skalenarten von Zielgrößen. Die Skalenarten von Einflußgrößen werden nur am Rande behandelt.

2 Das Messen =====

Das Objekt der Beobachtung ist im Pflanzenschutzversuch die Parzelle, die Pflanze, ein Pflanzenteil (Blatt, Stiel, Wurzel) usw.. Beobachtet wird an einem Objekt ein Phänomen (Eigenschaft, Merkmal, Erscheinung, attributum). Ein Objekt kann sehr viele, verschiedene Phänomene aufweisen. Die einem Versuch zugrundeliegende Fragestellung oder Zielvorstellung bedingt, welche Phänomene zu beobachten sind. An Versuchsvorhaben, bei denen an den Versuchsobjekten jeweils nur ein Phänomen beobachtet werden muß, können die verschiedenen Skalenarten am besten dargestellt und erläutert werden.

Ganz allgemein läßt sich das zu behandelnde Problem wie folgt formulieren:

Wie komme ich von dem an einem Objekt zu beobachtenden Phänomen zu Größen ("Meßwerten"), die für eine statistische, auf das Versuchsziel bezogene Analyse geeignet sind?

Nach STEVENS (1946) ist das Messen im weitesten Sinne definiert als die Zuordnung von Zahlen oder Attributen zu einem Phänomen entsprechend festgelegter Regeln.

Ein Phänomen erscheint in verschiedenen Ausprägungen (Alternativen, Erscheinungsformen). Unter Berücksichtigung der jeweils theoretisch möglichen Ausprägungen (Alternativen) eines Phänomens wird eine Skala (Meßskala) erstellt. Der Meßvorgang besteht darin, daß die beobachtete Ausprägung (Alternative) als eine der theoretisch möglichen erkannt wird (Homomorphismus, Isomorphismus, siehe PFANZAGL, 1971).

Obwohl immer die beobachteten Erscheinungsformen des Phänomens zugeordnet werden, bezieht man aus Bequemlichkeit oft die

Ausprägungen (Alternativen) bzw. die ermittelten Daten (Meßergebnis) direkt auf das Objekt. So sagt man einfach "Hans ist der Erste" anstatt "seiner Größe (Phänomen) nach ist Hans (Objekt) der Erste (Rangwert) in der Schulklasse (Umfang der Gesamtheit)". Seinem Gewicht nach (anderes Phänomen) wäre vielleicht ein anderer Schüler der erste dieser Schulklasse gewesen.

Wenn völlig klar ist, wie das Messen durchgeführt wurde, kann man nichts gegen die kürzere Form einwenden. Die Beobachtungsvorschriften müssen aber eindeutig beinhalten, was man in dieser speziellen Vorschrift unter den Begriffen; Objekt, Phänomen, Alternative, Meßskala, Messen und Meßergebnis, versteht. Die konkreten Inhalte dieser Begriffe müssen auch den statistischen Bearbeitern unbedingt zur Kenntnis gebracht werden, weil sie normalerweise aus dem Datenmaterial nicht erkennbar sind.

Als Meßergebnis (Meßwert) gilt die zugeordnete Ausprägung (Alternative). In vielen Fällen werden Ausprägungen zu Klassen zusammengefaßt und analog zu Alternativen mit ganzen Zahlen gekennzeichnet.

Im mathematischen Sprachgebrauch bezeichnet man eine veränderliche Größe, die verschiedene Werte annehmen kann, als Variable. Im Versuchswesen unterscheidet man Einflußgrößen (unabhängige Variable) und Zielgrößen (abhängige Variable). Die in einem Versuch oder bei einer Erhebung erfaßten Daten sind dem Objekt als Ergebnis des Messens (Beobachtung) zugeordnete, der Erscheinungsform des Phänomens entsprechende Realisation der Variable.

Die verschiedenen Skalenarten bedingen unterschiedliche Regeln, nach denen Zahlen oder Attribute dem jeweils beobachteten Phänomen zugeordnet werden und führen damit auch zu unterschiedlichen Formen des Messens.

Die Skalenarten werden

- durch die Regeln bei der Zuordnung der Zahlen oder Attribute zu dem Phänomen und
- durch die formalen (mathematischen) Eigenschaften der Skalen

gekennzeichnet.

Die möglichen Relationen und zulässigen Operationen zwischen den Skalenwerten müssen mit den empirischen Relationen und Operationen zwischen den Ausprägungen (Alternativen) des beobachteten Phänomens übereinstimmen. Ziel ist es, von den Skalenwerten und den numerischen Relationen zwischen ihnen auf die empirischen Relationen zwischen den Ausprägungen (Alternativen) des beobachteten Phänomens zurückzuschließen.

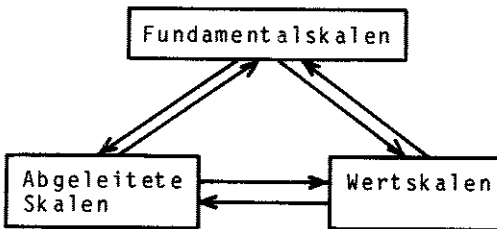
Die Beziehung zwischen den Skalenwerten und dem Phänomen einschließlich der für beide möglichen Operationen muß so eng sein, daß durch eine Analyse der Meßwerte neue Informationen über das Phänomen tragende Objekt gewonnen werden können.

Das "Messen" kann nie besser sein als die Güte der Zuordnung der Zahlen zu dem Phänomen. Sie wird beschränkt durch die Art des Phänomens selbst, aber auch durch das Verfahren, mit der die Zuordnung durchgeführt wird, d.h. durch die Art der benutzten Skala.

In der Physik unterscheidet man zwischen fundamentalen (grundlegenden) Größen (Skalen) und abgeleiteten Größen. Fundamentale physikalische Größen sind zum Beispiel Länge (Meter), Masse (Kilogramm), Zeit (Sekunde). Daraus entstehen abgeleitete Größen, wie zum Beispiel Dichte (Gramm/Kubikzentimeter), Geschwindigkeit (Meter/Sekunde) und Kraft (Newton = (Meter x Kilogramm) / (Sekunde²)).

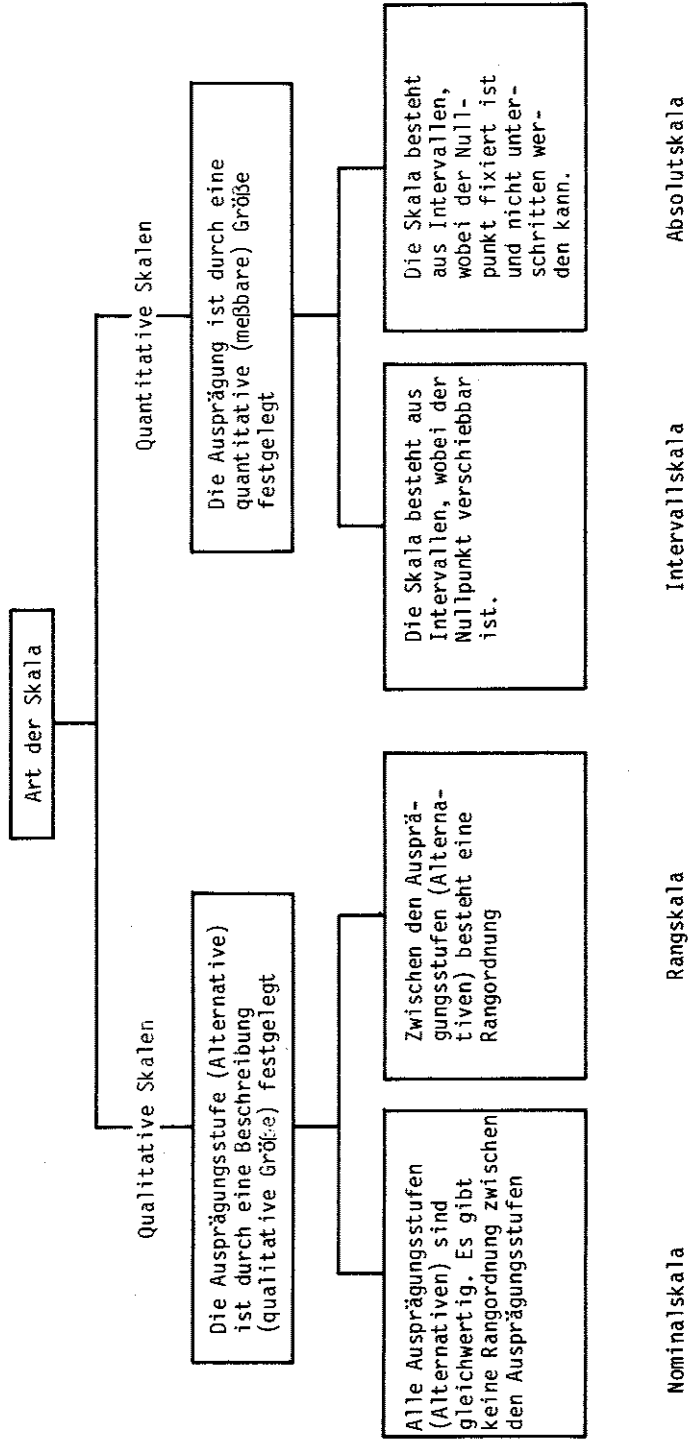
Im Versuchswesen kann man in Analogie zur Physik fundamentale und abgeleitete Skalen unterscheiden. Nominal-, Rang-, Intervall- und Absolut-Skala (STEVENS, 1946; 1968) stellen die vier grundlegenden Skalenarten dar. Andere Arten von Skalen sind aus den fundamentalen Skalen durch Addition, durch Bildung von Differenzen, Quotienten oder Indexzahlen abgeleitet.

Speziell im Pflanzenschutzversuchswesen sind darüber hinaus bestimmte Abbildungen (Projektionen) der genannten fundamentalen und abgeleiteten Skalen verbreitet, die man unter dem Namen Wertskalen zusammenfassen kann.



Bei der Skalenabbildung stehen bei abgeleiteten Skalen und bei den Wertskalen andere Skalen im Hintergrund: bei den abgeleiteten eine Fundamentalskala oder eine Wertskala, bei den Wertskalen eine Fundamentalskala oder eine abgeleitete. Die nach der Bildung erhaltenen Werte, sowohl der abgeleiteten als auch der Wertskala, können daher als Größen betrachtet werden, die auf einer der Fundamentalskalen liegen.

Tabelle 1 : Die vier fundamentalen Skalenarten (nach STEVENS, 1964; 1968)



3 Fundamentalskalen =====

Die Tabelle 1 enthält eine Übersicht über die vier Fundamentalskalen, die wie folgt eingeteilt werden:

- qualitative Skalen
 - Nominalskala
 - Rangskala

- quantitative Skalen
 - Intervallskala
 - Absolutskala.

3.1 Nominalskala

Die Nominalskala ist eine qualitative Skala. Sie wird auch als typisch bzw. spezifisch qualitative Skala bezeichnet. Sie besteht aus Alternativen oder Alternativklassen (Zustandsklassen). Die grundlegende Operation, durch die bei der Nominalskala die verschiedenen Erscheinungsformen des beobachteten Phänomens auf dem Objekt erfaßt wird, ist die Feststellung seiner Gleichheit mit einer der Alternativen. Es handelt sich hier um eine qualitative Übereinstimmung: das beobachtete Objekt gehört zu einer der möglichen Klassen.

Beispiele: - die Tage der Woche
- Berufsgruppen
- Alternativfarben

Es können zwei oder mehr Alternativen (Klassen) vorkommen. Es ist zweckmäßig, die Alternativen so zu wählen, daß jedes Beobachtungsobjekt mit der ihm entsprechenden Erscheinungsform des Phänomens in einer, aber nur in einer der Alternativen eingestuft werden kann (disjunkte Alternativklassen). Bei nur zwei Alternativen spricht man von einer "Ja" - "Nein" - Entscheidung.

Beispiel: Bei den meisten tierischen Lebewesen (Objekt) besteht die Nominalskala des Geschlechtes (Phänomen) aus zwei Alternativklassen: "männlich" - "weiblich"; bei den Bienen hat das Geschlecht drei Alternativen (Erscheinungsformen).

Damit die Skala alle Möglichkeiten erfaßt (ausschöpfende Skala), fügt man oft eine zusätzliche Alternativklasse ergänzend dazu, die alle nicht explizit beschriebenen Alternativen erfaßt.

Beispiel: Für die Unterteilung der Wirtschaftszweige können u.a. folgende Klassen gewählt werden:

- Land- und Forstwirtschaft
- Industrie
- Verkehr
- sonstige Wirtschaftsbereiche

Die Alternativklassen der Nominalskala stehen gleichwertig nebeneinander. Keine ist der anderen überlegen. Man kann zwar, um die Alternativen zu unterscheiden, quantitative Werte, z.B. Nummern, Ziffern, den Klassen zuordnen. Diese quantitative Werte sind aber wie Klassennummern zu verstehen. Sie werden nur als Symbol betrachtet, die qualitative Verschiedenheit ausdrücken (Telefonnummer, Kraftfahrzeugkennzeichen, Nummern bei Fußballspielern). Es liegt keine

Wertskala im Hintergrund. Sie können ohne inhaltliche Folgen permutiert werden. Man könnte sagen, daß die Alternativklassen sogar viel mehr beinhalten als mit einer einzigen Zahl auszudrücken wäre.

Beispiele aus dem Pflanzenschutzversuchswesen:

- Ist das zu beobachtende Phänomen die "Art des Unkrautes" und es gibt für die Unkrautpflanze die Möglichkeit "Art 1" oder "Art 2",...oder "Art (k-1)" oder "sonstiges" zu sein, so handelt es sich um eine Nominalskala mit k Alternativen (Klassen).
- Das Vorhandensein jeder Art der Leitunkräuter bildet für sich eine Nominalskala mit 2 Alternativen: die Unkrautart "ist anwesend" oder "fehlt".
- Das Vorhandensein jeder Art der Schädlinge bildet analog eine Nominlskala mit 2 Alternativen.
- Die Alternativklassen "lebend" und "tot" bilden eine Nominalskala mit 2 Alternativen (das Phänomen könnte mit Vitalität bezeichnet werden).
- Bei den Einflußgrößen im Feldversuchswesen sind "Blöcke", ferner "Behandlungen", soweit sie nur qualitative Alternativen bedeuten (Namen der Behandlungspräparate), Nominalskalen.

3.2 Rangskala

Die Rang- oder Ordinalskala ist, wie die Nominalskala, eine qualitative Skala und besteht aus Alternativen. Die grundlegende Operation, durch die bei der Rang- oder Ordinalskala die Erscheinungsform des beobachteten Phänomens erfaßt wird, ist die Feststellung, ob die Alternative, mit der sie

übereinstimmt, "größer" als eine andere Alternative oder "gleich" mit ihr ist, oder anders ausgedrückt, welchen Rangwert das Objekt der Erscheinungsform des beobachteten Phänomens nach einnimmt. Die Alternativen der Rangskala sind noch nicht gleichwertig, sie sind beschreibend und qualitativ und sie bilden eine Reihenfolge. Es handelt sich hier um eine qualitative Übereinstimmung mit einer Alternative, durch die auch über Rangwert des Objektes entschieden wird.

Sind k Objekte vorhanden, so müssen möglichst k Rangwerte zugeordnet werden. Gleichwertige Ränge für Objekte, die nicht in ihrem Rangwert unterschieden werden können (Bindungen, englisch: ties), sind zwar zugelassen, dürfen aber nur ausnahmsweise vorkommen. Kommen Bindungen zu häufig vor, entartet die Rangskala in eine Skalenart mit Klassen, die unter dem Namen "Wertskala" (Punkt 6) besprochen wird.

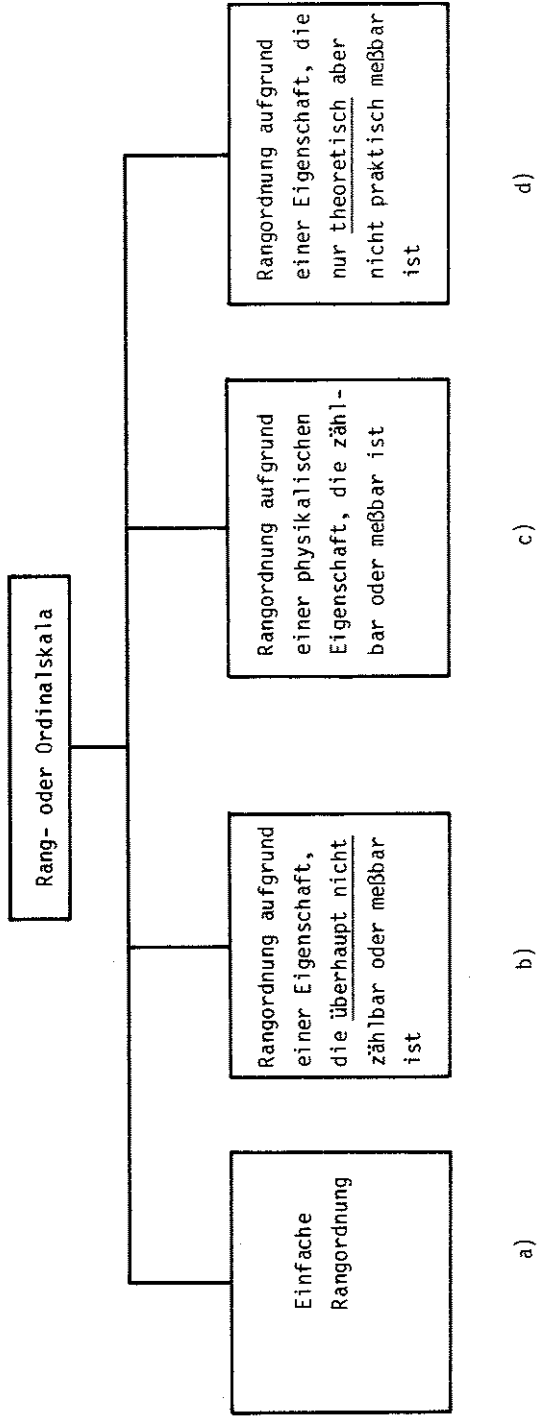
Es gibt, nach KENDALL (1970) vier verschiedene Gruppen von Rangskalen (Tabelle 2). Entscheidend ist, wie sie entsteht.

- a) Die Rangskala entsteht aus einfacher Reihenordnung der Objekte. Die Objekte werden nur in Beziehung zu ihrer Position im Raum oder in der Zeit betrachtet. Beispiele:

Die durch Mischen entstandene neue Ordnung der Karten ist eine Rangordnung, die man mit der originalen vergleichen kann. Wir sind nur an der räumlichen Reihenordnung interessiert (und nicht, ob z.B. einige Objekte "besser" oder "schlechter" als die anderen liegen, "größer" oder "kleiner" als die anderen sind).

Im Versuchswesen gehört die Reihenfolge der Behandlungen, die einem logischen System, dem Zufall nach (randomisiert) oder anderswie gemischt wurden, in diese Gruppe der Rangskalen.

Tabelle 2 : Rangskalentypen (nach KENDALL, 1970)



- b) Die Rangskala entsteht durch Reihenordnung bezüglich einer Eigenschaft, die auf einer objektiven Skala nicht gemessen werden kann. Beispiele:

Rangordnung der Minerale (Objekte) nach ihrer "Härte" (gegeneinander gemessen). Wenn $A > B$ und $B > C$, dann wird $A > C$, und dadurch können die Objekte ohne Zweideutigkeit (ausgenommen daß zwei gleich hart wären!) in Rängen geordnet werden. Allerdings ist von quantitativem "Messen - der - Härte" in dieser Annäherung keine Rede. Man kann zwar sagen, daß A härter als B ist, aber nicht, daß A z.B. zweimal so hart wäre. Dazu hätte man sich eines Vergleiches mit einer quantitativen Meßskala bedienen müssen.

Stellt man die gegebenen k Gläser Wein dem Geschmack nach in eine Rangreihe (man testet sie gegeneinander), so gehört diese Rangordnung in diese Gruppe (man hätte die Weine nach mehreren Eigenschaften auch physikalisch-chemisch analysieren können).

Würde man im Pflanzenschutzversuch befallene Pflanzen der "Schwere der Krankheit" nach gegeneinander (nach Augenmaß) testen und sie entsprechend dem Ergebnis in eine Rangreihe stellen, so gehört diese Rangordnung in die Gruppe. (Man hätte bei den Pflanzen eingehender mehrere Symptome (Phänomene) einzeln prüfen können).

- c) Die Rangskala entsteht durch Reihenordnung nach einer bestimmten meßbaren oder zählbaren Eigenschaft. Beispiel:

Objekte nach ihrer Größe geordnet (z.B. Personen "nach Augenmaß" ihrer Größe entsprechend eingeordnet) oder Reihenfolge des Zieleinlaufs bei einem sportlichen Wettbewerb.

Im Feldversuch gehört zu dieser Rangskalagruppe das Verfahren, bei dem k Behandlungen in jedem Block der Befallsstärke bzw. Besiedlungsdichte nach (Zielgröße) in eine Rangreihe von 1 bis k eingeordnet werden. Z. B. könnte man die Farbtönung von Rasenparzellen bei Anwendung von Wuchshemmungspräparaten von tiefgrün über hellgrün bis braun in eine Rangfolge einstufen. Ein solches Verfahren wäre geeignet, die Farbordnung festzustellen, ohne eine Farbmessung vorzunehmen.

- d) Die Rangskala entsteht durch Reihenordnung nach einer bestimmten Eigenschaft, die zwar mit physikalisch-chemischen Methoden für meßbar gehalten wird, aber aus praktischen oder theoretischen Gründen nicht gemessen werden kann.

Beispiel:

Rangordnung von Personen nach "Intelligenz". Man nimmt hier an, daß es eine Eigenschaft wie Intelligenz gibt und daß die Personen nach dem Grad der Intelligenz, die sie besitzen, geordnet werden können.

Punkt d) unterscheidet sich von Punkt b). Bei Punkt b) wissen wir aufgrund von Überlegungen, daß es eine physikalische Eigenschaft gibt, die das Einordnen ermöglicht; bei Punkt d) nehmen wir lediglich an, daß wir nach der betrachteten Eigenschaft einordnen können. Die Möglichkeit des Einordnens ist eine Hypothese.

Beispiele:

In Pflanzenbau oder Züchtung gehört zu dieser Rangskalengruppe die Einstufung von Zierpflanzenarten nach "Schönheit". Hinsichtlich der Schönheit kann man nur annehmen, daß eine Einordnung der Objekte möglich ist.

Es werden k Früchte (z.B. Tomaten) ihrer Verfärbung nach in eine Reihe geordnet. Diese Rangordnung drückt die Reife der Früchte aus: "Reife" ist ein Phänomen, das man bei Früchte, wie Obst, praktisch mit physikalisch-chemischen Meßverfahren kaum feststellen kann. (Bei Getreide kann dagegen durch Trockenmassenbestimmung der Reifegrad des Erntegutes mit absoluten Werten bestimmt werden.)

3.3 Intervallskala

Die Intervallskala ist eine quantitative Skala, die aus Intervallen besteht. Die Intervalle bedeuten Alternativen, die eine Größenordnung der Reihe nach darstellen.

Die Intervallskala ist gekennzeichnet durch eine gemeinsame und konstante Maßeinheit, mit deren Hilfe allen Paaren von Objekten eine Zahl, der Abstand oder das Intervall zwischen ihnen, zugeordnet werden kann. Der Quotient von zwei Intervallen ist unabhängig von der Maßeinheit und dem Nullpunkt. Maßeinheit und Nullpunkt sind beliebig, d.h. mit einer Veränderung der Maßeinheit oder einer Verschiebung des Nullpunktes wird nichts inhaltlich am Sachgehalt geändert.

Beispiele:

- Die Zeit als Kalenderwert an dem das beobachtete Ereignis (Auflauf, Reife usw.) eintrat, wird als eine Größe auf einer Intervallskala betrachtet, wobei der Nullpunkt dem gewählten Kalender entsprechend willkürlich festgelegt wurde.
- pH-Wert, bei dem der Wert 7 der Neutralpunkt ist und als willkürlich gewähltes Origo (= Ausgangspunkt) betrachtet werden kann.
- Die im Alltagsleben gebräuchliche Temperatur mit ihren formal austauschbaren Temperaturskalen Celsius, Réaumur und Fahrenheit.

Zu den definierenden Relationen der Rangskala (Äquivalenz, "größer als") kommt bei der Intervallskala hinzu, daß der Quotient von 2 Intervallen oder Differenzen unabhängig von der Meßeinheit ist. Als Beispiel nehmen wir die folgenden Temperaturen in Celsius bzw. Fahrenheit gemessen:

Celsius:	0	10	30	100
Fahrenheit:	32	50	86	212

Für die Differenzen zwischen 30 und 10 bzw. 10 und 0 Grad Celsius ist der Quotient $(30-10)/(10-0) = 20/10 = 2$. Für die entsprechende Differenz in Grad Fahrenheit ist dieser Quotient derselbe: $(86-50)/(50-32) = 36/18 = 2$.

Bei der Intervallskala ist nur die Differenz oder das Intervall zwischen zwei Skalenwerten von Interesse, nicht der Skalenwert selbst. So ist beispielweise falsch zu sagen, bei 10° C wäre es doppelt so warm wie bei 5° C. Vernünftig können nur Temperaturdifferenzen oder -intervalle verglichen werden.

Als Beispiel aus dem Pflanzenschutzversuchswesen kann man die Kalendertage (Datum) der "Behandlung" (Spritztermin) bzw. die Kalendertage, an dem ein als Zielgröße betrachtetes Ereignis (Auflauf, Reife usw.) eintrat, angeben.

3.4 Absolutskala

Die Absolutskala (auch Verhältnisskala genannt) ist der Intervallskala ähnlich. Beide sind quantitative Skalen, die aus Intervallen bestehen. Im Unterschied zur Intervallskala gibt es bei der Absolutskala aber einen fixen Nullpunkt. Ferner: Bei der Intervallskala ist nur der Quotient von zwei Intervallen oder Differenzen von Skalenwerten unabhängig von der Meßeinheit, bei der Absolutskala ist dagegen auch der Quotient von zwei Skalenwerten unabhängig.

Klassische Beispiele (Tabelle 3):

- Stoppuhrzeiten beim Wettlauf
- alle Skalen im "cm - g - sec"- System
- Temperatur in Grad-Kelvin gemessen
- Härte der Metalle mit Meßgerät gemessen

Zu den definierenden Relationen der Intervallskala (Äquivalenz "größer als", bekannter Quotient von zwei beliebigen Intervallen) kommt bei der Absolutskala noch dazu, daß der Quotient von zwei beliebigen Skalenwerten angegeben werden kann. Die Skalenwerte selbst sind bei der Absolutskala die interessanten Größen, nicht die Differenzen oder Intervalle zwischen den Skalenwerten wie bei der Intervallskala. Man kann beispielsweise durch Quotientenbildung ($3 : 1,5 = 2$) feststellen, daß 3 kg das Doppelte von 1,5 kg ist.

Beispiele für die Absolutskalen im Bereich des Pflanzenschutzversuchswesen (Tabelle 4):

- alle in dem "cm-g-sec"-System erfaßten Zielgrößen wie die folgenden Meßwerte: Höhe des Bestandes (cm), Fläche der Unkrautbedeckung (in m^2 und nicht in %), Ertrag (kg).
- Zeitspanne, wo ein Startpunkt gegeben ist, z.B.: die Tage zwischen Aussaat und Behandlung (als Einflußgröße) oder zwischen Aussaat und Einsetzen eines bestimmten Entwicklungsstadiums (als Zielgröße). Die Vorschrift für die Behandlung kann dann wie folgt formuliert werden: "10 - 15 - 21 Tage nach der Aussaat, die am 15.5.1979 (ein Dienstag) durchgeführt würde, soll gespritzt werden."

Innerhalb der Absolutskala bilden die Zählwerte eine charakteristische Gruppe. Die "Natürlichen Zahlen" bilden eine Absolutskala mit fixem Nullpunkt und Intervall 1.

Beispiel:

- Das Objekt der Beobachtung ist die Pflanzenpopulation einer Parzelle. Das Phänomen ist eine bestimmte Unkrautart. Die möglichen Alternativen sind: keine, eine, zwei, ..., k Pflanzen, die zu der Unkrautart in der Parzelle gehören (k ist nicht begrenzt vorgegeben). Es handelt sich um Zählwerte, um eine Absolutskala. Durch Zählen (Meßvorgang) erhalten wir die Anzahl der Unkrautpflanzen dieser Art in der Parzelle als Meßwert.

Tabelle 3 : Lehrbeispiele für die fundamentalen Skalenarten

Das zu beobachtende Phänomen	Nominalskala	Rangskala	Intervallskala	Absolutskala
Beruf	"Angestellter", "Arbeiter", "Mitglied einer Produktionsgenossenschaft", "Selbständiger"	Dienstgrad	Arbeitsbeginn (Datum)	Einkommen, Dienstjahre
Militär	Heer - Marine - Luftwaffe	Hauptmann > Oberleutnant > Leutnant		3-2-1 Stern (beim Militär)
Sport	Numerierung der Fußballspieler	Platzierungen		Stoppuhrzeiten beim Wettlauf
		dem Geschmack nach bestimmt	elektronisch bestimmt	
pH	Trockenheit des Weines: "trocken" oder nicht	der Säure nach geordnet	pH ($-\infty$ bis $+\infty$) (mit einem Original, willkürlich gewählt)	Wasserstoffionenkonzentrationen (Nullfix)
Größe		Größenordnung der Personen (Rangreihe nicht gemessen)		Größe der Personen gemessen
Temperatur		der Wärme nach geordnet	im Alltagsleben gebräuchliche Temperatur ($C^{\circ}, R^{\circ}, F^{\circ}$)	Temperatur in Kelvin (K°)
Härte		Härte der Metalle gegeneinander festgestellt		Härte der Metalle (gemessen)

Tabelle 4 : Beispiele aus dem allgemeinen und pflanzenschutzspezifischen Feldversuchswesen für die fundamentalen Skalenarten

Die Ziel- bzw. Einflußgrößen	Nominalskala	Rangskala	Intervallskala	Absolutskala
Einflußgröße	Behandlungen (Präparate)			
Zeit der Behandlung	"Freitag"- "Dienstag" (Tage der Woche)	1ter, 2ter, 3ter Behandlungstag (Reihenfolge der Behandlung)	25.5.-30.5.-5.6 (Datum)	10-15-21 Tage nach der Aussaat (Aussaat am 15.5.1979, Dienstag)
Farbe	Alternativfarben	Spektrum (Reihenordnung gegeneinander gemessen)		Wellenlänge, Energie
Unkraut	Art des Unkrautes			
Schaden, Krankheit, Befall	Art des Schadens	Rangordnung der Behandlungen dem Befall nach gegeneinander gemessen		Anzahl Unkrautpflanzen einer Art Anzahl der Tupfen, Anzahl kranker Pflanzen
Produktion	Rangordnung der Parzellen ihrer Bestandshöhe nach gegeneinander gemessen			
				Höhe, Ertrag, Masse

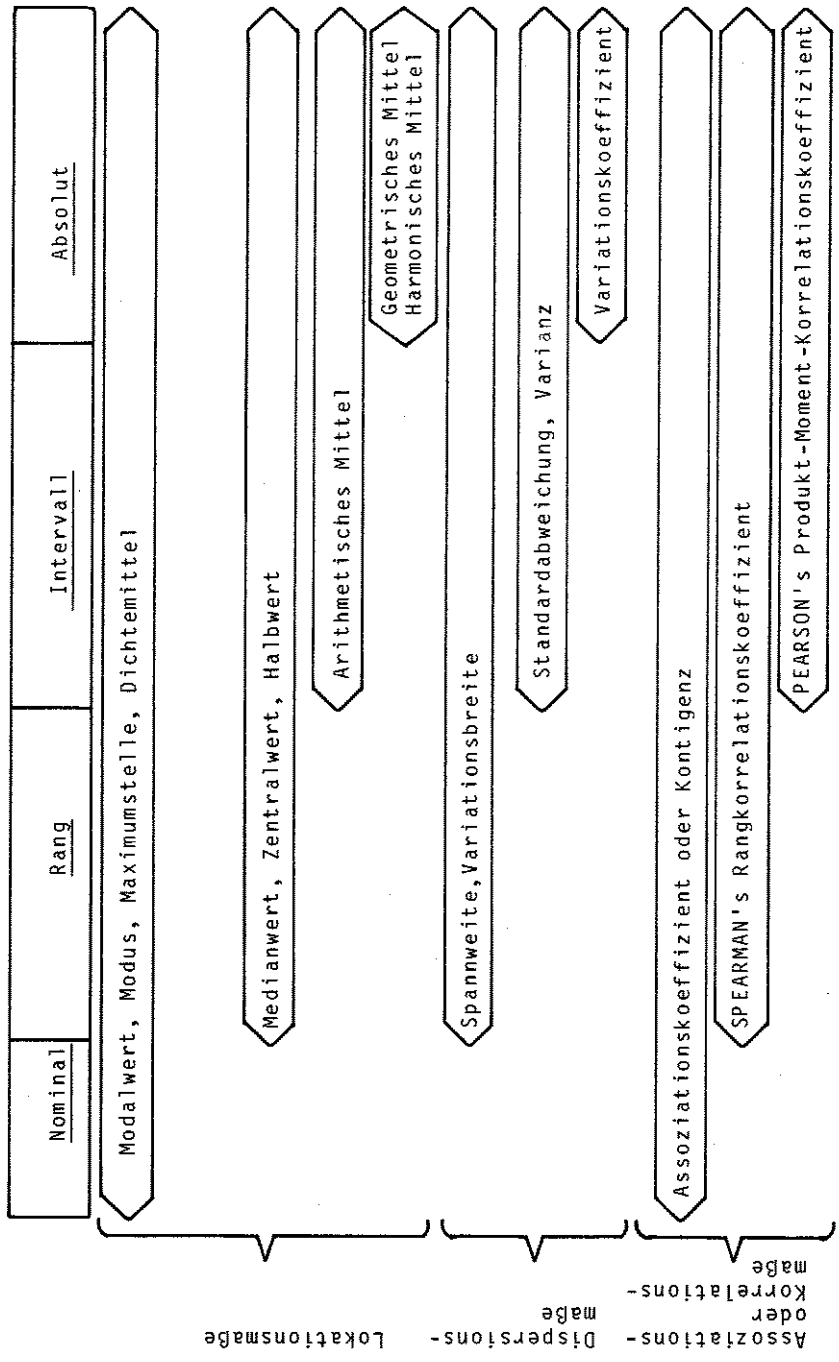
4. Statistische Bearbeitungsmöglichkeiten bei den Fundamentalskalen.
=====

Im Punkt 3 wurden einige äußerliche Kennzeichen der vier Fundamentalskalen nacheinander beschrieben. Um sie nebeneinander gestellt vergleichen zu können, sind in der Tabelle 3 einige Lehrbeispiele und in der Tabelle 4 einige Beispiele aus dem Pflanzenschutzversuchswesen zusammengestellt. Nach der Festlegung auf eine Skalenart, müssen die Folgen hinsichtlich ihrer statistischen Bearbeitung getragen werden. Wir weisen auf die in Betracht kommenden Analyse-möglichkeiten hin. Einzelheiten der Methoden sind in der Literatur (z.B.: COCHRAN und COX, 1957 FEDERER, 1955; LINDER, 1953; MUDRA, 1958) zu finden.

4.1 Lokations-, Dispersions- und Korrelationsmaße

Die in der Tabelle 1 stehende Reihenfolge der Fundamentalskalen beinhaltet eine gewisse innere Ordnung hinsichtlich des Niveaus der statistischen Bearbeitung. Das ist aus der Tabelle 5 ersichtlich, die nach STEVENS (1968) und SIEGEL (1956) die bei den verschiedenen Skalenarten zulässigen charakteristischen Größen zur Beschreibung einer Stichprobe enthält. Der Bereich, für den die angegebene Größe zulässig ist, wird durch einen Pfeil gekennzeichnet. Die Zulässigkeit einer Größe zur Beschreibung einer Stichprobe ergibt sich aus den Relationen und Operationen, die bei der entsprechenden Skalenart zulässig sind, beziehungsweise aus den Relationen und empirischen Operationen, die bei den dahinterstehenden Phänomenen sinnvoll und möglich sind. Können beispielsweise die beobachteten Erscheinungen eines Phänomens nur durch eine Rangordnung miteinander verglichen werden, hat es keinen Sinn, einen Mittelwert oder eine Varianz zu berechnen. Eine der Addition entsprechende empirische Operation ist bei dem betrachteten Phänomen überhaupt nicht durchführbar. Der berechnete Mittelwert kann daher auch keine brauchbare neue Information über das Phänomen liefern.

Tabelle 5: Zulässige charakteristische Größen zur Beschreibung einer Stichprobe nach STEVENS (1968) und SIEGEL (1956)



4.2 Statistische Tests

Parametrische statistische Tests sind nur bei Intervall- und Absolutskalen zulässig, nichtparametrische statistische Tests auch bei Nominal- und Rangskalen. Eine Auswahl von nichtparametrischen statistischen Tests ist nach SIEGEL (1956) und HOLLANDER und WOLFE (1973) in der Tabelle 6 zusammengefaßt.

Die Methoden, die unter der Skalenspalte "Nominal" stehen, können auch unter "Rang" und "Intervalle" und "Absolute", die unter der Spalte "Rang" stehen, können auch unter "Intervall" und "Absolut" verwendet werden.

Die Fülle der parametrischen Tests läßt sich nicht so einfach in einer Tabelle zusammenfassen, da zusätzlich nach der zugrundeliegenden Verteilung unterschieden werden muß. Häufig verwendet werden von diskreten Verteilungen die Binominalverteilung, Multinomialverteilung, POISSON-Verteilung, Geometrische Verteilung und Hypergeometrische Verteilung, und von den stetigen Verteilungen die Gleichmäßige Verteilung, Exponential-, Beta-, Gamma- und vor allem die Normalverteilung. In Bezug auf die Art des statistischen Tests wird dann wieder unterschieden zwischen dem Vergleich von einer Stichprobe mit einer theoretischen Verteilung und dem Vergleich von zwei oder mehr Stichproben, die sowohl unabhängig als auch verbunden sein können. Die wegen ihrer guten Eigenschaften am weitesten verbreiteten statistischen Tests und Analyseverfahren sind bei Normalverteilungsannahme t-, F- und χ^2 -Tests, Varianz- und Kovarianzanalyse, Regressions- und Korrelationsanalyse, Sequentialverfahren und einige Multivariate Methoden.

Tabelle 6: Zulässige nichtparametrische statistische Tests
nach SIEGEL (1956) und HOLLANDER und WOLFE (1973)

Art der Stichprobe		Skalenart der Zielgröße		
		Nominalskala	Rangskala	Intervall- und Absolutskala
Vergleich von einer Stichprobe mit einer theoretischen Verteilung		Binomialtest als Anpassungstest Chi-Quadrat-Test für eine Stichprobe	KOLOMOGOROW-SMIRNOW-Test für eine Stichprobe Ein-Stichproben run-Test	WILCOXON-Vorzeichen-Rang-Test
Vergleich von zwei Stichproben	unabhängige Stichproben	FISHER's Exakt-Test Chi-Quadrat-Test für unabhängige Stichproben	Median-Test U-Test von WILCOXON, MANN, WHITNEY KOLMOGOROW-SMIRNOW-Test für zwei Stichproben WALD-WOLFOWITZ-Test	Randomisations-Test für zwei unabhängige Stichproben
	verbundene Stichproben	McNEMAR-Test (für Vierfelder Tafel)	FISHER-Vorzeichen Test WILCOXON-Vorzeichen-Rang-Test	WALSH-Test Randomisations-Test für verbundene Stichproben
Vergleich von k-Stichproben ($k > 2$)	1-Wege-Tafel	Chi-Quadrat für k-unabhängige Stichproben	Verallgemeinerter Median-Test KRUSKAL-WALLIS-Test	
	2-Wege-Tafel	COCHRAN-Q-Test	FRIEDMAN-KENDALL-Test	

4.3 Einige skalenunabhängige Aspekte bei der Auswahl statistischer Tests.

Wenn eine bestimmte Analysenmethode dem Skalentyp nach zugelassen ist, bedeutet diese Tatsache noch nicht, daß die Anwendung dieser Methode auch richtig ist. Weitere Begrenzungen können sowohl aus der Sicht der Biologie als auch aus der Sicht der Statistik entstehen.

- a) Zu biologisch sinnvollen Aussagen führt eine in sich einwandfreie statistische Analysenmethode nur dann, wenn die benötigten Voraussetzungen der Methode im biologischen Sachverhalt erfüllt sind. Beispiel:

Der t-Test ist ein vom mathematisch-statistischen Gesichtspunkt exaktes Auswertungsverfahren. Bei Intervall- und Absolutskalen ist seine Anwendung zugelassen. Zu biologisch sinnvollen Aussagen führt er aber nur dann, wenn u.a. die benötigte Voraussetzung, die Homogenität der Vergleichsbasis im biologischen Bereich, erfüllt ist. Dies ist bei Feldversuchen, wo die Standortheterogenität durch Blöcke nicht ausgeschaltet wurde, oft nicht der Fall (O'SVÁTH und GEIDEL, 1975).

- b) Eine statistische Analysenmethode darf nur dann durchgeführt werden, wenn alle ihre mathematisch benötigten Voraussetzungen erfüllt sind. Beispiel:

Die Anwendung der Varianzanalyse ist bei Intervall- und Absolutskalen zugelassen. Sie darf aber nur dann durchgeführt werden, wenn alle vier Voraussetzungen (Additivität, Homogenität der Varianzen, Unabhängigkeit und Normalität der Versuchsfehler) erfüllt sind (SCHICKE und O'SVÁTH, 1977).

Uns ist bewußt, daß in der Literatur zahlreiche Beispiele publiziert werden, wo fälschlicherweise parametrische Teste an Datenmaterialien mit offensichtlich heterogenen Varianzen angewandt wurden.

Kann eine der Skalenart nach zugelassene Analysenmethode wegen Fehlens anderer methodentypischer Voraussetzungen nicht angewandt werden, so untersuche man die zugelassene nächste Analysenmethode mit weniger strengen Voraussetzungen.

Ob die Daten objektiv oder subjektiv erfaßt wurden, hat keine grundsätzliche Bedeutung bei der Auswahl eines geeigneten statistischen Tests. Unter objektiver Datenerfassung versteht man einen Vergleich des zu beobachteten Phänomens mit einem Etalon (Vorschrift, Norm, Eichmaß). Die subjektive Art der Datenerfassung ist die Bonitur nach Augenmaß. Bei allen Skalenarten (den fundamentalen, abgeleiteten und Wertskalen) kann sowohl objektiv als auch durch Bonitur erfaßt werden.

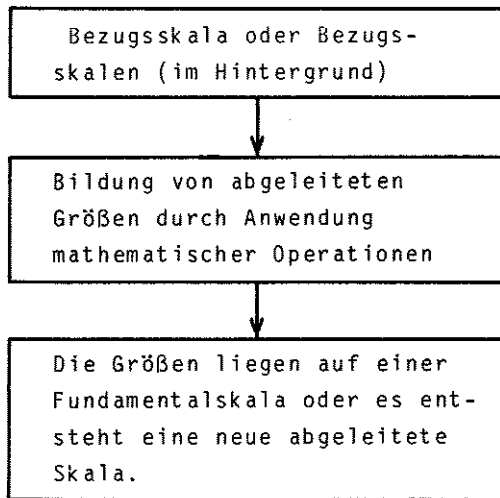
Die subjektiven Methoden sind den objektiven keinesfalls von vornherein unterlegen. So kann der Boniteur mit Augenmaß die Inhomogenität (z.B. Fehlstellen, Bodenfehler in einer Parzelle) erfassen und einkalibrieren, was mit objektiven Methoden oft umständlich ist. Objektive Datenerfassungsmethoden sind den subjektiven aber meistens bei quantitativen Größen, also bei den Intervall- und Absolutskalen überlegen.

Zur Vermeidung subjektiver Verzerrungen wird die Randomisation, die "blinde" Datenerfassung, die parallele Bonitur durch mehrere Personen und die erhöhte Wiederholungszahl empfohlen.

5. Abgeleitete Größen und zugehörige Skalen
=====

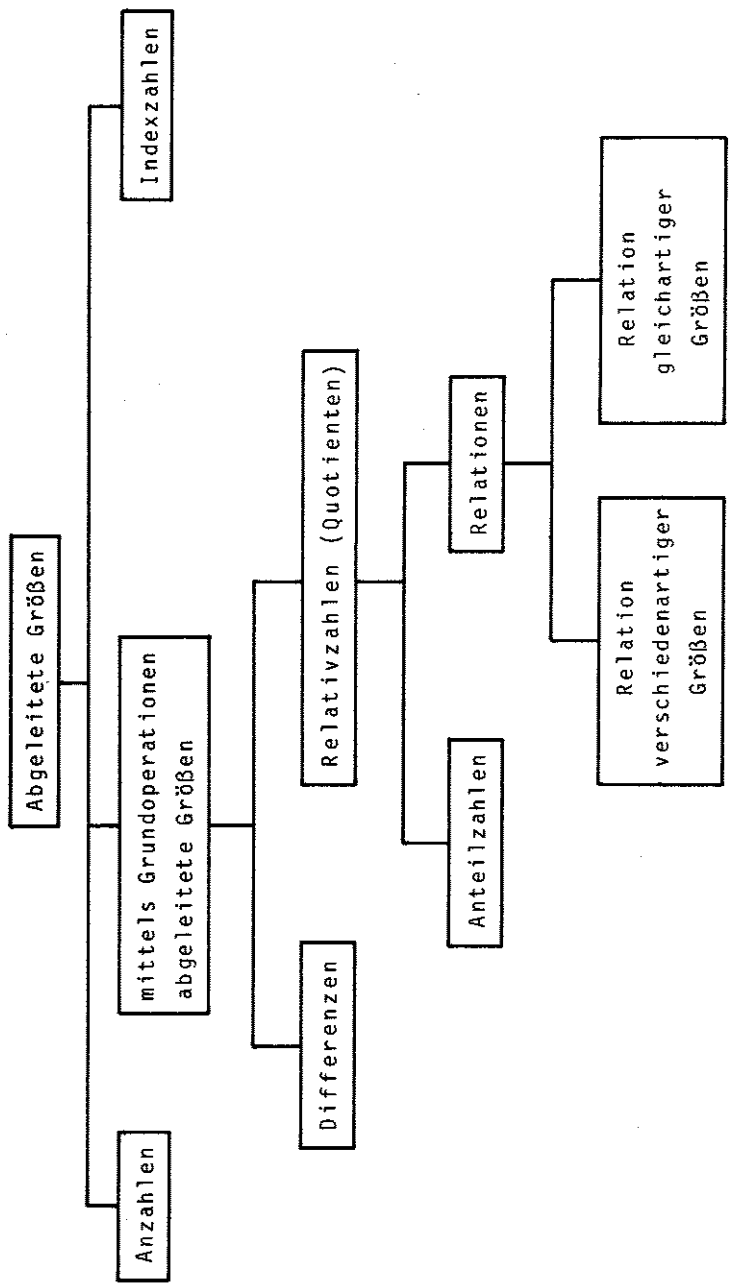
Aus den fundamentalen Skalen bzw. den entsprechenden Meß- oder Skalenwerten können durch Zusammenzählen (Anzahlen), durch Bildung von Differenzen oder Quotienten oder durch Anwendung anderer mathematischer Operationen neue Größen abgeleitet werden (Tab. 7). Diese führen in einigen Fällen zu Skalen (abgeleitete Skalen).

Die gegebenenfalls neue Skala ist bestimmt durch die abgeleitete Größe, d.h. genauer durch die originalen Größen und die mathematischen Operationen, mit deren Hilfe die abgeleitete Größe gebildet wird.



Die Unterscheidung der fundamentalen Größen von den abgeleiteten wurde ursprünglich von CAMPBELL (1928) eingeführt (cit. in PFANZAGL, 1971, S. 31).

Tabelle 7: Abgeleitete Größen



5.1 Abgeleitete Größen

Anzahlen. Das Zusammenzählen von Fällen, die in eine Alternativklasse fallen, führt zu einer Größe, die man absolute Häufigkeit nennt. Durch absolute Häufigkeiten analysiert man die Befunde, die durch das "Messen" mit der Nominalskala erfaßt wurden.

Differenzen und Quotienten. Mittels der Grundoperationen können Differenzen (Summen) oder Quotienten (Produkte) abgeleitet werden. Um Grundoperationen durchführen zu können, müssen quantitative Größen vorhanden sein, wie Rangzahlen oder Werte von Intervall- bzw. Absolutskalen.

Differenzen können positive oder negative Größen sein, wie der Punktgewinn oder -verlust von Aktien. Im Pflanzenschutz ist die Differenz "Ausgangswert vor Anwendung - Endwert nach Anwendung eines Insektizides" eine Art Wirkung. Weitere Beispiele beinhaltet die Tabelle 8.

Relativzahlen. Die Relativzahlen oder Verhältniszahlen lassen sich aus quantitativen Größen durch Division bilden. Sie sind Quotienten. Man unterscheidet Anteilzahlen und Relationen.

Unter Anteilzahlen versteht man eine gut definierte Gruppe von Größen: den Quotienten "Teilmenge/Gesamtmenge". Die Art (Dimension) des Nenners und des Zählers sind immer gleich. In der Praxis sind die Ausgangsgrößen der Anteilzahlen ausnahmslos positive Zahlen und somit kann die Anteilzahl einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen. Geht man von absoluten Häufigkeiten aus, so bilden die daraus abgeleiteten Anteilzahlen relative Häufigkeiten. Oft multipliziert man das Ergebnis mit 100 oder 1000 und kommt dadurch zu dem Anteil in Prozent bzw. in ppm.

Beispiel:

Das Objekt der Beobachtung ist die Pflanzenpopulation einer Parzelle. Das Phänomen ist eine bestimmte Unkrautart. Die Alternativen sind die Anteile in Prozent (Prozentskala), die aus der unkrautbedeckten Fläche, bezogen auf die Gesamtfläche der Parzelle, gebildet werden können. Der durch Beobachtung gewonnene Datenwert auf die Parzelle bezogen ist eine Anteilzahl.

Während die Anteilzahlen nur die Werte zwischen 0 und 1 (bzw. 100 % oder 1000 ppm) annehmen können, gehören in die Gruppe "Relationen" abgeleitete Größen, die solche Grenzen nicht haben. Ihr Vorzeichen hängt von den Vorzeichen der originalen Größen ab. Man unterscheidet Relationen verschieden und gleichartiger Größe. Beispiele für eine Relation verschiedenartiger Größen sind im Wirtschaftsleben Preisrelationen, im Versuchswesen die Relation "Pflanzenzahl/Gesamtfläche", für Relationen gleichartiger Größen der Wirtschaftsindex oder im Versuchswesen

Ausgangswert - Endwert
Ausgangswert

eine Art von Wirkungsgrad (BBA 4 - 1.1, 1974). Diese sind unbegrenzte Prozente im Gegensatz zu den Anteilzahlen (z.B. Behandlungswirkung kann 23 %, 119 % oder sogar -12 % sein).

Beispiele:

Tabelle 8 beinhaltet mehrere Beispiele für verschiedene Skalen abgeleiteter Größen. Eine umfangreiche Übersicht findet man bei UNTERSTENHÖFER (1957). Wie aus der Tabelle 8 zu entnehmen ist, benutzt man im Pflanzenschutzversuchswesen den Begriff "Wirkung" in verschiedenem Sinn. Die Tabelle 8 zeigt vier unterschiedliche Definitionen.

Tabelle 8: Beispiele für abgeleitete Größen und die zugehörige Skalenart

Abgeleitete Größenart	Beispiele	Skalenart
Anzahlen (Zusammenzählen der Fälle)	Absolute Häufigkeit	Absolutskala
Differenz *)	Wachstum = Höhe (t_2) - Höhe (t_1) Wirkung = Schaden (t_2) - Schaden (t_1) Wirkung = Schaden (bei Beh. A - bei Beh. B)	Intervall- oder Absolutskala
Anteilzahlen	Relative Häufigkeit aus absoluten Häufigkeiten: <u>absolute Häufigkeit einer Alternativklasse</u> $\left(\frac{f_i}{\sum f_i} \right)$ Anzahl aller Fälle aus Zählwerten: <u>Anzahl kranker Pflanzen</u> $\left(\frac{n_i}{\sum n_i} \right)$ Gesamtzahl aus Absolutskalengrößen: <u>Unkrautbedeckung</u> $\left(\frac{m^2}{m^2} \right)$ Parzellengröße <u>Blattbeschädigung</u> $\left(\frac{mm^2}{mm^2} \right)$ Blattfläche <u>Ertrag einer Handelsklasse</u> $\left(\frac{kg}{kg} \right)$ Gesamtertrag	Absolutskala
Relation verschieden- artiger Größen	Schädlingzahl pro Pflanze = $\frac{\text{Gesamtzahl der Schädlinge}}{\text{Anzahl der Pflanzen}}$ Standortgröße = $\frac{\text{Angebaute Pflanzenzahl (Soil)}}{\text{angebaute Flächen}} = \frac{n}{m^2}$	Abgeleitete Skala
Relation gleichartiger Größen	Wirkung = $\frac{\text{Schaden (bei Beh. B)}}{\text{Schaden (bei Beh. A)}}$ Wirkung = $\frac{\text{Schaden (bei Beh. A - bei Beh. B)}}{\text{Schaden bei Beh. B}}$	Intervall oder Absolutskala

*) Bemerkung: t_1 und t_2 sind verschiedene Zeitpunkte
Beh. A bzw. Beh. B sind verschiedene Behandlungen (Versuchsglieder)

Tabelle 9:

Beispiele für Indizeszahlen

A) Einfache Mittelwerte von Wertzahlen innerhalb der Parzelle
von Prozenten innerhalb der Parzelle

B) Gewogene Mittelwerte
Apfelschorf

Skala (Blattbefall in %)	Formel
0, 1, 5, 10, 25, 50 KEARNS-MARSH-MARTIN (1945)	$y = \frac{0a+1b+50d+10d+25c+50f}{a+b+c+d+e+f}$
0,0-1, 1-5, 5-10, 10-25, 25-50, 50-100 CROXALL-GWYNNE-JENKINS (1953)	$y = \frac{0a+0,5b+3c+7,5d+17,5e+37,5f+75g}{a+b+c+d+e+f+g}$

C) Halmbrechkrankheit am Getreide (BBA 4-5. 1.6; 1976)
Befallswert nach BOCKMANN (1963)

$$= \frac{\text{Prozentsatz schwach erkrankter Halme}}{2} - \left(\frac{\text{Prozentsatz stark erkrankter Halme}}{\text{Halme}} \right)$$

D) Index von HENDERSON und TILTON (1955)
Spinnmilben (BBA - 6.1, 1966; BBA 6-3.1, 1966)

$$\text{Wirkungsgrad \%} = [1 - \frac{B_n \cdot U_v}{B_v \cdot U_n}] \cdot 100$$

E) Index in BBA 4-1,3 (1969)

Beizmittel gegen Auflaufkrankheiten

$$\text{Auflauf in \%} = \frac{\text{Zahl der aufgelaufenen Pflanzen absolut}}{(\text{Triebkraft in \%}) \cdot (\text{Kornzahl je Kaster})} \cdot 10000$$

Triebkraft nach der HILTNERschen Ziegelgrußmethode
(EGGEBRECHT, 1949)

F) Index von LAST und HAMLEY (1956)

Botrytis fabae

Um die Varianzen unabhängig zu machen von den Mittelwerten der Fleckenzahl (x) empfahlen die Autoren u.U. die folgende Transformation (wobei C = 20):

$$Z = 10 \log \frac{1}{2} (x+c+\sqrt{x^2+2cx})$$

Indexzahlen. Unter dem Begriff "Indexzahlen" werden alle möglichen abgeleiteten Größen verstanden, die nicht anderswie bezeichnet wurden und keine Wertzahlen sind. Allerdings werden auch die Relativzahlen (z.B. eine ökonomische Größe relativ zum Anfangswert - Preisindex) in England und USA als einfache Indexzahlen bezeichnet (SACHS, 1969), so auch im Biometrischen Wörterbuch (1968). Alle statistischen Maßzahlen (Mittelwert, Median, Modus, Spannweite, Varianz, Standardabweichung, Variationskoeffizient, Regressions- und Korrelationskoeffizient, usw.) können als Indexzahlen betrachtet und analysiert werden.

Einige Beispiele für Indexzahlen mit Literaturzitaten zeigt die Tabelle 9. Es ist durch Anwendung komplizierter Funktionen oder durch Verknüpfung mehrerer Zielgrößen möglich, Indexzahlen zu bilden, deren explizit geschriebene Formel den biologischen Sachverhalt eher verschleiert. Allerdings müssen sich die Biologen schon vorgestellt haben, wie eine so berechnete Indexzahl biologisch zu interpretieren ist. Als Beispiel beschränken wir uns auf einen Fall, wo sowohl eine Absolutskala als auch eine Wertskala im Hintergrund steht.

Beispiel:

Index zur Beurteilung der i -ten Behandlung beim Moosknopfkäfer (BBA 5-2.1.10, 1968), Methode A:

$$\begin{aligned} I_i &= F_i B_i \\ &= \left(\frac{\sum_{j=1}^r n_{ij}}{r} \right) \left(\frac{\sum_{j=1}^r B_{ij}}{r} \right) = \frac{\left(\sum_{j=1}^r n_{ij} \right) \left(\sum_{j=1}^r B_{ij} \right)}{r^2} = \\ &= \left(\frac{\sum_{j=1}^r n_{ij}}{r^2} \right) \left(\sum_{j=1}^r \frac{\left(\sum_{k=1}^L f_{ijk} w_{ijk} \right)}{m_{ij}} \right) \end{aligned}$$

wobei

I_i = Index zur Beurteilung der i -ten Behandlung.

F_i = Feldaufgang der i -ten Behandlung.

B_i = Befall bei der i -ten Behandlung (Grad der Nichtbeschädigung ($0,2 < B_i > 1$)).

r = Anzahl der Wiederholungen im Blockversuch ($j = 1, 2, \dots, r$).

n_{ij} = Anzahl der aufgelaufenen Rübenpflanzen (auf 1 lfd. m. umgerechnet) in der Parzelle mit der i -ten Behandlung in der j -ten Wiederholung.

B_{ij} = Befall in der Parzelle ij .

w_k = Wertzahl, wobei $k = 1, 2, 3, 4$.

f_k = Anzahl der Rübenpflanzen, die in die k -ten Klasse gehören.

m_{ij} = Summe aller Rübenpflanzen, die in der ij -ten Parzelle untersucht wurden

Bemerkung: n_{ij} ist Zählwert, daraus folgt, daß auf eine Absolutskala bezogen wird. Die andere Komponente des Index (B_i) ist eine Indexzahl, die aus einer Menge Wertzahlen gebildet wird. Die entsprechende Wertskala bedarf einer eingehenden Besprechung (siehe Punkt 6.3.2).

5.2 Vor- und Nachteile der "Abgeleiteten Größen"

Vorteile. Es ist zweckmäßig, zwei oder mehrere Variable in einer einzigen Größe auszudrücken. Das praktische Ziel ist eine Art "Datenreduktion". Die abgeleiteten Größen können den Versuchsansteller leichter zu einem Überblick verhelfen als die Vielzahl der nebeneinander stehenden Ausgangsvariablen. Geschichtlich ist erklärbar, daß bei "Abgeleiteten Größen" die Datenerfassung als "Auswertung" bezeichnet wird (BBA-Richtlinien). Man darf aber die Begriffe "Datenerfassung" und "Analyse" (= statistische Auswertung) nicht verwechseln.

Nachteile. Die Datenreduktion, mit der aus mehreren Variablen eine einzige erstellt wurde, hat den Nachteil der begrenzten Interpretationsmöglichkeit (PFANZAGL, 1971, S. 49). Ein und derselbe Wert einer abgeleiteten Größe kann durch Kombination mehrerer Werte der Ausgangsgrößen erhalten werden. Für den, der nur die abgeleiteten Größen als Daten sieht, sind diese die einzige Information. Wie sie entstanden sind, bleibt verborgen. Noch weniger kann man aus dem statistischen Ergebnis auf das Entstehen schließen. Die Datenreduktion ist ein Informationsverlust.

Es kann zu Fehlschlüssen führen, wenn die Originalgrößen, aus denen abgeleitet wird, nicht gleichwertig sind, d.h., wenn Merkmale, die für das Urteil ihrem Wesen nach wenig Gewicht beanspruchen können, im rechnerischen Verfahren gleich bewertet werden wie Merkmale von großer Repräsentanz und umgekehrt. Diese Erkenntnis führt manchmal dazu, daß man die einzelnen Original-Variablen mit Gewichten versieht. Wie gewichtet wird, kann unter Umständen für die Größe des Index eine entscheidende Rolle spielen.

In den Formeln der Anteilzahlen und der Relationen gleichartiger Größe steht eine Annahme der Proportionalität im Hintergrund.

a) Betrachten wir die Relation $I = A/B$. In diesem Fall bedeutet Proportionalität:

- ändert sich A um eine Einheit, ändert sich B um das $1/I$ -fache ($B = 1/I A$).

- Der Zusammenhang zwischen A und B ist in dem in Frage kommenden Bereich linear.

b) Im Fall der Differenz $I = A - B$ folgt $B = A - I$. Beide Originalvariablen sind gleichwertig, der Regressionskoeffizient ist 1. Im Falle $A = 0$ ist B gleich $-I$. Ändert sich A um eine Einheit, ändert sich auch B um eine Einheit. B bewegt sich aber um I Einheiten niedriger.

Bei Angabe von Indexzahlen muß man sorgfältig überprüfen, ob diese Proportionalität in dem zu betrachtenden Bereich der Phänomene der Wirklichkeit entspricht.

Der Korn- bzw. Knollenertrag (Erntegewicht) ist proportional mit dem Bruttoeinkommen. Das heißt: 10 % Ertragssteigerung bringt 10 % mehr. Es besteht aber mit Sicherheit kein linearer Zusammenhang zwischen der Zahl der Unkrautpflanzen je m² und der Ertragsdepression. Die Verdoppelung der Keimzahl ist nicht identisch mit einer Halbierung des Einkommens. Die Wirkung von Fehlstellen bzw. von teilweise fehlenden Saatreihen ist mit dem Ertrag nicht proportional: ausgefallene Pflanzen vermindern zwar den Ertrag, begünstigen aber die Nachbarpflanzen durch Vergrößerung ihres Standraumes. Eine lineare Korrektur kann nur zwischen begrenzter Fehlstellenzahl (10 - 12 % nach ROEMER, 1932 und JAKOB/RÜTHER und BEHRENS, 1961) vorgenommen werden.

5.3 Skalenarten und statistische Bearbeitungsmöglichkeiten

Die Eigenschaften von abgeleiteten Größen und ihren zugehörigen Skalen hängen von den Eigenschaften der Größen ab, aus denen sie abgeleitet worden sind. Ferner spielt die Genauigkeit der ableitenden Operationen eine Rolle. Das schwächste Glied dieser Kette ist immer für die abgeleitete Größe entscheidend.

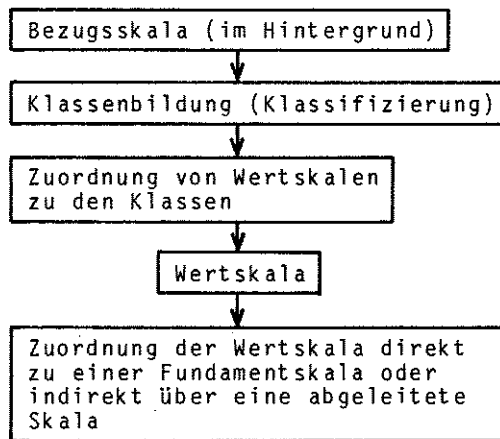
Je nachdem, ob eine Ausgangsgröße subjektiv bestimmt worden ist oder als diskontinuierlich oder als qualitativ betrachtet werden konnte, ist die abgeleitete Größe als Boniturwert (Schätzwert) oder als diskontinuierlich oder als qualitative Größe zu betrachten.

Wie aus der rechten Spalte der Tabelle 8 und dem oberen Teil der Tabelle 12 ersichtlich, können die Skalen der abgeleiteten Größen meistens den Fundamentalskalen, der Nominal-, Rang-, Intervall- oder Absolutskala zugeordnet werden. Eine Ausnahme bilden Relationen verschiedenartiger Größen (Tabelle 8) und komplizierte Indexzahlen (Tabelle 9). Ihr Skalenniveau ist u.U. schwer bestimmbar und läßt sich nur von Fall zu Fall in Beziehung zu den Fundamentalskalen bringen. Unter Berücksichtigung dieser Einschränkung gilt für die statistischen Bearbeitungsmöglichkeiten, was im Abschnitt 4 bei den Fundamentalskalen gesagt wurde. Liegen abgeleitete Skalen in ihrem Niveau zwischen zwei Fundamentalskalen, so sind jedenfalls diejenigen statistischen Analyseverfahren zulässig, die bei den Fundamentalskalen mit niedrigerem Niveau anwendbar sind.

Obwohl im Pflanzenschutzversuchswesen primäre Größen selten den Intervallskalen zugeordnet werden (3.3), spielen Intervall- und Absolutskalen bei den häufig benutzten abgeleiteten und Wertzahlen doch eine beträchtliche Rolle.

6. Wertzahlen und Wertskalen =====

Die Wertzahlen müssen wegen ihrer besonderen Eigenschaften, ihrer gesonderten Stelle und ihrer wichtigen Rolle im Pflanzenschutzversuchswesen getrennt besprochen werden. Die Wertskala, die aus den Wertzahlen gebildet wird, bezieht sich auf eine Reihe von Klassen, in deren Hintergrund eine Bezugsskala steht. In diesem Sinne gehört die Wertskala zu den abgeleiteten Skalen. Sie unterscheidet sich aber von diesen dadurch, daß sie nicht durch Rechenoperation, sondern durch eine Zusammenraffung der Bezugsskala in Klassen entsteht. Die Klassifizierung ist die charakteristische Eigenschaft der Wertskalenbildung.



Beispiel:

Für eine quantitative Erfassung von Krankheitssymptomen legt man meist den erkrankten bzw. beschädigten Anteil, in Prozent der Blattfläche bzw. der erkrankten Pflanze zu Grunde, für Unkrautbesatz die Besiedlungsfläche in Prozent der Parzellengröße. Wenn ein präzises Messen der Befalls-

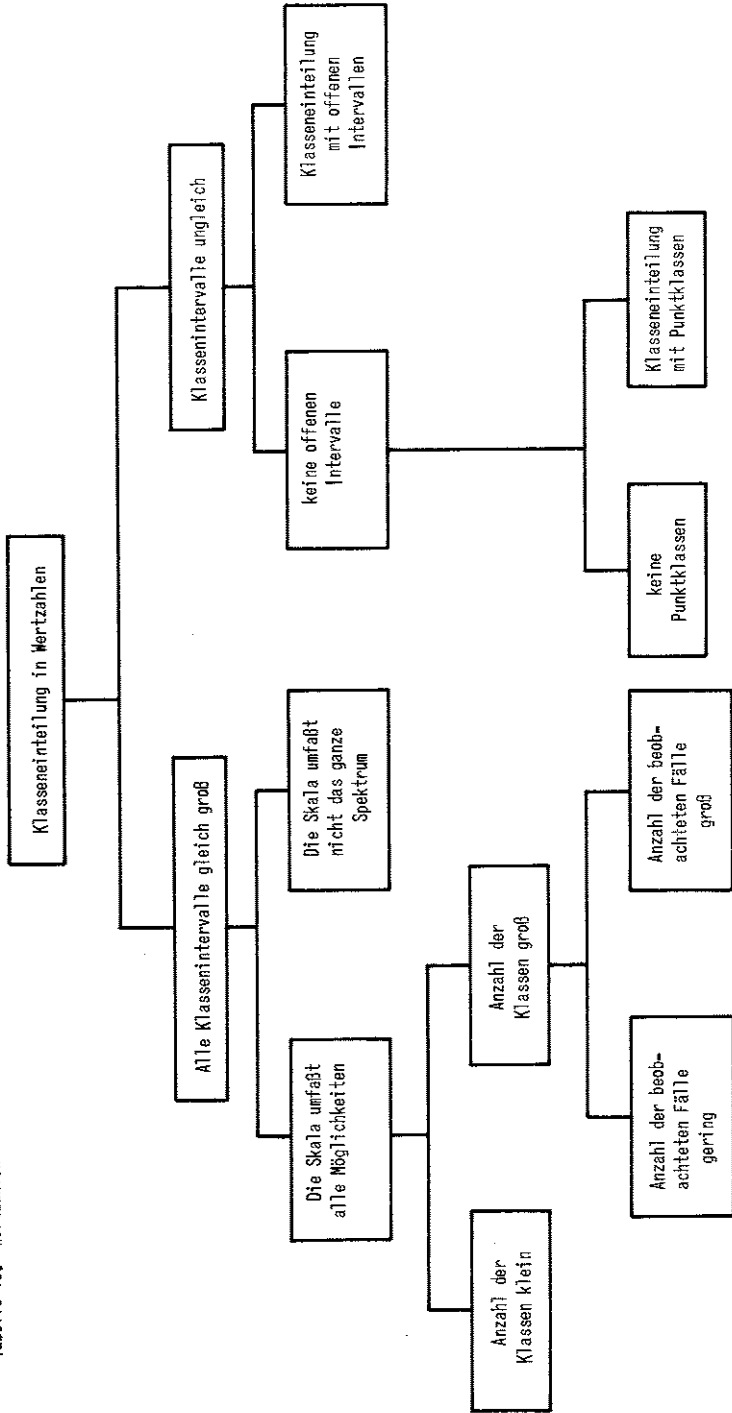
stärke bzw. Besiedlungsdichte, wie in den meisten Fällen, kaum möglich oder zu aufwendig ist, muß man sich zu einer gröber eingeteilten Skala entscheiden. Der Bereich von 0 bis 100 % (Bezugsskala) wird in Klassen unterteilt. Die Klasseneinteilung geschieht nach den in Punkt 6.1 enthaltenen Prinzipien. Der Boniteur ordnet seinen Befund diesen Klassen zu.

Nach der Art der Bezugsskala können die Wertskalen wie folgt eingeteilt werden:

- a) Wertklassen werden auf Grund einer Intervall- oder Absolutskala gebildet.
- b) Wertklassen werden auf Grund einer Prozentskala gebildet.
- c) Die Wertklassen werden auf Grund einer Beschreibung gebildet.

Wir betrachten zuerst die Klassifizierungsergebnisse in Fällen, in denen eine qualitative Skala (Intervall-, Absolut- oder Prozentskala) im Hintergrund der Wertklassen steht, dann aber auch Klassen, die durch Beschreibung in Form von Text oder Bild gegeben sind und bei denen ähnliche Klassifizierungsergebnisse auftreten können. Einen Überblick der möglichen Wertskalenarten zeigt die Tabelle 10.

Tablle 10: Wertzahlen



6.1 Klassifizierung

6.1.1 Klassifizierung bei quantitativen Größen.

Um in den Zeiten vor der Verbreitung der Rechenautomaten den Rechenaufwand zu vermindern, empfahlen die statistischen Handbücher bei einer großen Zahl vorhandener quantitativer Daten eine nachträgliche Klassifikation.

Die Vorschriften für die Klassenbildung an Hand quantitativer Daten beschäftigen sich mit Anzahl, Größe und Grenzen der Klassen, wobei auf der quantitativen Bezugsskala die Klassen Intervalle bedeuten.

Die Fragen nach der "Anzahl der Klassen" und nach der "Größe der Klassenintervalle" können nur gemeinsam beantwortet werden. Einerseits sollen die Intervalle möglichst groß sein, denn

- je größer das Intervall, desto übersichtlicher die Ergebnistabellen.

Andererseits dürfen die Intervalle nicht zu groß sein, denn

- je größer das Intervalle desto weniger verteilen sich die Fälle gleichmäßig innerhalb der Klasse;
- je größer das Intervall, desto weniger kommt die Verteilung der Erscheinung zur Geltung.

JORDAN (1927) hat das folgende Verfahren empfohlen: "Die Differenz der vorkommenden größten und kleinsten Werte soll in 15 - 20 gleich große Teile geteilt werden. Die so gewonnene Größe wird als Intervallgröße gewählt." DIXON und MASSAY (1969) empfehlen 8 - 20 gleich große Klassen.

Für eine statistische Bearbeitung ist es von entscheidender Wichtigkeit, die Intervalle gleich groß zu wählen. Extreme Fälle der Klassen sind die "offenen Intervalle" und die "Punktklassen". Offene Intervalle müssen möglichst vermieden werden.

Die Grenzen der Skala und die Grenzen zwischen den Klassen müssen klar angegeben sein. Am besten werden die Klassengrenzen so gewählt, daß auf sie keine Beobachtungswerte fallen können.

Die Klassen der Skala sollen so gewählt sein, daß sie leicht verständlich beschrieben werden können.

6.1.2 Klassifizierung nach Beschreibungsalternativen

Oft findet man sich in der Lage, daß das zu beobachtende Phänomen nur mit den Alternativen einer beschreibenden Skala "gemessen" werden kann. Die Naturerscheinung kann weder mit einer Größe, die auf einer Fundamentalskala liegt, richtig wiedergegeben werden, noch können abgeleitete Größen berechnet werden. Die Alternativen sind Klassen, die sich durch Beschreibung unterscheiden. Die Beschreibung ist ein Text oder ein Bild.

Ganz typische Beispiele sind die bei organoleptischen Untersuchungen benutzten "hedonischen" Skalen.

Die Abbildung 1 nach ELLIS (1968) zeigt eine Skala, deren Klassen durch Beschreibung in Form von Bildern gegeben ist. Die Klassen können der Darstellung des Gesichtsausdrucks nach ranggeordnet werden. Es handelt sich aber nicht um eine Rangskala, da die Beurteilung nicht einzeln in eine Rangreihenfolge gebracht wird. Mehrere Beurteilungen fallen im allgemeinen in eine Klasse.

Die Abstufungen der Härteskala der Metalle nach MOHS und der Windstärke nach BEAUFORT bilden eine Reihe ranggeordneter Klassen, die als Wertskalen zu betrachten sind (PFANZAGL, 1971, S. 76).

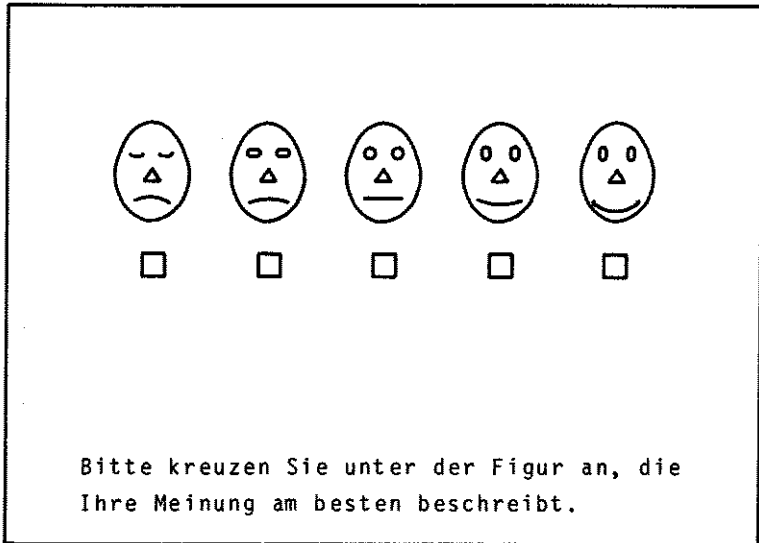


Abbildung 1 "Hedonische" Skala nach ELLIS (1968)

6.2 Zuordnung von Wertzahlen zu den Klassen: Wertskala

Durch die Zuordnung von Wertzahlen zu den Klassen entsteht die Wertskala. Ist die Bezugsskala im Hintergrund, mit deren Hilfe die Klasseneinteilung vorgenommen wurde, eine quantitative Skala, d.h. sind die Klassen durch Intervalle gegeben, so wird als Wertzahl meistens der Mittelwert des Klassenintervalles angegeben. Jede Klasse wird durch ihren Intervallmittelwert repräsentiert. Dabei stellt man sich vor, daß die Daten innerhalb der Klassen gleichmäßig verteilt sind. Das ist aber auch annähernd nicht immer der Fall, vor allem nicht, wenn das Klassenintervall groß ist.

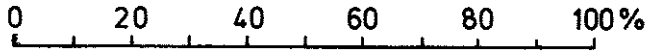
Bei offenen Intervallen oder wenn die Wertklassen auf Grund einer Beschreibung gebildet werden, ist diese Methode der Zuordnung von Wertzahlen nicht möglich.

Eine sinnvolle Zuordnung muß vor allem aufgrund biologischer Überlegungen geschehen. Man muß sich im Klaren sein, daß die Auswahl geeigneter Wertzahlen einen wesentlichen Einfluß auf die Interpretationsmöglichkeiten der Ergebnisse hat. Unterschiedliche biologische Erscheinungen bedürfen unterschiedlicher Wertskalen.

Beispiel:

Obstbaumkrebs BBA 4 - 5.3.2. (1976)

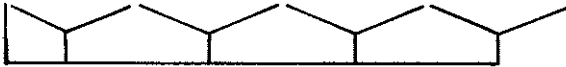
	Wertzahlen
Kallusbildung	1 . 3 .. 6 .. 9
Phytotoxische Wirkung	1 . 3 .. 6 .. 9
Zustand des Belages	1 .. 4 .. 7 . 9



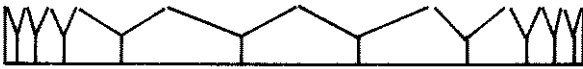
%



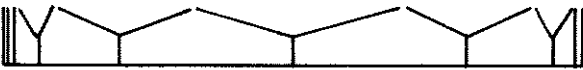
BURRILL-CARDENAS-LOCATELLI (1976)



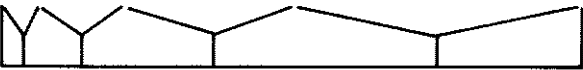
HORSFALL-HEUBERGER (1942)



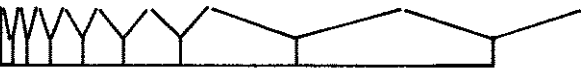
HORSFALL-BARRATT (1945)



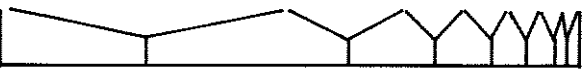
KRANZ (1970)



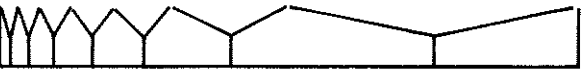
ALTES BONITURSCHEMA



BOLLE (1964)



UNKRAUT (WILKINSON, 1972)



KULTUR (WILKINSON, 1972)

Abbildung 2

Beispiele für Wertskalen (bezogen auf Prozentzahlen)

6.3 Beispiele zu den Wertskalen

Auch im Pflanzenschutzversuchswesen muß die Skala eine ausreichende Anzahl von Klassen haben, um die Differenzen, die leicht zu beobachten sind, durch die ausgewählte Klasse ausdrücken zu können. WILLARD (1958) empfiehlt mehr als 5 Klassen. Vor allem, wenn die Enden der Skala "keine Wirkung" bzw. "alles tot" bedeuten, bleiben nur 3 echte Wirkungsklassen, was meistens zu wenig ist. Andererseits kann man nicht mehr Klassen vorschreiben als unterscheidbar sind. Damit ist eine praktische Grenze durch das Beobachtungsvermögen gegeben.

Wertskalen mit Punktklassen kommen im Pflanzenschutz sehr häufig vor. Sie sind so extrem klein, daß sie gar keine echten Klassen mehr sind, sondern nur einen einzigen Wert der im Hintergrund stehenden Bezugsskala repräsentieren. Ein Beispiel ist die Klasse "keine Wirkung (alles tot)". In solchen Fällen werden die Intervalle der Wertskala extrem unterschiedlich. Die Häufigkeiten, die sich auf den Punktwert 0 oder auf den Punktwert 100 % beziehen, haben ein anderes Gewicht wie die von Intervallklassen, z.B. von einer Klasse "von 0,5 % bis 5 %". Viele Beispiele aus dem Pflanzenschutzversuchswesen für Wertskalen enthält die Arbeit von UNTERSTENHÖFER (1957).

6.3.1 Bezugsskala: Prozent bzw. Anteilziffer

Die Abbildung 2 stellt einige bekannte Wertskalen graphisch dar, die aus der Anteilziffer-Skala (also aus einer für sich schon abgeleiteten Skala) gebildet wurden. Den Prozenten der oben waagrecht gezeichneten Anteilzifferskala entsprechend werden Intervalle mit einer Y-Form dargestellt, wobei deren obere Enden die Grenzen des Intervalls bzw. der Klassen der Prozentskala entsprechend bedeuten.

Die erste, oberste Graphik zeigt eine Wertskala mit 10 gleich großen Intervallen (BURRILL, CARDENAS und LOCATELLI; 1976). Jede Klasse wird mit dem Mittelwert des Intervalles gekennzeichnet. (Wertzahlen sind also 5, 15, 25 usw...95). Diese dezimale Klassifikation vereinfacht das Schätzen, da es mit der Prozentschätzung völlig kompatibel ist (WILLARD, 1958). Das angelsächsische System beinhaltet auch die Skalen 0-5 und 1-5.

Die Skala 2 stammt von HORSFALL und HEUBERGER (1942) und hat eine Punktklasse (für den 0-Punktzeit-Wert) und vier Intervallklassen.

Die den biologischen und statistischen Anforderungen weitgehend gerechte Schätzskala von HORSFALL und BARRATT (1945) beinhaltet zwei Punktklassen (bei 0 und 100 %) und einer S-förmigen Kurve entsprechende ungleiche Intervallklassen. Die Größen der Intervalle wurden dem WEBER-FECHNER'schen Gesetz gemäß so gewählt, daß in den unteren und oberen Bereich, wo man genauer beobachten kann, mehr Klassen fallen als in den mittleren. Die Schätzfehler sind nämlich zwischen 40 bis 60 % am größten und zwischen 0 bis 5 und 95 bis 100 % am geringsten (Abb. 2, Skala 3). Später verwendete man eine Streckung von Befallskurven (ZADOKS, 1961, van der PLANK, 1963, LARGE, 1966 cit. in KRANZ, 1970). Diese Klasseneinteilungen sind hier nicht abgebildet. KRANZ (1970) bevorzugt eine ähnliche Skala mit 5 Punktklassen und 5 Intervallklassen (Abb. 2, Skala 4).

Das sog. "alte Boniturschema" ist eine Wertskala mit ungleichen Intervallen und mit 2 Punktklassen, die einer J-förmigen Kurve entspricht (Abb. 2, Skala 5). In der Wertskala von BOLLE (1965) wurde das Problem der den Prozent-

werten entsprechende Klasseneinteilung auch mittels einer J-förmigen Kurve (geometrisches Fortschreiten) gelöst. Klassenwerte sind die ganzen Zahlen von 1 bis 9. Die BOLLE'sche Skala, die hier (Abb. 2, Skala 6) ohne Ausgleich dargestellt wird, hat eine einzige Punktklasse.

Die letzten zwei Skalen der Abb. 2 sind Spiegelbilder mit je zwei Punktklassen für die Bewertung der Wirkung auf Unkraut und auf die Kulturpflanze (WILKINSON, 1972).

Nach WILLARD (1958) sind Wertskalen, die mit 9 enden, nicht gut. Ferner findet er es sehr verwirrend, wenn in demselben Bericht einmal das untere Ende der Skala für "keine Wirkung" auf das Unkraut, andersmal das obere Ende der Skala für "keine Wirkung" auf die Kulturpflanze bedeuten.

6.3.2 Bezugsskala: Anzahl (Zählwerte)

Für Prüfungen von Nematiziden (BBA 7-1, 1966) werden 9 Wertklassen zur Bewertung der Anzahl frischer Zysten vorgeschrieben. Die Klasseneinteilung ist bei Kartoffel- anders als bei Rüben nematoden. In BBA 7-1 gibt es noch drei weitere Wertskalen, die sich auf die Anzahl der Gallen bei Gurken und Salat, bei Tomaten und bei Möhren beziehen.

Die Abb. 3 zeigt 3 Wertskalen, die sich auf die diskrete Skala der Zählwerte beziehen. Es ist kennzeichnend, daß alle drei Skalen Punktklassen (1, 3 und 2) und offene Intervalle haben.



Anzahl der Saugstellen der
Rübenwanze
(BBA 5-2.1.9)



Bewertung der Fraßstellen
des Moosknopfkäfers
(BBA 5-2.1.10)



PLATTER und KRAEMER
(1962)

Beispiele für Wertskalen (bezogen auf Zählwerte)
Abbildung 3

Die oberste Figur zeigt eine Skala mit drei Gruppen (Klassen) zur Bekämpfung der Rübenwanze (BBA 5-2.1.9, 1967): ohne (Punktklasse), 1-5 Saugstellen (geschlossenes Intervall) und mehr als 5 Saugstellen (offenes Intervall). Die 100 Pflanzen (Objekte), deren Keimblätter untersucht werden, sind der gefundenen Saugstellenanzahl (Phänomen) nach in diesen Klassen zu ordnen. Eine Wertzahl wird nicht angegeben.

Die mittlere Figur der Abbildung 3 bezieht sich auf die Bewertung des Mossknopfkäferbefalles (BBA 5-2.1.10, 1968). Sie geschieht durch die Formel

$$B_{ij} = \sum_{j=1}^r \left[\left(\sum_{k=1}^4 f_{ijk} w_{ijk} \right) / m_{ij} \right]$$

Die einzelnen Symbole sind im Abschnitt 5.1 (letztes Beispiel) aufgeführt. Die im Hintergrund stehende Bezugsskala ist sowohl als eine beschreibende Skala (Stärke des Befalles) als auch als eine Absolutskala (Anzahl der Fraßstellen) angegeben. Die Verknüpfungen stellt die folgende Zusammenstellung dar:

Klasse	1	2	3	4
Bezugsskala 1 (Befallstärke)	kein	leichter	mittel	stark
			starker	
Bezugsskala 2 (Anzahl der Fraßstellen)	0	1	2	3
Wertzahl (w_k)	1	0,8	0,5	0,2
Intervalle zwischen den Wertzahlen	0,2	0,3	0,3	

Die Klasse 4 der Bezugsskala 2 (Anzahl Fraßstellen) bildet ein offenes Intervall. Die unterschiedliche Gewichtung 1 - 0,8 - 0,5 der gleichabständigen Fraßstellenanzahl 0-1-2 sind auf biologische Überlegungen zurückzuführen.

Die Skala von PLATTER und KREMER (1962) kann Werte zwischen 0 und 5 annehmen (Abbildung 3, Figur 3).

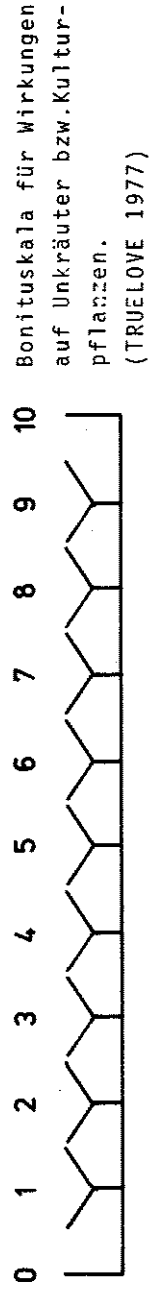
6.3.3 Bezugsskala: Beschreibung

a) Beschreibung mit Text. Im Pflanzenschutzwesen gehören die aufeinanderfolgenden Symptome eines Krankheitssyndroms in diese Gruppe der Skalen (z.B. Befall mit Stock- und Blattälchen, BBA 7-1, 1966; BBA 7-2.3, 1970; BBA 7-3.1, 1976; Kraut- und Knollenfäule an Kartoffeln BBA 4-3.1.1, 1976). Diese Krankheitsentwicklung kann nicht mit einer einzigen meß- oder zählbaren Eigenschaft erfaßt werden, vielmehr nur mit Erfassung einer Vielzahl von zusammenhängenden Symptome (Phänomene). Betrachtet man aber die "Schwere der Krankheit" als einziges Phänomen der Pflanze (Objekt), wo die aufeinanderfolgenden Erscheinungsformen des Krankheitsverlaufes die Alternativen sind, können die Klassen als eine ranggeordnete Skala betrachtet werden.

Die Abbildung 4 enthält Wertskalen, die auf einer Beschreibung (zwischen Alles und Nichts) basieren. Die Wertskala von TOWNSEND und HEUBERGER (1943) und von TRUELOVE (1977) haben zwei Punktklassen (bei Alles bzw. Nichts), die Wertskala von KREMER (1967) nur eine Punktklasse.

b) Beschreibung mit Bild. Im Pflanzenschutzversuchswesen wird oft eine ranggeordnete Reihe von Bildern als objektives Hilfsmittel für die Abschätzung des Befalls benutzt.

Alles — Mittel — Nichts



Beispiele für Wertskalen (bezogen auf Beschreibungen)
Abbildung 4

Tabelle 11: Beziehung der Skalen von abgeleiteten Größen und der Wertzahlen zu anderen Skalen.

Nominal	Rang	Intervall	Absolut	Abgeleitete Skalen
			Anzahlen	
			Differenzen	
		Differenzen	Anteilzahlen (Prozent) 0 x 1	
		Relationen	Relationen	Relationen verschiedenartiger Größen
Indexzahlen, die nur Klassenzugehörigkeit bezeichnen	Indexzahlen, die Rangordnung darstellen	Indexzahlen	Indexzahlen	
Wertzahlen, die wegen geringer Anzahl von Klassen bzw. von Fällen anders nicht einteilen sind				Wertzahlen, bei denen die Skala das ganze Spektrum umfaßt
Wertzahlen mit offenen Klassenintervallen	Wertzahlen mit offenen Klassenintervallen			
	Wertzahlen mit gleich großen und mit ungleich großen Klassenintervallen			
	Wertzahlen mit Punktklassen			

Beispiele:

- Sammlungen von JAMES (1973).
- Septoria an Weizen (BBA 4 - 5.1.7,1976).
- Das "Methodenbuch" der BASF (1978) enthält unter dem Namen Bonitierungsvorlagen Tafeln für verschiedene Pilzkrankheiten (nach DRANDAREVSKI) und für stilisierte Unkräuter (nach BLEIHOLDER).
- Reifereihe durch Farbenreihe der Tomaten.

6.4 Statistische Bearbeitungsmöglichkeiten bei Wertskalen

Von allen hier besprochenen Skalenarten bereiten die Wertskalen die größten Schwierigkeiten in Zusammenhang mit der statistischen Bearbeitung und der Interpretation. Das Niveau der Wertskalen, will man sie in Beziehung zu den Fundamentalskalen bringen, ist oft schwer bestimmbar. Fast immer liegt es aber unterhalb des Niveaus der Intervallskala (Tabelle 11).

Häufigkeitstabellen. Die einfachste Methode einer statistischen Bearbeitung basiert auf der Erstellung von Häufigkeitstabellen und deren Auswertung. Zweck der Häufigkeitstabellen ist

- die Verminderung des Umfangs der Ergebnistabellen eines Versuches,
- die Erleichterung der Berechnung von Meßzahlen und
- die Darstellung der statistischen Verteilung der Beobachtungswerte.

Um vernünftige Schlußfolgerungen aus den Häufigkeitstabellen ziehen zu können, müssen die Klassen entsprechend den in Abschnitt 6.1 genannten Kriterien ausgewählt werden. Eine einwandfreie statistische Analyse ist nur dann möglich,

wenn sowohl die Anzahl der Klassen als auch die Anzahl der Beobachtungen innerhalb der Klassen genügend groß sind. Die Intervalle müssen möglichst gleich groß sein, um die Verteilung und geeignete Meßzahlen unverzerrt schätzen zu können. Bei ungleich großen Intervallen müssen unter Umständen bei der Bearbeitung den Wertzahlen Gewichte zugeordnet werden. Ein weiteres Verfahren besteht darin, vor der Bearbeitung durch Zusammenfassung kleiner Intervalle neue, gleich große Intervalle zu erzeugen und erst diese der Analyse zu unterwerfen.

Die statistische Bearbeitung von Häufigkeiten, die mit der ersten Wertskala in der Abbildung 2 ermittelt wurden, führt am wenigsten zu verzerrten Ergebnissen.

Rangverfahren. Bisweilen können bei der statistischen Bearbeitung von Wertzahlen Rangverfahren verwendet werden. Dies setzt aber voraus, daß eine genügend große Anzahl von Klassen verwendet wird, so daß bei der Rangbildung nicht sehr viele Datenwerte mit gleichem Rang vorkommen.

Ableitung sekundärer Größen. Weiterhin können aus Wertzahlen durch geeignete Operationen Größen gebildet werden.

a) Indexzahlen durch Mittelwertbildung. Werden Klassen benutzt, die eine mittels J-Kurve darstellbare Befundreihe ausdrücken, wie z.B. das "alte Boniturschema" und die Skalen von BOLLE (Abb. 2), so können aus Wertzahlen durch geeignete Mittelwertbildung Indexzahlen gebildet werden. Diese sind dann als abgeleitete Größen zu betrachten und statistisch wie in Abschnitt 5.3 beschrieben zu bearbeiten. Bei der Interpretation der Ergebnisse muß aber unbedingt darauf geachtet werden, wie die Wertzahlen entstanden sind (z.B. aus gleich oder ungleich großen Intervallen, offenen Intervallen, Punktklassen) und wie die Indexzahl gebildet wurde

(z. B. Mittelwert mit oder ohne Gewichtung). Die Beziehung zwischen der Indexzahl und dem Phänomen, das sie repräsentiert, muß erhalten bleiben.

b) Transformation der Wertzahlen. Die Wertskala von HORSFALL und BARRATT (1945) basiert nicht auf einer logarithmischen Kurve, sondern auf einer symmetrischen S-Kurve, die leicht und eindeutig (mit Winkel-, Logit- oder Probit-Transformation) in eine Gerade überführt werden kann.

7 Wahl der Skalenart =====

Schon die Tabellen 3 und 4 zeigen, wie unterschiedlich, durch die verschiedenen Fragestellungen bedingt, ein und dasselbe Phänomen erfaßt werden kann. Sie verdeutlichen aber auch, welche Folgen für die statistische Analyse und die Interpretation der Ergebnisse die Entscheidung für eine Skala hat, mit der ein Phänomen "gemessen" werden soll. Durch die Möglichkeit, aus abgeleiteten Größen oder aus Wertzahlen Skalen zu bilden, wird das Spektrum erweitert.

Für die Auswahl der Skala sind sowohl Gesichtspunkte zu berücksichtigen, die die biologische Natur des Phänomens betreffen als auch Gesichtspunkte, die sich auf die Analyse beziehen.

7.1 Biologische Natur des Phänomens

Im Mittelpunkt unserer Versuchstätigkeit steht die Natur. Die Richtigkeit der Beobachtung, die sich auf das Phänomen bezieht, das an dem Objekt (Parzelle, Pflanze, Organ) erscheint, ist die Basis für die Erkenntnisse über die biologischen Vorgängen. Die statistische Bearbeitung ist in diesem Zusammenhang nicht Ziel, sondern Hilfe. Die Skala muß ausreichend genau und differenziert die wesentlichen Aspekte des Phänomens erkennen lassen.

Beispiel: Für die statistische Analyse und die Interpretation von Ergebnissen ist bei Wertklassenbildung wichtig, daß alle Klassenintervalle gleich groß sind. Aus der Natur des Phänomens kann aber folgen, daß dann fast alle Beobachtungen in eine Klasse fallen. Ein klassisches

Beobachtungen in eine Klasse fallen. Ein klassisches Beispiel ist die Erfassung der Altersverteilung von Kinderkrankheiten, wenn Klassenintervalle mit einer Länge von 5 Jahren verwendet werden. Fast alle Beobachtungen fallen in die erste Altersklasse von 0 bis 5 Jahren. Die Klassenbildung muß sich hier nach den speziellen Eigenschaften des Phänomens richten.

7.2 Ökonomische Aspekte

Die Bedeutung der Statistik nimmt zu, wenn die Beobachtung unsicher oder schwierig ist oder nur durch Zerstörung des Objektes durchgeführt werden kann. Die Frage, wie gründlich man untersuchen soll, hängt von der Abwägung der Ansprüche und der Möglichkeiten ab.

Bevor man bei der Planung über die Skalenart entscheidet, soll man sich ganz nüchtern überlegen, ob eine statistische Analyse überhaupt benötigt wird. Man soll sich die Frage stellen:

"Was bringt es mir, wenn ich mich für eine statistische Analyse entscheide?" "Ist der Aufwand, mit dem die Voraussetzungen und Bedingungen eines statistischen Testes zu sichern sind, proportional dem Gewinn, den dieser Test verspricht?"

7.3 Erfassung der Phänomene durch mehrere Zielgrößen

Das zu behandelnde Problem wurde am Anfang so formuliert: "Wie komme ich von dem zu beobachtenden Phänomen zu Größen, die für eine statistische, auf das Versuchsziel bezogene Analyse geeignet sind?"

Wählt man eine Zielgröße, die mit einer der fundamentalen Skalen gemessen wird, bestehen keine Probleme. Die Analyse-möglichkeiten sind voraussehbar. Oft lassen sich aber komplexe Phänomene mit wenigen Zielgrößen gar nicht genügend gut beschreiben.

Beispiel

Bei der Kraut- und Knollenfäule an Kartoffeln gibt die BBA (4 - 3.1.1, 1976) eine beschreibende Kennung zu Wertzahlen von 1 bis 9. Die Wertklassen beziehen sich auf 8 im Hintergrund stehende Eigenschaften (Blattflecken, Prozent der befallenen Blätter, Absterben der Blätter, Blattmasse, Stengel, Einzelpflanze und Bestand der Parzelle). Sie umfassen alle Entwicklungsstufen des Krankheitsverlaufes (Tabelle 12).

Bildet man Mittelwerte aus solchen Wertzahlen, so liegen diese Mittelwerte auf einer quantitativen Skala zwischen 1 und 9. Beim Interpretieren dieser Mittelwerte können keine Rückschlüsse auf die einzelnen Eigenschaften (Symptome) gezogen werden, die Mittelwerte bezeichnen nichts anderes als ihren Rang in der Reihe.

Es gibt viele Phänomene im Pflanzenschutz, die eine einfachere Struktur haben als die Erscheinungsbilder der Krankheiten und die Empfindungsmerkmale von Qualitäten. Bei Strukturen, die auf einige gut definierbare Komponenten zurückzuführen sind, wäre empfehlenswert, alle entscheidenden Komponenten als Zielgrößen zu behandeln ("mehrdimensionales Messen" nach PFANZAGL, 1971, S. 30), anstatt ihre Gesamtheit mit einer einzigen Indexzahl oder Wertzahl auszudrücken.

Tabelle 12: Skala zur Erfassung von Kraut- und Knollenfäule an Kartoffeln (BBA 4 - 3.1.1, 1976).

Wert- zahl	Befall	Flecke	Blätter Prozent der befallenen Blätter	Absterben	Zerstörung Vernichtung	Stengel Zerstörung	Pflanze Farbe	Bestand der Parzelle Zusammenbruch
1	kein						völlig grün	
2	sehr schwach	einzelne	2.5 %					
3	schwach	einzelne	5.0 %					
4	noch schwach	Flecke	10.0 %					
5	mittelstark	Flecke	15.0 %					
6	stark	fast jedes Blatt			etwa 25 %			
7	sehr stark			einzelne	etwa 35 %	Beginn		
8					60 - 75 %	weitge- hend fort- geschrit- ten		beginnend
9				völlig	völlig	völlig		völlig

Beispiel

Kommt der Schaden innerhalb der Parzelle fleckenweise vor, z.B. bei Hafernematoden, dann können die folgenden Zielgrößen erfaßt werden

- Fläche der befallenen Flecken in Prozent der Parzelle,
- Befallstärke in den Flecken,
- Anzahl der Flecken pro Parzelle.

Das Ergebnis wird dadurch viel informativer als hätte man den Zustand der ganzen inhomogen befallenen Parzelle mit einer einzigen Index- oder Wertzahlen ausgedrückt (JAMES, 1973).

Weitere Beispiele finden wir bei der Beobachtung von Pflanzenpopulationen in Parzellen von Herbizidversuchen. Auch hier sind nicht einzelne Phänomene zu beobachten, sondern mehrere. In den vorliegenden BBA-Richtlinien (Reihe 13) ist vorgesehen Wertzahlen zu bilden und diese einer anspruchlosen statistischen Auswertung zu unterwerfen. Man könnte aber auch, - und das ist nicht allgemein bekannt -, alle auftretenden Phänomene gleichzeitig beobachten und im Zusammenhang statistisch analysieren. Das sei am Beispiel der BBA-Richtlinien, "Herbizide im Rübensamenbau" (13 - 1.1.3, 1966) dargestellt.

Beispiel:

Für die zu beobachtende Zielgröße gibt es eine Nominalskala mit 7 Klassen:

- 4 zweikeimblättrige Unkräuter namentlich
- 1 Gras namentlich
- Übrige zweikeimblättrige
- Übrige Gräser

Jede Klasse dieser Nominalskala ist für sich ein Phänomen, für die man Skalen bilden muß.

a) Nur die Alternativen: "vorhanden sein" oder "fehlen" wird für jede dieser 7 Unkrautarten (Phänomene) in der Parzelle (Objekt) festgestellt. Das bedeutet eine Nominalskala mit 2 Alternativen für alle 7 zu beobachtende Unkrautklassen. Das Ergebnis des Versuchs kann in eine Tabelle für jede Parzelle und für alle 7 Phänomene des Vorhandenseins oder Fehlens eingetragen werden. Das Material kann als Kontingenztafel analysiert werden. Dieses Verfahren ist nur anwendbar bei Auswertung eines umfangreichen Datenmaterials und bei der Untersuchung von Präparaten mit hohem Wirkungsgrad.

b) Es interessiert aber auch die Ausbreitung der 7 Unkrautarten auf der Parzelle, da eine gegenseitige Beeinflussung der Pflanzenarten gegeben ist (Konkurrenz der Pflanzenpopulation). Deshalb könnte man durch Zählungen (Absolutskala) oder durch Deckungsgradangaben in Prozent für alle 7 Zielgrößen die Befallsstärke feststellen. Die Zielgrößen könnten getrennt, aber auch gemeinsam und zusammenfassend mittels multipler statistische Verfahren analysiert werden, wenn die Grundvoraussetzungen dieser Methoden gegeben sind. Dieses Verfahren ist auch in Einzelversuchen anwendbar.

7.4 Über skalenunabhängige Gründe für nicht auswertbare Datenmengen

Statistisch nicht analysierbare Datenmengen können auf Grund unpassender Skalenarten, aber auch aus anderen, hier nicht besprochenen Gründen, entstehen. Auf einige Überlegungen bezüglich solcher Datenmengen wollen wir kurz eingehen. Für eine ausführliche Darstellung verweisen wir auf eine Arbeit von FINNEY (1972).

- 1.) Kommen einige Beobachtungen mit außerordentlich extremen Werten vor, so hat der Biologe die Frage zu beantworten: "Handelt es sich nicht um "grobe Fehler"?". Solche Fehler sind etwa
 - Abschreibfehler, Rechenfehler bei der Vorbereitung;
 - Meßfehler, Ablesefehler;
 - Abnormalität der Parzelle (Bodenfehler, Schaden usw);
 - Fehler bei der technischen Durchführung.

Man soll die aus fachlichen Gründen verdächtigen Daten verwerfen und eher die Analyse mit fehlenden Parzellendaten bevorzugen, anstatt eine Transformation durchzuführen.

- 2.) Manche Versuchsglieder mit sehr unterschiedlicher Wirkung (oder manche Blöcke) sind ganz verschieden von den anderen. Beispiele dafür finden wir ganz leicht im Pflanzenschutzversuchswesen:
 - Es wurden zwei Versuchsglieder mit sehr unterschiedlicher Wirkung in einem Versuch getestet.
 - Oft ist es nur die "unbehandelte Kontrolle", die offensichtlich eine andere Eigenschaft als die übrigen "Behandlungen" hat.

Es ist zu überlegen, ob der Versuch besser in zwei Teile zu teilen und getrennt zu analysieren sei.

3.) In bestimmten Datenmengen kommen Daten mit 0-Werten besonders häufig vor. FINNEY (1972) zitiert ein typisches Beispiel aus dem Pflanzenschutzversuchswesen:

- Bei einem Befall finden wir oft eine größere Anzahl Pflanzen ohne Krankheitssymptome (0-Werte). Die anderen Pflanzen sind in sehr verschiedenen Graden der Werteskala beschädigt: es gibt viele 0-Werte, aber die anderen Werte der Werteskala kommen meistens nur 1-mal, vielleicht 2-mal oder eventuell 3-mal vor.

Eine der Fragestellung entsprechende Interpretation dieser Daten wird dadurch ermöglicht, daß man zwei Zielgrößen bildet

- den Prozentwert gesunder Pflanzen mit 0-Wert und
- den Mittelwert der "nicht Null"-Werte.

Erst werden die Prozentwerte gesunder Pflanzen (über alle Parzellen) analysiert. Nachfolgend werden die Größen der Mittelwerte pro Parzelle (d.h. der Grad des Befalls, ausgeschlossen die unbefallenen Pflanzen) ebenfalls analysiert. Die Mittelwerte pro Parzelle der befallenen Pflanzen sind als Indexwerte zu betrachten und zu interpretieren.

Es ist keine große Leistung, einen formalen Test durchzuführen z.B. zwischen Pflanzengruppen, bei denen die eine 110 - 170 Blätter, die andere Gruppe 10 - 15 Blätter hat. Es gab eine Zeit, wo die Biologen mit solchen offensichtlichen Unterschieden zufrieden waren und die Statistiker zeigten Bedenken gegen solche "unexakten" Entscheidungen. Heute sind es eher die Biologen und die Redakteure wissenschaftlicher Zeitschriften, die statistische Verfahren und Tests verlangen, die der Statistiker für überflüssig hält (FINNEY, 1972). Bedeutet das einfach Unsicherheit?

Bei offensichtlichen Ergebnissen, wie bei 0 bzw. 100 %iger Wirkung oder großen Unterschieden mit eindeutiger Überlegenheit und fehlender Variabilität, darf keine Statistik angewandt werden. Die Anwendung der Statistik ist in diesen Fällen nicht nur aus logischen Gründen sinnlos, sondern auch undurchführbar.

Literatur

Autorenkollektiv: Biometrisches Wörterbuch. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin 1968.

Autorenkollektiv: Methodenbuch. Anlage und Auswertung von Pflanzenschutzversuchen. - BASF AG, Limburgerhof 1978.

BBA: Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft. Richtlinien für die amtliche Prüfung von Pflanzenschutzmitteln

- Berlin-Dahlem: 4 - 1.1 (1966); 4 - 1.3 (1969); 4 - 3.1.1 (1976); 4 - 5.1.7 (1976); 4 - 5.3.2 (1976); 5 - 2.1.9 (1967); 5 - 2.1.10 (1968); 6 - 1 (1966); 6 - 3.1 (1966); 7 - 1 (1966); 7 - 2.3 (1970); 7 - 3.1 (1976); 13 - 1.1.3 (1966).

BOCKMANN, H.: Künstliche Freilandinfektion mit den Erregern der Fuß- und Ährenkrankheiten des Weizens, II. Die Infektionswirkung und ihre Beurteilung nach dem Schadbild. - Nachr. Bl. dt. Pfl. Schutzdienst, Braunschweig, 15, 33 - 37, 1963.

BOLLE, F.: Zum Bonitierungsschema für die Prüfung herbizider Mittel. - Nachr. Bl. dt. Pfl. Schutzdienst, Braunschweig, 16, 92 - 94, 1964.

BURRILL, L.C., J. CARDENAS, E. LOCATELLI: Field manual for weed control research. - Oregon State Univ., 1976.

COCHRAN, W.G., G.M. COX: Experimental designs. 2nd ed. - Wiley, New York - London 1957.:

CROXALL, H.E., D.C. GWYNNE, J.E.E. JENKINS: The measurement of losses caused by apple-tree diseases with special reference to apple scab. - Ann. appl. Biol., 40, 600 - 603, 1953.

DIXON, J.W., F.J. MASSEY: Introduction to statistical analysis. McGraw-Hill Comp., New York, 1969, 3rd ed.

- EGGEBRECHT, H.: Die Untersuchung von Saatgut, Hamburg 1949, (Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik, Bd. 5).
- ELLIS, B.H.: Preference testing methodology. - Food Technology, 22, 49 - 56, 1968.
- FEDERER, W.T.: Experimental design. Theory and application. - Macmillan, New York, 1955.
- FINNEY, D.J.: Transformation of observation for statistical analysis. - Cotton Growing Review, 50, 1 - 14, 1972.
- HENDERSON, C.F., E.W. TILTON: Tests with Acaricides against the Brown Wheat Mite. - Journal of Economic Entomologie, 48, 157 - 161, 1955.
- HOLLANDER, M., D. WOLFE: Nonparametric statistical methods. - J. Wiley, New York - London, 1973.
- HORSFALL, J.G.: "Fungicides and their action". - Waltham, Mass. U.S.A., Publ. Chronica Botanica Comp. 1945.
- HORSFALL, J.G., R.W. BARRATT: An improved grading system for measuring plant diseases. - Phytopathology 35, 655. 1945 (Abs.).
- JAKOB, A., H. RÜTHER, W.V. BEHRENS: Der Feldversuch und seine Technik, mit einem Beitrag über mathematische Auswertungsverfahren. Handbuch der landw. Versuchs- und Untersuchungsmethodik. Der Vegetationsversuch. - Verlag Neumann, Radebeul und Berlin, 1961.

- JAMES, C.: A manual of assessment keys for plant diseases. - Agric. Can. Publ. 1458, 1971 (revised 1973).
- JORDAN, Ch.: Statistique mathématique. - Gauthier-Villars, Paris, 1927.
- KEARNS, H.G.H., R.W. MARSH, H. MARTIN: Experimental spraying programme on apples at Long Ashton. - Rep. agric. Res. Sta., Bristol, 132, 1945.
- KENDALL, M.G.: Rank correlation methods. 4th ed. - Griffin, London, 1970.
- KRANZ, J.: Schätzklassen für Krankheitsbefall. - Phytopathologische Zeitschr., 69, 131 - 139, 1970.
- KREMER, Fr.W.: Über den Einfluß von Pflanzenschutzmitteln auf Fruchtberostungen der Sorte Golden Delicious. - Pflanzenschutz-Nachrichten "Bayer", 20, S. 629 - 643, 1979.
- LAST, F.T., R.E. HAMLEY: A local-lesion technique for measuring the infectivity of conidia of *Botrytis fabae* Sardina. - Ann. appl. biol. 44, 410 - 418, 1956.
- LINDER, A.: Planen und Auswerten von Versuchen. - Birkhäuser, Basel-Stuttgart 1953.
- MUDRA, A.: Statistische Methoden für Landwirtschaftliche Versuche. - Paul Parey, Berlin-Hamburg 1958.
- O'SVÁTH, J., H. GEIDEL: Besonderheiten der biometrischen Auswertung von Pflanzenschutzversuchen. - Z. Pfl. Krankh. Pfl.Schutz 82, 449 - 466, 1975.

- PFANZAGL, J.: Theory of measurement. - Physica-Verlag, Würzburg - Wien, 1971, 2nd ed.
- PLATTER, Th., Fr. W. KREMER: Erfahrungen bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln durch Beregnungsanlagen. - Der Landwirt, 16, 247 - 250, 1962.
- ROEMER, Th.: Der Feldversuch, 3. Aufl. - Arb. d. DLG, Heft 302, 1930.
- SACHS, L.: Statistische Auswertungsmethoden. 2. Aufl. - Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1969.
- SCHICKE, P., J. O'SVATH: Verrechnung von Mehrklassen-Befallsbonitierungen. - Z. PflKrankh. PflSchutz 84, 1 - 17, 1977.
- SIEGEL, S.: Nonparametric statistics for the behavioral sciences - McGraw-Hill - Koyakuska, Tokyo 1956.
- STEVENS, S.S.: On the theory of scales of measurement. - Science, 103, 677 - 680, 1946.
- STEVENS, S.S.: Measurement, statistics, and the schemapiric view. - Science, 161, 849 - 856, 1968.
- TOWNSEND, G.R., J.W. HEUBERGER: Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. - Plant Disease Reporter 27, 340 - 343, 1943.
- TRUELOVE, B. (ed.): Research methods in weed science. - Southern Weed Sci. Soc. 1977 (2nd ed).

UNTERSTENHÖFER: Die Grundlagen des Pflanzenschutz-Freilandversuches. - Höfchen-Briefe, 10, 169 - 232, 1957.

WILKINSON, R.E. (ed.): Research Methods in weed science, Measuring plant responses. - Southern weed sci. soc., 1972.

WILLARD, G.J.: Rating scales for weed control experiments. - Weeds, 6, 327 - 328, 1958.

Liste der Beispiele

Lehrbeispiele

- zu den fundamentalen und abgeleiteten Skalen 12, 26 (Tab. 3)
- zur Nominalskala 15, 16, 26 (Tab. 3), 27
- zur Rangskala 18, 19, 21, 26 (Tab. 3), 27
- zur Intervallskala 22, 23, 26 (Tab. 3), 27
- zur Absolutskala 24, 25, 26 (Tab. 3)
- zu den abgeleiteten Skalen 37, 38 (Tab. 8), 39 (Tab. 9)
- zur Wertskala 45, 50, 64, 65
- Zur Zuordnung der Erscheinungsform eines Phänomens 10, 11

Allgemeines Feldversuchswesen 27 (Tab. 4)

- Reihenfolge der Versuchsglieder (= Prüfglieder, Behandlungen) 18, 21
- Zeitspanne
 - nach einem willkürlichen Startpunkt:
 - Behandlungstermin 23
 - Beobachtungstermin 21
 - nach einem fixen Startpunkt:
 - Behandlungstermin 24
 - Beobachtungstermin 24
- Höhe des Bestandes 24, 38
- Pflanzenzahl 37, 40, 41, 43
- Verschiedene Begriffe für "Wirkung" 36, 37, 38 (Tab. 8)
- Ertrag (gesamt) 38, 43
- Ertrag (Handelsklasse) 38
- Einstufung der Reife 22
- Einstufung nach Schönheit (Zierpflanzen) 21
- Fehlstellen, fehlende Daten bzw. Parzellen 33, 43, 70
- Inhomogenität des Standortes 33
- Zusammenhang zwischen Ertrag und Einkommen 43
 - zwischen Ertrag und Fehlstellen 43

Allgemeine Skalen im Pflanzenschutz 27, (Tab. 4), 52

- "Altes" Bonitierungsschema (1 - 5) 52, 54, 62
- Bewertungsskala nach BOLLE (1966), 54, 55, 62
 - angewandt für Unkraut und Kultur (WILKINSON, 1972), 55
- Alternativen: "Keine Wirkung" - "alles tot" 17, 53
- Einstufung nach Ausfärbung 21.

Prüfungen von Fungiziden

- Unverrechenbare Datenmenge 7,70 - 72
- Auflauf in Prozent 38, 39
 - Index aus verschiedenartigen Größen berechnet (BBA 4 - 1.1, 1966), 37
- Blattbefall in Prozent
 - nach KEARNS et al., (1945), 39
 - nach CROXALL et al., (1953), 39
 - nach HORSFALL und HEUBERGER, (1942), 52, 54
 - nach HORSFALL und BARRATT, (1945), 52, 54, 63,
 - nach KRANZ, (1970), 52, 54
- Tupfenzahl 27 (Tab. 4)
 - nach LAST und HAMLEY (1956) 39
- Apfelschorf 39
- Befallswert
 - Index für Halmbrechkrankheit nach BOCKMANN (1963) 39
- Krankheitsgrad 19, 45, 58
- Obstbaumkrebs (drei Skalen in BBA 4 - 5.3.2, 1976), 51
- Kraut- und Knollenfäule an Kartoffeln (BBA 4 - 3.1.1, 1976)
56, 58, 66, 67 (Tab. 12)
- Bildskalen (Bonitierungsunterlagen)
 - nach JAMES (1973), 60
 - nach DRANDAREVSKI (1978), 60
 - für Septoria an Weizen (BBA 4 - 5.1.7, 1976), 60

Prüfungen von Insektiziden und Akariziden

- Unverrechenbare Datenmenge 6, 70 - 72
- Alternative des Geschlechtes 16
 - der Vitalität (lebend - tot), 17, 53
- Art des Schädlings 17
- Befallsindex für den Moosknopfkäferbefalls (BBA 5 - 2.1.10, 1968) 40 - 49, 57
- Klassen für den Rübenwanzenbefall (BBA 5 - 2.1.9, 1967),
56, 57
- Schädlingszahl 38
- Index von HENDERSON und TILTON (BBA 6 - 1, 1966;
BBA 6 - 3.1., 1966) 39

Prüfungen von Nematiziden

- Ungleichmäßige Verteilung von Nematoden im Boden 68
- Zystenzahl (BBA 7 - 1, 1966), 55
- Befall mit Stock- und Blattälchen (BBA 7 - 1, 1966;
BBA 7 - 2.3, 1970; BBA 7 - 3.1, 1976), 58

Prüfungen von Herbiziden 68

- Unverrechenbare Datenmenge 5, 70 - 72
- Unkrautart ("vorhanden sein" - "fehlen")
17, 25, 27 (Tab. 4), 69
- Skala von BURILL et al., (1976), 54
- Zahl der Unkrautpflanzen 43
- Unkrautbedeckung
 - Fläche der Unkräuter 24, 37
 - Bedeckung in Prozent 37, 69
- Konkurrenz der Pflanzenpopulationsarten 69
- Anwendung multipler statistischer Verfahren am Beispiel
(BBA 13 - 1.1.3, 1966), 68
- Bildskalen (Bonitierungsunterlagen) für stilisierte
Unkräuter nach BLEIHOLDER (1978), 60
- Herbizidwirkung auf Unkraut und Kultur (TRUELOVE,
1977), 58
- Zusammenhang zwischen der Zahl der Unkrautpflanzen und
der Ertragsdepression 43

Prüfungen auf Geschmacksbeeinflussungen

- Organoleptische Untersuchungen 19, 49

Erkrankte Pflanzenpopulation (Kultur)

- Anzahl kranker Pflanzen 38
- Farbabstufung 22, 27 (Tab. 4)
- Erfassung von Krankheitssymptomen 66. 71
- Phytotoxizität 51, 55

Index der Begriffe aus dem Versuchswesen und der Statistik

- Abstufungen 8
- Addition 13
- Additivität 32
- Alternativen 10 - 16, 49, 14 (Tab. 1)
- Alternativklassen 16 - 18
 - ausschöpfende 16, 17
 - disjunktive 16, 17
- Analyse 62, 65
 - statistische Möglichkeiten der Analyse 8, 9
 - Analysenverfahren 30
 - Kontingenztafel-Analyse 69
 - Korrelationsanalyse 30
 - Kovarianzanalyse 30
 - Multivariate statistische Methoden
(= multiple statistische Verfahren) 30, 69
 - Regressionsanalyse 30
 - Sequentialverfahren 30
 - Varianzanalyse 30, 32
- Anteilzahlen 35, (Tab. 7), 36, 37, 53, 61 (Tab. 11)
- Anteilzifferskala 53
- Anzahl der Beobachtungen (der Wiederholungen) 62
- Anzahlöen 35 (Tab. 7), 36, 55, 61 (Tab. 11)
- Assoziationskoeffizient 29 (Tab. 5)
- Attributum 10 - 12
- Auswertung
 - als Synonym der Datenerfassung 42
 - als Synonym der statistischen Analyse, 5, 9, 42, 68
- Behandlung (= Versuchsglied, Prüfglied) 5 - 7, 17, 23, 37
- Beschreibung 46, 49, 51, 58, 59 (Abb. 4)
 - mit Text 49, 58
 - mit Bild 49, 58
- Beobachtung 9 11, 49, 64
 - Beobachtungsperson 53
 - Beobachtungsvorschrift 10 - 11
- Blockanlage (randomisierte) 5 8, 17, 32
- Biologische Natur 51, 64
- Boniteur 64
- Bonitur 8, 33
 - nach Augenmaß 19, 33
 - nach Bonitierungsunterlagen (Bilder) 60
 - parallele Bonitur 33

- Daten (= Meßzahlen, Meßgrößen) 5 - 8, 11, 60, 62, 65
 - abhängige 8
 - Daten mit 0-Werten 71
 - offensichtliche Ergebnisse 72
 - statistisch nicht verrechenbare Daten 5 - 8, 70
 - unabhängige Daten 8
- Datenerfassung 8, 9
 - blinde Datenerfassung 33
 - objektiv 33
 - subjektiv 8, 33, 44
 - qualitativ 44
- Datenreduktion 42
- Dichtemittel (= Modus) 29 (Tab. 5)
- Differenzen 13, 35 (Tab. 7), 36, 61 (Tab. 11)
- Diskontinuität 44
- Division 13
- Einflußgröße 9, 11, 27 (Tab. 4)
- Einzelversuch 69
- Eталon (= Vorschrift, Norm, Eichmaß) 33
- Fehler
 - grober Fehler 70
 - Meßfehler 70
 - Schätzfehler 54
 - Versuchsfehler 32
- Gesamtheit, Grundgesamtheit 11
- Gewicht 11, 42, 53, 62, 63
- Gerade 63
- Grenzen der Skala 53
- Größe
 - abgeleitete Größe 34 - 44, 35 (Tab. 7) 49, 62
 - charakteristische Größe 29 (Tab. 5)
 - diskontinuierliche Größe 44
 - Größe (= Meßwert) 10
 - Intervallgröße 48, 62
 - kontinuierliche Größe 44
 - Meßgröße 65
 - Originalgröße 34, 42
 - statistische Größe (=Maßzahl) 29 (Tab. 5)
 - qualitative Größe 44
- Häufigkeit 53, 69
 - absolute Häufigkeit 36, 38
 - relative Häufigkeit 36
- Häufigkeitstabelle 60
- Halbwert (= Median) 29 (Tab. 5)
- Homogenität 8, 68
 - der Varianzen (=Homoskedastizität) 32

- Homomorphismus (= Isomorphismus) 10
- Index 39 - 41
- Indezahlen 39 (Tab. 9) 40, 43, 61 (Tab. 11), 62, 66
- Information 12, 28, 42
- Interpretation 42, 51, 60, 66
- Intervall 14 (Tab. 1) 22, 48, 49, 53
 - Grenzen des Intervalles 53
 - Größe des Intervalles 48, 62
 - Mittelwert (Mittelpunkt) des Intervalles 51
 - offenes Intervall 49, 51, 55, 61 (Tab. 11), 62
- J-Kurve 54, 55, 62
- Klasse 11, 15, 46, 48 - 50
 - Alternativklasse 15
 - Anzahl der Klassen 48, 53, 62
 - Grenzen der Klasse 48, 53
 - Größe der Klasse 48
 - Intervallklasse 33, 54, 61 (Tab. 11), 64
 - Punktklasse 49, 53 - 55, 58, 61 (Tab. 11)
 - Wertklasse 64
 - Wirkungsklassen 53
- Klassifizierung 48
- Koeffizient
 - Assoziationskoeffizient (= Kontingenz) 29 (Tab. 5)
 - Korrelationskoeffizient 29 (Tab. 5), 40
 - Regressionskoeffizient 40
 - Variationskoeffizient 29 (Tab. 5), 40
- Kontingenz (= Assoziationskoeffizient) 29 (Tab. 5)
- Korrelation
 - Rangkorrelation 29 (Tab. 5)
 - Produkt-Moment-Korrelation 29 (Tab. 5)
- Kurve 54
- Linearer Zusammenhang 43
- Maß (= Maßzahl, charakteristische Größe, statistische Größe)
 - 29 (Tab. 5), 62
 - Assoziationsmaß 28, 29 (Tab. 5)
 - Dispersionsmaß 28, 29 (Tab. 5)
 - Lokationsmaß 28, 29 (Tab. 5)
 - Korrelationsmaß 28, 29 (Tab. 5)
- Maßeinheit 22
- Maßzahl (= statistische Größe) 29 (Tab. 5)
- Maximumstelle (= Modus) 28, 29 (Tab. 5)
- Medianwert 28, 29 (Tab. 5) 40
- Messen 9, 10 - 14
 - im weiteren Sinne 10, 36, 64
 - mehrdimensionales Messen 66
- Meßgröße 8
- Meßzahl (= Daten) 5 - 8, 11, 60, 62, 65

- Mittelwert 39 (Tab. 9), 40, 63, 71
 - arithmetischer Mittelwert 29 (Tab. 5), 39
 - geometrischer Mittelwert 29 (Tab. 5)
 - harmonischer Mittelwert 29 (Tab. 5)
 - Mittelwert (Mittelpunkt) des Klassenintervalles 54
- Modalwert 29 (Tab. 5)
- Modus 29 (Tab. 5), 40
- Niveau der Skala 28, 29 (Tab. 5), 44, 60
- Normalität der Versuchsfehler 32
- Nullpunkt 14 (Tab. 1), 22, 23
- Objekt 10 - 12, 64
- Oekonomische Aspekte 65
- Offensichtliche Ergebnisse 72
- Organoleptische Untersuchungen 49
- Origo (= Ausgangspunkt) 22
- Parzelle 10, 25, 41, 68 - 70
- Phänomen (= Eigenschaft, attributum) 9 - 12, 16, 28
 - 58, 63 - 66, 68, 69
- Proportionalität 42, 43
- Produkt 36
- Prozent 5, 36, 37, 39, 52 (Tab. 2), 53, 54, 61 (Tab. 11), 71
- Quotienten 13, 36
- Randomisation 33
- Rang 66
 - gleichwertige Ränge (Bindungen, ties) 18, 62
 - Rangfolge 18
 - Rangkorrelationskoeffizient 29 (Tab. 5)
 - Rangverfahren 62
- Rangordnung 6, 20 (Tab. 2), 56, 61 (Tab. 11)
- Relativzahlen 36
- Relationen 35 (Tab. 7), 38 (Tab. 8), 42, 61 (Tab. 11)
- Repräsentativ 8
- Reihe
 - Farbenreihe 60
 - Rangreihe 18
 - Reihenordnung (einfache) 20 (Tab. 2)
- S-Kurve 54, 63
- Sequentialverfahren 30
- Schätzwert 44
- Skala 9
 - Absolutskala 14 (Tab. 1), 23 - 25, 26 (Tab. 3),
 - 27 (Tab. 4), 29 (Tab. 5), 31 (Tab. 6), 44, 46, 49, 61 (Tab. 11)
 - abgeleitete Skala 13, 34 - 44, 53, 61 (Tab. 11)
 - Anteilszifferskala 53
 - Auswahl der Skala 5 - 9, 64 - 69
 - beschreibende Skala (= Nominalskala) 14 (Tab. 1)
 - Bezugsskala 34, 45, 46, 53, 55, 58
 - "BBA 1 - 9" -Skala 7, 55, 66

- Fundamentalskala 12, 14 (Tab. 1), 15 - 33, 44, 49, 66
- Grenzen der Skala 49
- "hedonische" Skala 49, 50 (Abb. 1)
- Intervallskala 14 (Tab. 1), 22, 23 26 (Tab. 3), 27 (Tab. 4),
29 (Tab. 5), 31 (Tab. 6), 44, 46, 58, 61 (Tab. 11)
- Klassen der Skala 49
- Meßskala 10, 11
- Niveau der Skala 28, 29 (Tab. 5), 44, 60
- Nominalskala 14 (Tab. 1), 15 - 17, 26 (Tab. 3), 27 (Tab. 4),
29 (Tab. 5), 31 (Tab. 6), 44, 61 (Tab. 11), 69
- Ordinalskala 17
- Prozentskala 46, 53
- qualitative Skala 14 (Tab. 1)
- quantitative Skala 14 (Tab. 1)
- Rangskala 14 (Tab. 1), 17 - 19, 20 (Tab. 2), 26 (Tab. 3),
27 (Tab. 4), 29 (Tab. 5), 31 (Tab. 6), 44, 49,
61 (Tab. 11)
- spezifisch qualitative Skala 15
- typisch qualitative Skala 15
- Wertskala 14 (Tab. 1), 18, 33, 40, 47 - 63, 52 (Abb. 2),
56 (Abb. 3), 59 (Abb. 4), 66
- Skalenunabhängige Aspekte 70
- Spannweite (=Variationsbreite) 29 (Tab. 5), 40
- Standardabweichung 29 (Tab. 5), 40
- Standortheterogenität (Bodenfehler, Schaden usw.) 33, 70
- Statistischer Test 30, 33, 65, 71
 - parametrisch 30, 32, 33
 - nichtparametrisch 30, 31 (Tab. 6)
- Stichprobe 28, 29 (Tab. 5), 30, 31 (Tab. 6)
 - abhängige (verbundene) Stichproben 30, 31 (Tab. 6)
 - unabhängige Stichproben 30, 31 (Tab. 6)
- Technische Durchführung 70
- Transformation 8, 9, 63, 70
 - Logit-Transformation 63
 - Probit-Transformation 63
 - Winkel-Transformation 63
- Summa 36
- Unabhängigkeit der Versuchsfehler 32
- "Unbehandelte" Kontrolle 70
- Variable (= veränderliche Größe) 11, 42
 - abhängige Variable 11
 - Realisation der Variable (= Datenwert) 11
 - unabhängige Variable 11

Varianz 29 (Tab. 5), 32, 33, 39, 40
Variationsbreite 29 (Tab. 5)
Variationskoeffizient 29 (Tab. 5), 40
Versuchsansteller 42
Versuchsplanung 9, 65
Verteilung 30, 31 (Tab. 6), 48, 51, 62
Voraussetzungen (Bedingungen) 8, 9, 32, 69
Vorschrift für die Datenerfassung (Beobachtung) 10, 11
WEBER-FECHNER'sche Gesetz 54
Wertzahlen 47 (Tab. 10), 61 (Tab. 11)
Wiederholung 33, 41
Wirkung 6
 verschiedene Arten der Wirkungen 37, 38 (Tab. 8)
 sehr unterschiedliche Wirkungen 70
Wirkungsgrad 37
Zahlen 10, 12
 ganze Zahlen 11
 Indexzahlen 13, 44, 62, 68
 natürliche Zahlen 25
 positive Zahlen 36
 Relativzahlen 35 (Tab. 7)
Zählung 55, 56 (Abb. 3), 69
Zentralwert 29 (Tab. 5)
Zielgröße 5 - 7, 9, 11, 27 (Abb. 4), 31 (Tab. 6), 65, 69