

Zeitschrift: Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Botanique Suisse

Herausgeber: Schweizerische Botanische Gesellschaft

Band: 83 (1973)

Heft: 2

Artikel: Biostatistische Untersuchungen an europäischen Orchideen

Autor: Götz, Peter / Reinhard, Hans R.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-58442>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Biostatistische Untersuchungen an europäischen Orchideen

von *Peter Gölz* und *Hans R. Reinhard*

Manuskript eingegangen am 27. März 1973

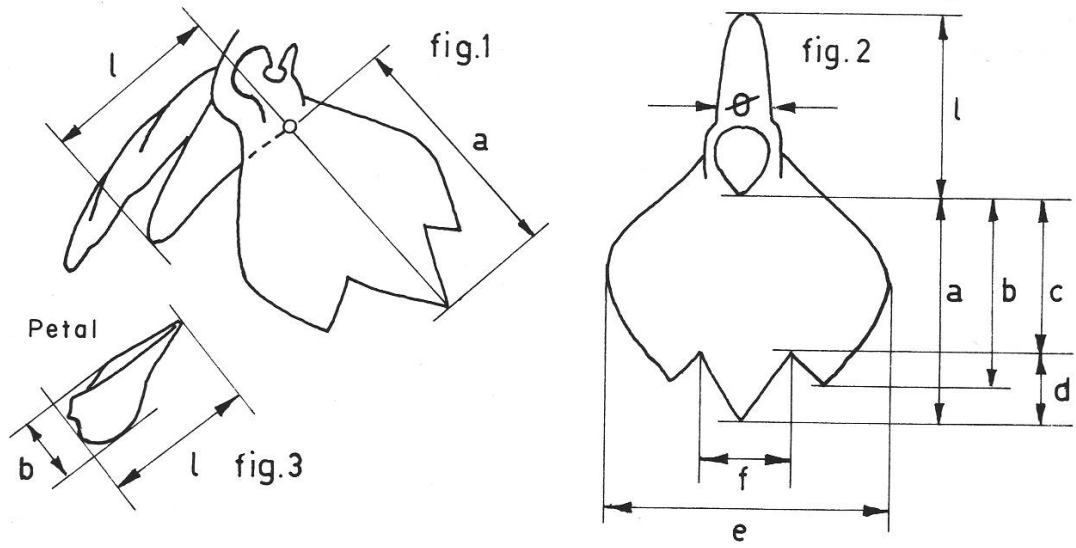
1. Einleitung

Bei den europäischen Vertretern der Pflanzenfamilie der *Orchidaceen* gehen die Ansichten verschiedener Autoren zu taxonomischen Fragen zum Teil weit auseinander. Um zu den üblichen morphologischen und cytologischen Untersuchungen und Vergleichen weitere stützende Hilfsmittel zu gewinnen, versuchten die Verfasser in den letzten Jahren verschiedentlich, mit statistischen Verfahren Probleme der Sippendiskriminanz und der Hybridenidentifikation zu bearbeiten. Im vorliegenden Aufsatz möchten wir kurz und vorläufig über die verwendeten Methoden, die Materialbeschaffung und über erzielte Ergebnisse in Form zweier Beispiele berichten; weitere Untersuchungen und Veröffentlichungen sind zu gegebener Zeit vorgesehen. Unser Ziel ist nicht eine universell verwendbare „Systematik aus dem Computer“; wir möchten lediglich Entscheidungshilfen für die oben formulierten Fragen sowie zur Beurteilung von Wahrscheinlichkeiten gewisser Hypothesen im Hinblick auf Verwandtschaftsnähen zweier bis dreier Sippen bereitstellen.

2. Gewinnung des Materials

Da es im allgemeinen nicht möglich ist, alle Individuen der interessierenden Sippen in die statistische Analyse einzubeziehen, ist man gezwungen, *Stichproben* zu sammeln. Diese hat man nach zufälligen Gesichtspunkten, nicht nach irgenwelchen „Zielvorstellungen“ auszuwählen. Innerhalb der Populationen, aus welchen man die Stichproben gewinnt, muss man darauf achten, Exemplare von möglichst allen verschiedenen Standortverhältnissen (feucht, trocken, besonnt, schattig usw.) zu sammeln. Bei grossen Populationen nimmt man am

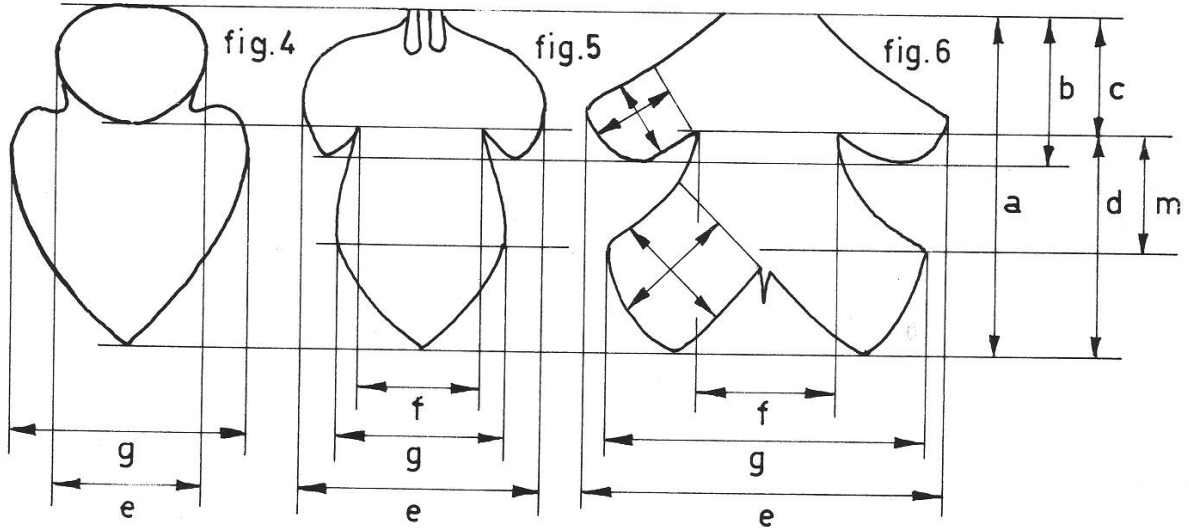
DACTYLORHIZA , GYMNADENIA , ANACAMPTIS



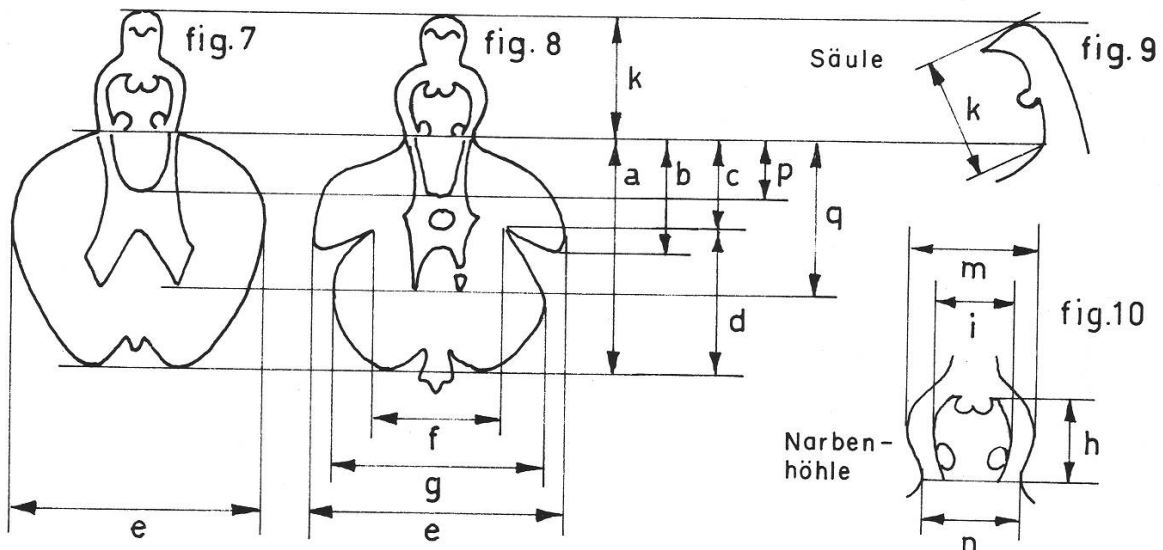
EPIPACTIS

SERAPIAS

ORCHIS, ACERAS



OPHRYS



besten eine Parzellierung ihres Areals vor und nimmt in diese Parzellen je die verschiedenen Verhältnisse auf; diejenige Parzelle, auf welcher die Stichprobe gewonnen wird, liest man mittels Losentscheids aus. Innerhalb der ausgelosten Parzelle werden die Exemplare wiederum durch Los oder durch Zufallszahlen oder mittels „Steinwurfmethode“ ausgewählt; so hat man einigermaßen Gewähr, dass „jedes Individuum dieselbe Chance hat, in die Stichprobe aufgenommen zu werden“.

Von den fast unerschöpflich vielen Merkmalen, die man messen kann, muss man sich naturgemäss auf eine Auswahl beschränken. Wir haben normalerweise immer die folgenden *Messungen* vorgenommen:

Pflanzhöhe ab Boden, Länge und Breite des 2. Laubblattes, Längen des obersten Stengelblattes und des obersten Internodiums, Länge des Blütenstandes, Anzahl Blüten, Brakteilänge und -breite der 3. oder 4. Blüte sowie verschiedene Masse an den Blüten, wie sie in Abbildung 1, Fig. 1 bis 10 zusammengestellt sind. Diesen Abbildungen kann auch die genaue Art und Weise der Messungen entnommen werden. Um die Pflanzen zu schonen, beschränken wir uns grundsätzlich auf oberirdische Teile.

Aus den absoluten Massen können praktisch unbeschränkt noch *Verhältnisse* und Doppelverhältnisse gebildet werden, die oft für eine Sippendiskriminanz oder Bastardidentifikation aussagekräftiger als die Masse selbst sind, z.B. die Verhältnisse von Länge zu Breite verschiedener Phyllome oder verschiedene Verhältnisse von Lippenteilen; eine Erläuterung zu diesen letzteren ist durch die Abbildung 2 mit Kommentar gegeben. Das letzte jener Verhältnisse geht auf Heslop-Harrison (1948) zurück und wird „shape“-Index genannt. Auch die Messweise von Sporn- und Lippenlänge stimmt mit den Angaben von Heslop-Harrison überein.

Noch ein Wort zur *Messgenauigkeit*: Da einige der verwendeten Tests nicht-parametrisch sind und auf einer Rangierung beruhen, und da diese Tests durch Mehrfachbelegungen (Bindungen, „ties“) sehr an Schärfe verlieren, ist man auf grösste Messpräzision zur Vermeidung allzuvieler Bindungen angewiesen. Bis zu Dimensionen von etwa 20 mm sollte auf mindestens 0,1 mm genau gemessen werden, was am einfachsten mittels Messlupe mit eingravierter Skala geschieht.

Zu den *qualitativen Merkmalen* wie Perigonfarbtönen, Laubblattfleckung, Höckerausprägung usw. sei angemerkt, dass eine objektive lückenlose Quantifizierung meist schwer fällt, sei es, dass entsprechende Messwerkzeuge nicht zur Verfügung stehen, sei es, dass für die erwünschte Präzision der Messaufwand unter feldmässigen Bedingungen ganz einfach unzumutbar gross wird. Wir beschränken uns in solchen Fällen für jedes Individuum auf das Festhalten eines Alternativentscheids (Beispiel: Staminodialpunkte vorhanden oder nicht vorhanden) oder auf eine grobe Rangierung (Beispiel: Höckerung keine, schwach, deutlich, extrem ausgeprägt). Man vergleiche dazu die Bemerkungen im Schlussabschnitt 5!

Abb. 1:

Die Blütenmasse und die Art und Weise ihrer Festlegung bei verschiedenen Orchideengattungen.




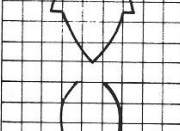
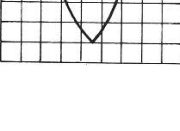
	$\frac{e}{a}$	$\frac{b}{a}$	$\frac{d}{a}$	$\frac{f}{e}$	$\frac{2a}{b+c}$
	1,25	1,25	0,25	0,20	1,00
	1,20	1,00	0,30	0,33	1,18
	1,00	0,80	0,40	0,50	1,43
	0,80	0,50	0,50	0,75	2,00
	0,60	0	1,00	1,00	-

Abb. 2:

Charakterisierung verschiedener Lippenformen durch Massverhältnisse, z.B. bei *Dactylorhiza*, *Gymnadenia*, *Nigritella* und ihren Bastarden (Bedeutung der Masse a–f siehe Abb. 1, Fig. 2). Von oben nach unten nimmt die Lippenbreite im Verhältnis zur Lippenlänge sukzessive ab ($e:a$), die Seitenlappen treten zurück ($b:a$), der Mittelappen wird relativ zu den Ausdehnungen der Lippe länger ($d:a$) und breiter ($f:e$). $2a:(b+c)$ = „shape-index“ nach Heslop-Harrison (1948)

3. Die verwendeten mathematischen Verfahren

Zuerst werden Mittelwerte, Varianzen und mittlere quadratische Abweichungen aller erfassten Merkmale für die einzelnen Stichproben berechnet. Diese Zahlen dienen als optimale Punktschätzwerte für die (unbekannten) entsprechenden Parameter der Grundgesamtheiten (Sippen). Um diejenigen Merkmale zu finden, die für die Sippentrennung tauglich sind, wird dann irgend ein Signifikanztest angewandt, der zu beurteilen gestattet, ob beobachtete Unterschiede signifikant oder nur zufälliger Natur sind. Falls die Stichproben aus normalverteilten Grundgesamtheiten stammen, deren Varianzen übereinstimmen, verwenden wir seiner Schärfe wegen den t-Test. Ist eine der Voraussetzungen nicht erfüllt, so muss man auf eine modifizierte Form des t-Testes greifen (dies dann, wenn die Varianzen nicht gleich sind, was man mit dem F-Test überprüfen kann) oder auf ein parameterfreies und formunabhängiges Verfahren, z.B. den Test von Mann-Whitney u.a.

Für das nun anschliessende Trennverfahren werden nur noch diejenigen Merkmale verwendet, die sich signifikant unterscheiden; wenn im folgenden die Rede von „Merkmalen“ ist, so sind immer diese gemeint. Durch „Indizierung“ werden die zu vergleichenden Merkmale der beiden zu trennenden Sippen auf einen einheitlichen Massstab umgerechnet: Der Merkmals-Mittelwert der einen Sippe erhält etwa den Indexwert +2, derjenige der anderen Sippe den Indexwert –2. Die Masse aller Individuen der Stichproben werden mittels Extra- und Interpolation auf diese Bezugswerte umgerechnet. Wenn man zum Abschluss das Mittel aller Merkmals-Indexwerte eines Individuums bildet, so

ergibt sich für jedes Individuum ein Gesamtindex. Werden nun diese individuellen Indexwerte der einen Sippe durch eine geeignete Zahl nahe 0, besser noch durch ein ganzes unbesetztes Index-Intervall, von denen der anderen Sippe getrennt, so kann das Trennverfahren als erfolgreich betrachtet werden.

Die Trennung kann mit Hilfe *graphischer Darstellungen* veranschaulicht werden, und zwar mit „Zweierdiagrammen“ und mit einem „Sterndiagramm“. Beim Zweierdiagramm werden zwei beliebige Merkmale kombiniert. Jedes Individuum liefert so in einem Koordinatensystem einen „Zweimerkmalspunkt“. Die Merkmalspunkte der beiden zu trennenden Sippen erscheinen meist als vollständig getrennte Punkthaufen, die wir der Deutlichkeit halber durch einen Polygonzug durch die äussersten Punkte umranden; dieser Polygonzug kann als sehr grobe Näherung und Vereinfachung der (unbekannten) Streuellipse aufgefasst werden. Im Sterndiagramm werden auf Strahlen, deren Anzahl der Zahl der im Trennverfahren berücksichtigten Merkmale entspricht, in einem geeigneten Massstab die Mittelwerte der Stichprobenmerkmale aufgetragen und sippenweise miteinander verbunden. Man könnte die Werte der einzelnen Individuen in gleicher Weise auftragen; die entstehende Figur ist aber derart unübersichtlich und verwirrend, dass wir uns für die Mittelwerte entscheiden mussten.

Werden in das Trennverfahren mittels Indizierung und in die graphischen Darstellungen auch allfällige Bastarde einbezogen, so sind sie als solche meist deutlich erkennbar!

4. Beispiele

Die Methoden und Graphiken seien im folgenden anhand von zwei Beispielen mit „unkritischem“ Material illustriert.

Das *erste Beispiel* bearbeitet *Orchis papilionacea* L., *Orchis boryi* Rchb. f., sowie drei ihrer Bastarde *Orchis x lasithica* Renz. Das Material wurde anfangs April 1972 auf Kreta gesammelt und ist in Tabelle 1 zusammengestellt. Es finden sich hier nur diejenigen Masse, die für das Trennverfahren verwendet worden sind. Es handelt sich um die folgenden Merkmale, deren Unterschiede auf einem Signifikanzniveau von weit über 99,9% gesichert sind:

- | | | | |
|---|----------------------|---|-------------------------------------|
| 1 | Brakteumlänge in mm | 6 | Lippenlänge in mm |
| 2 | Brakteumbreite in mm | 7 | Lippenbreite in mm |
| 3 | Sepallänge in mm | 8 | Verhältnis Spornlänge : Lippenlänge |
| 4 | Sepalbreite in mm | 9 | Anzahl Adern der Petalen |
| 5 | Petallänge in mm | | |

Weitere, aber nicht auf so hohem Signifikanzniveau liegende verschiedene Merkmale bleiben unberücksichtigt. In Tabelle 2 sind die Resultate des Trennverfahrens zusammengestellt. Die Abbildungen 3 bis 6 zeigen vier der möglichen 36 Zweierdiagramme, und Abbildung 7 bringt das Sterndiagramm. Die Trennung

Tabelle 2: Resultate des Trennverfahrens

Merkm.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>O. papilionacea</i>											
1	1,04	2,59	1,04	1,32	2,59	2,03	2,73	2,31	1,61	2,17	1,61
2	1,87	2,49	0,88	4,99	0,97	1,15	2,67	1,06	-0,81	4,01	2,76
3	1,57	2,86	1,21	1,73	3,12	1,83	1,83	2,09	2,09	1,83	1,83
4	1,13	2,32	0,73	3,70	1,13	0,54	1,33	2,71	1,33	2,91	4,10
5	1,68	2,25	1,55	0,64	3,57	2,25	0,97	2,73	2,25	1,55	2,56
6	1,50	1,74	2,22	1,50	2,46	2,22	1,50	2,46	2,22	1,50	2,70
7	2,91	1,93	1,93	2,42	1,19	2,17	0,85	2,66	1,68	0,55	3,89
8	1,65	1,11	2,15	2,35	1,52	2,39	1,94	1,65	1,52	2,48	2,35
9	2,23	2,23	2,23	4,76	2,23	2,23	-0,30	2,23	2,23	2,23	-0,30
Mittel	1,73	2,17	1,55	2,60	2,09	1,87	1,50	2,21	1,57	2,14	2,39
<i>O. boryi</i>											
1	-1,16	-1,78	-1,42	-2,01	-3,03	-1,64	-2,49	-2,49	-1,98		
2	-1,35	-1,97	-2,15	-1,79	-3,13	-1,79	-1,97	-1,79	-2,06		
3	-1,59	-1,90	-1,95	-1,53	-2,88	-1,53	-2,31	-1,79	-2,52		
4	-2,24	-2,44	-1,64	-1,64	-2,63	-1,64	-2,63	-1,45	-1,64		
5	-2,16	-1,67	-1,74	-1,46	-2,58	-1,95	-2,51	-1,88	-2,02		
6	-1,87	-1,77	-2,06	-1,39	-2,59	-1,58	-2,59	-1,92	-2,21		
7	-1,80	-2,29	-1,90	-1,01	-2,29	-1,41	-2,83	-1,80	-2,58		
8	-0,59	-2,91	-1,96	-1,01	-2,00	-2,54	-4,53	-2,46	-1,42		
9	-2,84	-2,84	-0,30	-0,30	-2,84	-2,84	-2,84	-0,30	-2,84		
Mittel	-1,73	-2,11	-1,68	-1,35	-2,66	-1,88	-2,74	-1,76	-2,14		
<i>O. x lasithica</i>											
1	0,19	0,84	-0,17								
2	2,58	1,42	-0,01								
3	-0,50	-2,36	-0,60								
4	0,14	-1,05	-1,84								
5	-0,55	-0,20	-0,97								
6	-0,67	-0,19	-0,43								
7	-0,28	0,60	-0,28								
8	0,53	0,45	0,07								
9	2,23	-0,30	2,23								
Mittel	0,41	-0,09	-0,22								

der beiden Sippen einerseits, die intermediäre Lage der Bastarde andererseits wird überall sehr deutlich; man beachte auch, dass bei der Indizierung ein Intervall von über 2,8 Indexpunkten zwischen den beiden Sippen frei bleibt. Die Werte der drei Bastarde fallen mitten in dieses freie Intervall und besitzen überdies einen Indexmittelwert von (zufälligerweise) praktisch 0!

Im zweiten Beispiel ist ein kleiner Ausschnitt aus einer umfangreicheren Untersuchung dargestellt. Im Zweierdiagramm der Abbildung 8 sind Punkthaufen zu erkennen, die zu folgenden 5 Arten gehören:

Dactylorhiza maculata (L.) Soò s.l., *Gymnadenia conopsea* (L.) R. Br.,
Gymnadenia odoratissima (L.) Rich., *Pseudorchis albida* (L.) A. & D. Löve
 = *Leucorchis albida* (L.) E. Meyer und *Nigritella nigra* (L.) Rchb. f.

Schon auf Grund von lediglich zwei Merkmalen wird die Trennung der 5 Sippen sehr augenfällig, obwohl es nicht geringe Schwierigkeiten bereitet, zwei solche Merkmale zu finden, die zur Trennung aller 5 Sippen gleichzeitig geeignet sind! Im gleichen Diagramm werden Bastarde von *D. maculata* mit je den vier übrigen Arten dargestellt. Man sieht sowohl die intermediären Stellungen dieser Bastarde sehr deutlich wie auch die Unterscheidbarkeit dieser vier Bastardtypen unter sich!

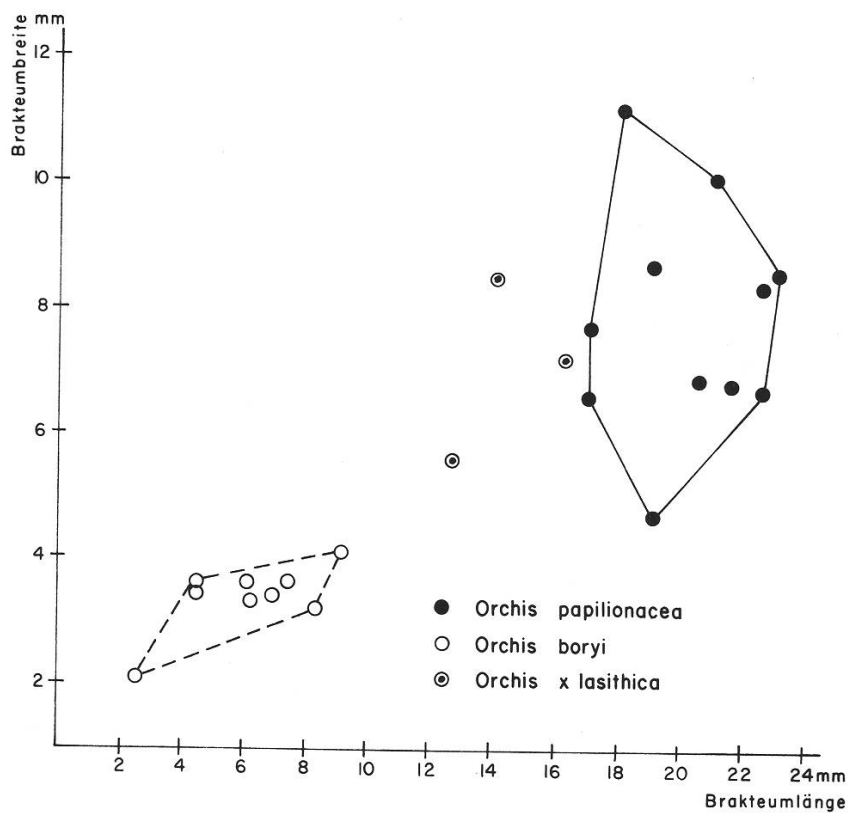


Abb. 3:

Zweierdiagramm des Merkmalpaares Brakteumlänge und Brakteumbreite.

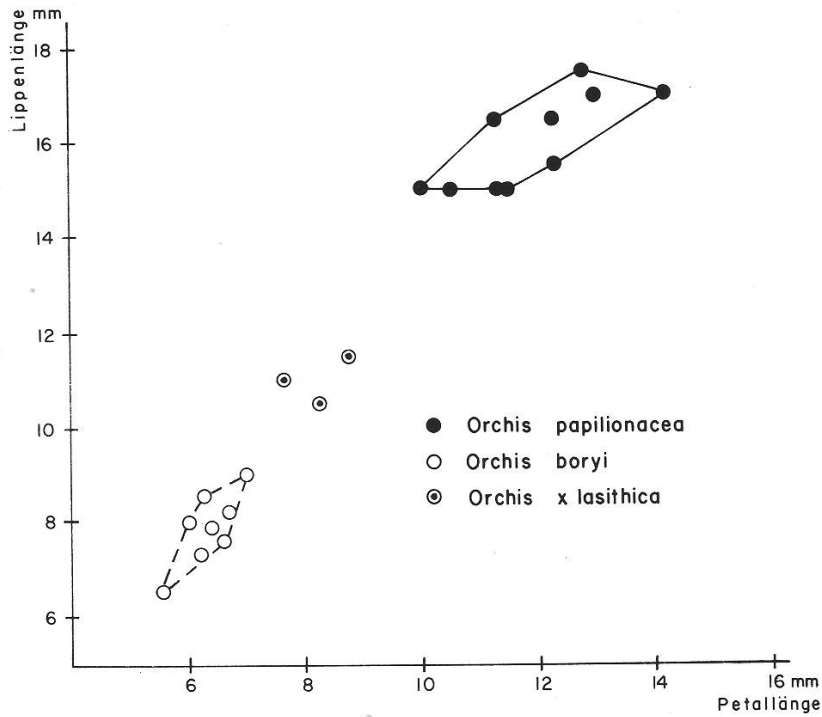


Abb. 4:
Zweierdiagramm des Merkmalpaares Petallänge und Lippenlänge.

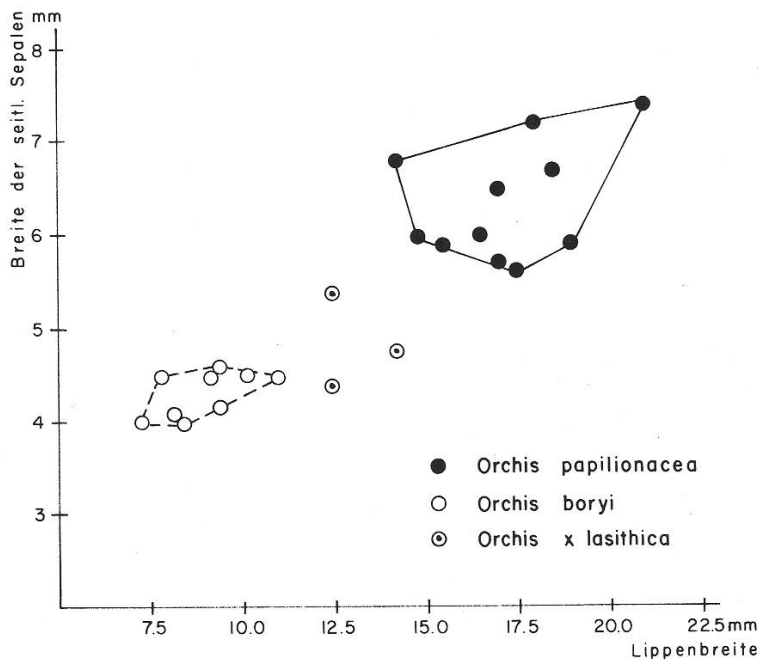


Abb. 5:
Zweierdiagramm des Merkmalpaares Lippenbreite und Breite der seitlichen Sepalen.

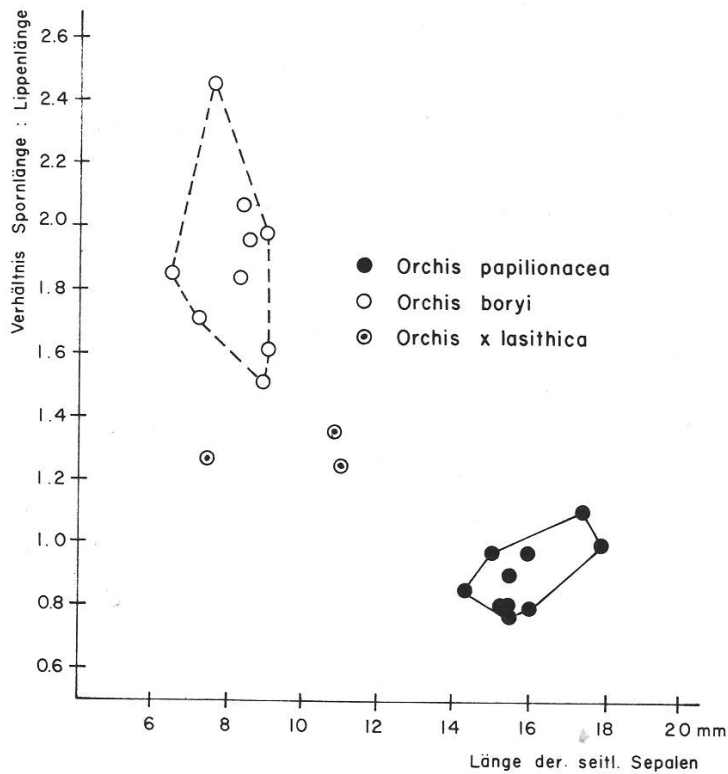


Abb. 6:

Zweierdiagramm des Merkmalpaares Länge der seitlichen Sepalen und Verhältnis von Spornlänge zu Lippenlänge.

5. Schlussbemerkungen

Es ist uns klar, dass die von uns verwendeten Methoden nur eine dienende Funktion haben können. Die genaue Feldarbeit des guten Systematikers, der auch kleinste blütenbiologische, ökologische und qualitative Merkmaldifferenzen, zum Teil intuitiv, registriert, gewichtet und bei der Sippenbeurteilung verarbeitet, kann durch nichts ersetzt werden. Die Ergebnisse solcher statistischer Analysen können aber in zweierlei Hinsicht entscheidende Bedeutung erlangen: Entweder liegen sie in gleicher Richtung wie eine aufgestellte Hypothese und können diese dadurch gewaltig stützen, oder aber sie weisen in entgegengesetzte Richtung, wodurch die Hypothese wenn nicht gerade erledigt, so doch mindestens viel weniger wahrscheinlich wird. Statistische Ergebnisse können in diesem Sinne massgeblich an einem taxonomischen Entscheid beteiligt sein und die Beurteilung der Bastardnatur einer Pflanze oder Pflanzensippe wesentlich erleichtern und absichern.

Die meisten Berechnungen und Originalgraphiken wurden auf Hewlett-Packard 9100B-Computern ausgeführt; diejenigen von Beispiel 1 zum Teil durch eine Schülergruppe am Gymnasium Winterthur während des Wintersemesters 1972/73.

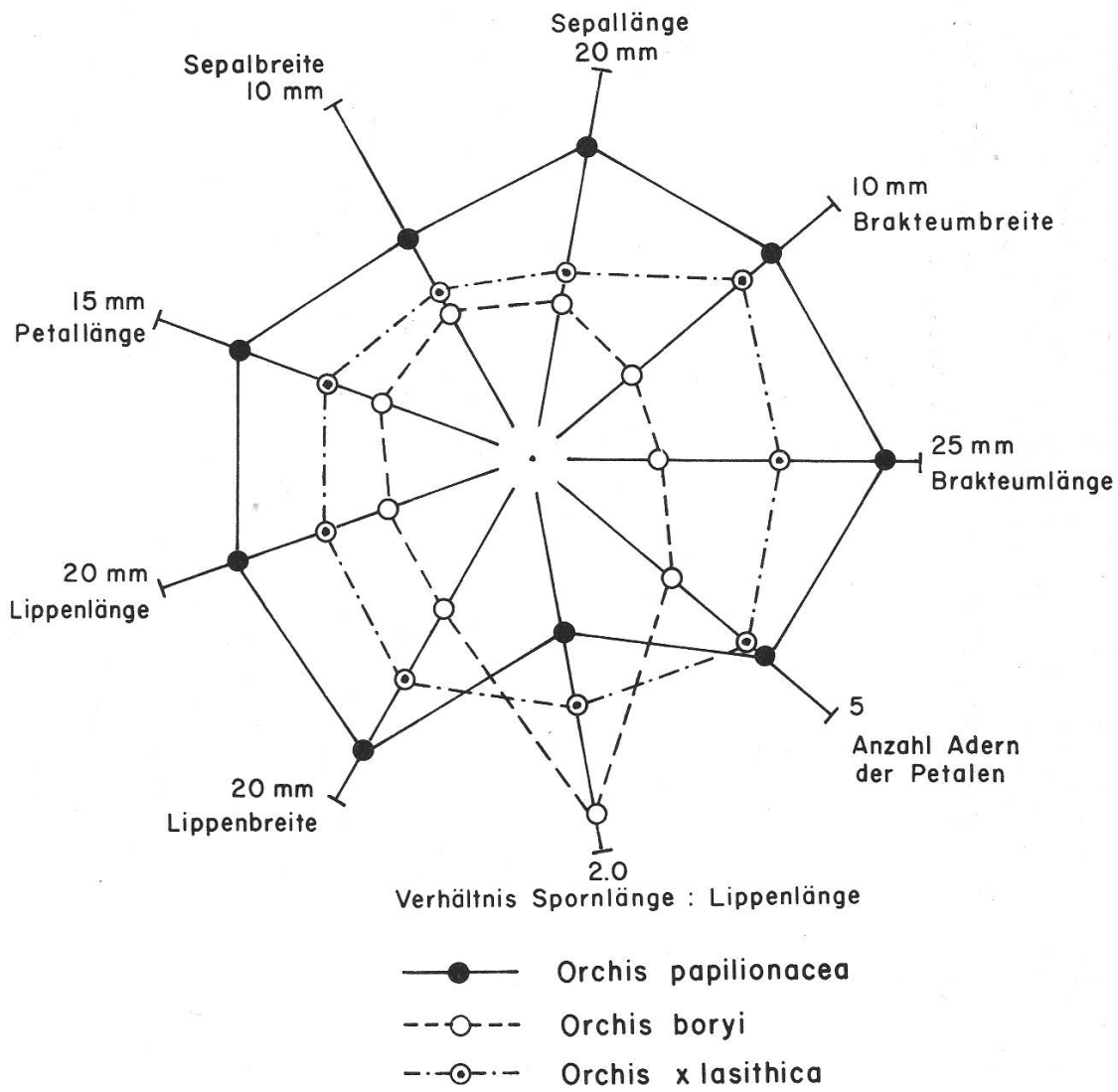


Abb. 7:

Sterndiagramm zu Beispiel 1 mit den Mittelwerten der 9 verwendeten Merkmale.

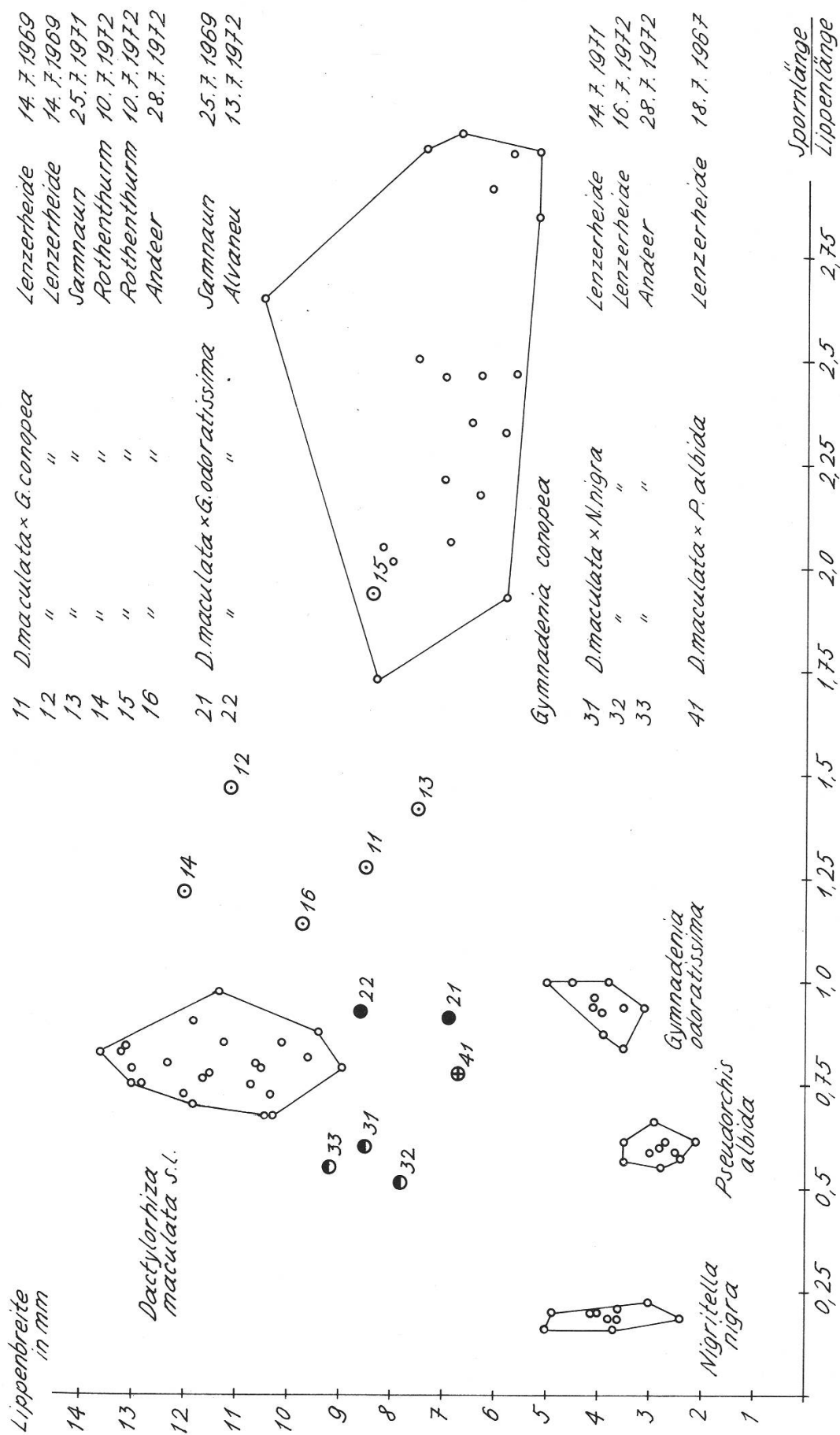


Abb. 8:

Kombiniertes Zweierdiagramm zu Beispiel 2

(Merkmalpaar: Verhältnis von Spornlänge zu Lippenlänge sowie Lippenbreite).

Zusammenfassung

Mit statistischen Verfahren wird versucht, zur Frage der Sippendiskriminanz, der Verwandtschaftsverhältnisse und der Hybridenidentifikation in der Familie der *Orchidaceae* ein weiteres Entscheidungskriterium zu gewinnen. An zwei Beispielen mit „unkritischem“ Material (*Orchis papilionacea*, *O. boryi* und deren Bastard; ferner *Dactylorhiza maculata* s.l., *Gymnadenia conopsea*, *G. odoratissima*, *Pseudorchis albida*, *Nigritella nigra* und einigen Bastarden) werden die Verfahren erläutert und wird die Leistungsfähigkeit einfacher rechnerischer und graphischer Methoden dargestellt.

Summary

Biostatistical Studies on European Orchids.

By methods of statistics it is tried to find a further decision rule for the problems of discriminance of races, interspecific connections and identification of hybrids. Two examples of „unproblematic“ material (*Orchis papilionacea*, *O. boryi* and their bastard; further *Dactylorhiza maculata* s.l., *Gymnadenia conopsea*, *G. odoratissima*, *Pseudorchis albida* and *Nigritella nigra*) explain the proceedings and show the capacity of simple arithmetical and graphic methods.

Literatur

- Campbell R.C. 1971. Statistische Methoden für Biologie und Medizin. G. Thieme, Stuttgart.
Conover W.J. 1971. Practical Nonparametric Statistics. Wiley, New York.
Fisz M. 1958. Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin.
Graf/Henning/Stange 1966. Formeln und Tabellen der Mathematischen Statistik. Springer Berlin.
Groll M. 1965. Fruchtansatz, Bestäubung und Merkmalsanalyse bei diploiden und polyploiden Sippen von *Dactylorhiza (Orchis) maculata* und *Gymnadenia conopsea*. Oesterr. Bot. Zeitschr. 112, 657–700.
Heslop-Harrison J. 1948. Field studies in *Orchis*. Trans. Bot. Soc. Edin. 35, 22–66.
– 1953. A synopsis of the *Dactylorhiza* of the British Isles. Bericht Geobot. Institut Rübel, Zürich, 53–82.
Linder A. 1964. Statistische Methoden. Birkhäuser, Basel.
Reinhard H.R. 1972. x *Anacamptorchis laniccae* Br.-Bl. Jahresbericht Naturw. Ver. Wuppertal 25, 122–129.
Stebbins G.L. 1968. Evolutionsprozesse. Fischer, Stuttgart.

Peter Gölz
Trottenwiesenstrasse 25
CH-8404 Winterthur

Hans R. Reinhard
Probsteistrasse 77
CH-8051 Zürich