

Biometrische Untersuchungen zur Variabilität der Basidiosporen

H. CLÉMENÇON

Institut de Botanique Systématique, Université de Lausanne, Suisse

RICKEN (1915, p. II) glaubte an eine hohe Konstanz der Sporengrösse und legte dementsprechend grossen Wert darauf. Doch schon 1909 hatte BULLER eine ausführliche Notiz über unterschiedliche Sporengrössen bei verschiedenen Fruchtkörpern derselben Art veröffentlicht. Drei an verschiedenen Tagen im selben Wald gesammelte Scheidenstreiflinge („*Amanitopsis vaginata*“) ergaben Sporen mit den Mittelwerten von 10,19 μm , 10,87 μm und 11,65 μm . Wir werden auf diese Messungen später zurückkommen.

Siebzehn Jahre später veröffentlichte ein Schüler BULLER's eine ausführliche Studie über die Variabilität und Vererbbarkeit der Sporenlänge bei *Coprinus sterquilinus* FR. (HANNA 1926). Diese Arbeit zeigt zum ersten Mal, dass sowohl eine Variabilität zwischen Individuen, als auch eine Variabilität innerhalb eines Individuums vorkommen. Seither haben weitere Untersuchungen an andern Agaricalen gezeigt, dass sowohl die Dimensionen, als auch die Form der Sporen weit weniger konstant sind, als dies lange Zeit geglaubt wurde (z. B. ZELLER und TOGASHI 1934 (*Tricholoma*); TOGASHI und ODA 1934 (*Armillariella*, *Pholiota*, *Flammulina*, *Tricholoma*, *Naematoloma*); PARKER-RHODES 1949 (*Panaeolus*); NEČÁSEK 1950 (*Coprinus*, *Panaeolus*); DUNCAN und GALBRAITH 1973 (*Anellaria*); TANGHE und SIMONS 1973 (*Amanita*); WATLING 1975 (*Conocybe*)). Wir werden auf einige dieser Arbeiten in Laufe unserer statistischen Untersuchungen zurück kommen.

In der vorliegenden Arbeit werden die Massangaben in einigen älteren Veröffentlichungen mit modernen statistischen Verfahren analysiert. Der Hauptteil der Arbeit befasst sich jedoch mit eigenen Messungen an verschiedenen Pilzen. Neben dem Nachweis gesicherter Unterschiede der Sporenmasse verschiedener Individuen derselben Art werden vor allem Korrelationen zwischen Länge, Dicke, Volumen und Form der Sporen, als auch zwischen diesen Grössen und dem Hutdurchmesser einerseits und dem Entwicklungsgrad der Fruchtkörper andererseits untersucht.

Material und Methoden

Alle Pilze wuchsen in der Natur. Die Sporen wurden nach verschiedenen Vorgehen geerntet:

— abgeschnittene Hüte wurden auf gläsernen Objektträgern unter einer Glasglocke aufgestellt,

— ganze Pilze wurden mit ihrem Substrat in eine feuchte Kammer im Laboratorium verpflanzt, wo die Sporen auf Objektträgern aufgefangen wurden,

— Auffangen der Sporen auf unterlegten Objektträgern am natürlichen Standort. Während der Zeit der Sporenernte (gewöhnlich 1 Stunde) wurden die Pilze durch eine weite Plastic-Haube vor dem Wind geschützt, da sonst kein befriedigendes Sporenpulver erhalten werden konnte. Die Umgebung der Pilze wurde regelmässig begossen, um eine hohe Feuchtigkeit zu garantieren.

Aus jedem Sporenpulver wurden 25 Sporen mit Hilfe eines Zeichentubus bei 4000-facher Vergrößerung gezeichnet und anschliessend auf 0,5 mm genau gemessen, was auf 0,1 μm gerundete Werte der Dimensionen ergab. Diese Genauigkeit ist nicht übertrieben und gut reproduzierbar, denn das Erkennungsvermögen des Lichtmikroskopes für scharfe Grenzen liegt weit unter dem Auflösungsvermögen (FRANÇON 1967). Falls Schwierigkeiten durch Strömungsbewegungen auftraten wurden mit Agar überzogene Objektträger verwendet. Das Volumen wurde annäherungsweise als Rotationsellipsoid berechnet. Vergleiche mit besser angepassten Formen (Rotations-Ovoid oder zusammengesetzte Formeln für die Sporen von *Marasmius oreades*) zeigten, dass die komplexeren und länger dauernden Berechnungen des Volumens nur geringfügige und durchaus vernachlässigbare Unterschiede ergaben. Die Form wurde als Quotient Länge : Dicke ausgedrückt.

Die mathematischen und statistischen Methoden folgen den Angaben in den Documenta Geigy (1960) und in SNEDECOR und COCHRAN (1967). Die umfangreichen Berechnungen wurden durch den Tischcomputer CompuCorp Statistician 445 ermöglicht.

Die Nomenklatur der Pilze folgt SINGER 1975.

I. Analysen älterer Angaben in der Literatur

BULLER (1909) mass je 100 Sporen aus drei verschiedenen Sporenpulvern von „*Amanitopsis vaginata*“ Für einen Pilz (seine Nummer III) gab er sämtliche Messungen und den Mittelwert, für die beiden andern nur die Mittelwerte an. Unter der vernünftigen Annahme dass Verteilungsmodus und Streuung bei allen drei Pilzen ähnlich sind, können BULLER's Resultate mit modernen Verfahren bearbeitet werden.

Die 100 für BULLER's Sporenpulver Nummer III veröffentlichten Messungen erlauben auf Normalverteilung zu prüfen sowie die Streuung zu berechnen. Die erhaltenen Werte sind:

Streuung $s =$	0,750
Schiefe der Verteilung:	0,248
deren Streuung:	0,244
Kurtosis:	-0,037
deren Streuung:	0,489
Abweichung von der Normalverteilung	
Chi-Quadrat:	3,427
dessen Freiheitsgrad:	5

Die Abweichungen von der theoretischen Normalverteilung erscheinen im Vergleich zu deren Streuung als trivial und zufällig. Der kleine Chi-Quadrat-Wert bestätigt, dass die Grössenverteilung der Sporen als normal (im Sinne der mathematischen Statistik) betrachtet werden darf.

Wenn nun vorausgesetzt wird, dass BULLER's Sporenpulver I und II ebenfalls normalverteilt sind, kann unter Annahme einer bestimmten Streuung geprüft werden, ob die drei Bullerschen Mittelwerte nur zufällig oder gesichert verschieden sind. Die Tabelle 1 zeigt, dass alle Unterschiede gesichert sind.

Tabelle 1

Statistische Auswertung von Bullers Angaben für Sporen von „*Amanitopsis vaginata*“ (BULLER 1909, p. 161/162)

Mittelwerte	Differenz	angenommen Streuung für I und II			
		$s = 0,75$		$s = 1,50$	
		t	P	t	P
I: 10,19					
II: 10,87	0,68	6,411	<0,001	3,205	<0,002
II: 10,87					
III: 11,65	0,78	7,353	<0,001	4,651	<0,001
I: 10,19					
III: 11,65	1,46	13,765	<0,001	8,705	<0,001

Leider wissen wir nicht, ob die drei Bullerschen Scheidenstreiflinge wirklich vergleichbar sind: die damalige „*Amanitopsis vaginata*“ stellt nach heutigem Artbegriff mehrere Arten dar; und wir wissen nicht, in welchen Entwicklungsstadien sich die drei Pilze befanden. Dieser Zustand ändert aber nur wenig an den folgenden Folgerungen: Es ist natürlich nur eine Frage der Streuung s und der Anzahl der Messungen n , wie feine Unterschiede zweier Mittelwerte statistisch gesichert

werden können. Je kleiner s und je grösser n , desto kleinere Unterschiede werden erfasst. Dies führt uns direkt zu den Fragen

a) welche Unterschiede haben einen biologischen oder taxonomischen Sinn?

b) wie viele Messungen sind nötig um sinnvolle Unterschiede zu erkennen?

Als nächstes sollen einige Angaben aus der umfangreichen Arbeit HANNA's (1926) mit *Coprinus sterquilinus* FR. weiter bearbeitet werden. Es soll an dieser Stelle geschätzt werden, wie gross die Wahrscheinlichkeit ist, nach 100 Messungen zwei gesichert verschiedene Mittelwerte für die Sporenlänge dieses Pilzes zu erhalten. Da HANNA weder seine 100 Messungen, noch die Streuung angibt, wohl aber die Variationsbreite, wurde s aus dieser und der Anzahl Messungen nach SNEDECOR und COCHRAN (1967) geschätzt (Tabelle 2).

Tabelle 2

Vergleich von Mittelwert und Variationsbreite der Sporenlänge von 5 verschiedenen Fruchtkörpern von *Coprinus sterquilinus* (HANNA 1926)

Pilz	nach HANNA (1926)		Unsere Schätzungen		
	Mittelwert aus 100 Sporen	Variationsbreite	Streuung	$t_{\text{indep.}}$	P
1	19,9	17,7—21,9	0,84	9,081	0,001*)
2	18,7	16,3—21,4	1,02	0	—
3	18,7	13,5—21,4	1,58	12,707	0,001*)
4	16,1	13,0—19,5	1,30	1,087	0,278
5	15,9	11,6—18,1	1,30		

*) = gesicherter Unterschied.

Da in der Tabelle 2 die Sporenlängen nach abnehmenden Werten geordnet sind, kann leicht die Anzahl der gesicherten Unterschiede aller möglichen Kombinationen abgezählt werden. Es ergibt, dass alle Unterschiede mit Ausnahme von 4/5 und natürlich 2/3 gesichert sind. Dies sind nur zwei nicht signifikante Unterschiede auf 10 mögliche Vergleiche, was einer Erwartung von 80% entspricht, mit welcher verschiedene Sporenlängen zwischen zwei wilden Fruchtkörpern von *Coprinus sterquilinus* gefunden werden können. Dies ist ein überraschend hoher Wert, natürlich bedingt durch die relativ grosse Anzahl der Messungen, welche schon kleine Unterschiede als statistisch gesichert erscheinen lassen. In der Tat ist der kleinste gesicherte Unterschied bei einer mittleren Streuung von 1,21 (gemittelt aus allen ge-

schätzten Streuungen der Tabelle 2) und bei 100 Messungen ziemlich genau $1/3 \mu\text{m}$.

In einer vergleichenden taxonomischen Studie über die beiden nahe verwandten Pilze *Tricholoma matsutake* (ITO et IMAI) SING. und *Tricholoma ponderosum* (PECK) SING. haben ZELLER und TOGASHI (1934) Sporenmasse von je vier wild gewachsenen Individuen veröffentlicht. Trotz der kleinen Zahl der verglichenen Fruchtkörper kommen Unterschiede der Sporenlänge zum Vorschein, die über den blossen Zufall hinausgehen (Tabelle 3).

Tabelle 3

Vergleich der Mittelwerte der Sporenlänge von je vier verschiedenen Fruchtkörpern von *Tricholoma matsutake* und *Tr. ponderosum* (nach ZELLER und TOGASHI 1934, mit eingefügten statistischen Analysen)

Mittel	<i>Tricholoma matsutake</i> n = je 100 Sporen			P	<i>Tricholoma ponderosum</i> n = je 100 Sporen		
	Streuung	$t_{\text{indep.}}$			Mittel	Streuung	$t_{\text{indep.}}$
5,20	0,52	2,015	0,045	4,93	0,51	2,969	0,003
5,36	0,60	4,899	0,001	5,14	0,49	1,975	0,049
5,85	0,80	0,402	0,688	5,29	0,58	0,129	0,897
5,90	0,95			5,30	0,51		

Der Anteil signifikant verschiedener Mittelwerte in allen möglichen Kombinationen lässt sich leicht abzählen. Er beträgt 67% für *Tricholoma matsutake* und 50% für *Tricholoma ponderosum*.

Auch bei diesen Arten treffen wir hohe Wahrscheinlichkeiten für über den blossen Zufall hinausgehende Unterschiede. Es liegt auf der Hand, dass diese keine taxonomische Bedeutung haben.

Im folgenden Beispiel soll gezeigt werden, dass gesicherte Unterschiede auch dann häufig sind, wenn nur wenige Sporen ausgemessen werden. TANGHE und SIMONS (1973) veröffentlichten Mittelwerte und Variationsbreiten für Sporen von 7 nordamerikanischen und 6 europäischen Fruchtkörpern von *Amanita phalloides*. Die dazu gehörenden Streuungen wurden wiederum nach SNEDECOR und COCHRAN (1967) aus Variationsbreiten und Anzahl Messungen geschätzt. Die Tabellen 4, 5 und 6 zeigen die Ausgangswerte und Resultate der statistischen Verarbeitung. Daraus geht hervor, dass trotz nur wenigen Messungen (12 Sporen pro Pilz) die statistisch gesicherten Unterschiede häufig sind. Für das nordamerikanische, als auch für das europäische Material sind dies 67% aller möglichen Vergleiche. Damit wurde gezeigt, dass auch wenige, in diesem Beispiel 12, Sporenmessungen ausreichen, um gesicherte Unterschiede mit einer grossen Wahrscheinlichkeit zu finden.

Tabelle 4

Mittlere Sporenlänge, Variationsbreite und geschätzte Streuung von 13 verschiedenen Fruchtkörpern von *Amanita phalloides* (nach TANGHE und SIMONS, 1973, ergänzt)

	Pilz	mittlere Sporenlänge	Variationsbreite	Streuung
Nordamerika	1	7,0	6,5—7,4	0,30
	2	7,9	7,4—8,4	0,33
	3	8,4	7,9—8,8	0,30
	4	8,4	7,3—8,9	0,53
	5	8,5	8,2—9,2	0,33
	6	8,5	7,7—9,4	0,57
	7	8,8	8,5—9,6	0,37
Europa	1	7,4	7,1—7,7	0,20
	2	7,5	6,8—8,5	0,57
	3	7,7	7,3—8,3	0,33
	4	7,9	7,2—9,6	0,80
	5	8,7	7,4—9,6	0,73
	6	8,9	7,1—9,6	0,83

Tabelle 5

t-Teste zur Beurteilung der Unterschiede der Sporenlängen im nordamerikanischen Material von *Amanita phalloides*, aus Tabelle 4

Pilz	1	2	3	4	5	6
2	6,99					
3	11,43	3,88				
4	7,96	2,27	0			
5	11,65	4,45	0,78	0,55		
6	8,07	3,16	0,54	0,45	0	
7	13,09	6,29	2,91	2,14	2,10	1,53

Im Fettdruck sind die statistisch signifikanten Unterschiede ($P = 0,05$)
 Von den 21 möglichen Vergleichen sind deren 14 signifikant = 67%

Tabelle 6

t-Teste zur Beurteilung der Unterschiede der Sporenlänge im europäischen Material von *Amanita phalloides*, aus Tabelle 4

Pilz	1	2	3	4	5
2	0,57				
3	2,69	1,05			
4	2,10	1,41	0,80		
5	5,95	4,49	4,32	2,56	
6	6,09	4,82	5,65	3,00	0,63

Im Fettdruck sind die signifikanten Unterschiede ($P = 0,05$)
 Von den 15 möglichen Vergleichen sind deren 10 signifikant = 67%

Auf ähnliche Weise kann gezeigt werden, dass bei *Panaeolus campanulatus* 93% der Unterschiede gesichert sind (PARKER-RHODES 1949), bei *Panaeolus papilionaceus* 100%, und bei *Coprinus cinereus* 81% (NEČÁSEK 1950) des untersuchten Materiales.

Es wurde nach den Ursachen dieser Unterschiede gesucht, wobei die folgenden Faktoren geprüft wurden:

— genetisch bedingte Unterschiede (HANNA 1926, PARKER-RHODES 1949).

— Entwicklungsphase des Fruchtkörpers (TOGASHI und ODA 1934, HANNA 1926, DUNCAN und GALBRAITH 1973, WATLING 1975).

— Abhängigkeit von der Grösse des Fruchtkörpers (HANNA 1926, NEČÁSEK 1950).

— äussere Einflüsse, in Kulturen oder am natürlichen Standort (NEČÁSEK 1950, WILLIAMS 1959).

Einige Beispiele zeigen, dass gewisse Korrelationen vorkommen. Werden von ein und demselben Fruchtkörper zu verschiedenen Zeiten Sporen gesammelt, so kann oft festgestellt werden, dass deren Dimensionen stetig ändern, wobei die Änderungen oft gesetzmässigen Charakter haben. Es darf aber nicht vergessen werden, dass in einigen Experimenten die Sporendimensionen konstant bleiben, während in andern Versuchen dieselbe Pilzart variable Sporen zeigt. Es liegt auf der Hand, dieses Verhalten auf die unterschiedlichen Versuchsbedingungen zurückzuführen, wie dies im folgenden Beispiele der Fall ist (Tabelle 7).

Die Auswertung der Angaben von TOGASHI und ODA kann auf die Form und das Volumen ausgedehnt werden. Es ergibt sich, dass die Sporen zunehmend länger werden und eine Tendenz zur Abnahme des Volumens zeigen (Tabelle 8). Die Formveränderung ist statistisch gesichert, die Volumenveränderung hingegen nicht, da die Streuungen nicht geschätzt werden konnten.

Unter Weglassung des 3. Tages kann für den Form-Quotienten eine lineare und signifikante Zunahme angenommen werden.

Die Zusammenfassung der Auswertung der Angaben von TOGASHI und ODA (1934) ergibt also, dass in abgeschnittenen und auf Glasplatten gelegten Hüten die Sporen zunehmend länger und wahrscheinlich auch kleiner werden, während sie in unverletzten Pilzen (Kulturen) über die gleiche Beobachtungsperiode konstant bleiben.

TOGASHI und ODA (1934) haben auch über die Sporendimensionen von *Naematoloma sublateralitium* Angaben gemacht, die sich zur weiteren Auswertung anbieten. Dabei zeigt es sich, dass sowohl die

Tabelle 7

Sporendimensionen, gemittelt aus je 100 Sporen, in vier aufeinanderfolgenden Sporenpulvern von *Flammulina velutipes* (TOGASHI und ODA, 1934). Linearitätstest: maximal zulässiger F-Wert = 3,02 (P = 0,05)

		nach TOGASHI und ODA		eigene Berechnungen			
		Tag	Mittel	Streuung	Linearitäts-Test	Vertrauensgrenzen	Interpretation
					Regressionskoeff.		
abgeschnittener Hut auf Glas	Länge	1	6,19	0,71	vom 2.-4. Tag:		
		2	6,03	0,70	F = 0,589	0,064	linear
		3	6,11	0,64		0,225	zunehmend
		4	6,32	0,73			
	Dicke	1	2,30	0,45	vom 1.-4. Tag:		
		2	2,21	0,40	F = 0,920	-0,065	linear
		3	2,25	0,43		-0,004	abnehmend
		4	2,17	0,37			
intakte Pilze in Kultur	Länge	1	6,36	0,74	vom 1.-4. Tag:		
		2	6,25	0,79	F = 1,780	-0,049	linear
		3	6,22	0,76		0,061	konstant
		4	6,39	0,73			
	Dicke	1	2,18	0,38	vom 1.-4. Tag:		
		2	2,28	0,44	F = 2,602	-0,047	linear
		3	2,18	0,38		0,009	konstant
		4	2,15	0,35			

Tabelle 8

Veränderung der Form und des Volumens der Sporen aus der Tabelle 7

Tag	Form		mittl. Volumen	Linearitäts-Test unter Weglassung des 3. Tages
	Mittel	Streuung		
1	2,69	0,26	16,8	F = 1,852
2	2,73	0,20	15,2	Vertrauensgrenzen des
(3)	(2,72)	(0,27)	(15,4)	Regressionskoeffizienten
4	2,91	0,18	14,5	0,059—0,092

Linearitätstest: maximal zulässiger F-Wert = 3,03 (P = 0,05)

Länge, als auch die Dicke der Sporen linear abnehmen, die Form hingegen konstant bleibt. Auch hier wurden die Sporen aus abgeschnittenen und auf Glas gelegten Hüten gesammelt. Die Abnahme des Volumens ist in diesem Falle eindeutig. Die Resultate sind in der Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 9

Veränderung der Sporendimensionen in vier aufeinander folgenden Sporenpulvern aus einem einzigen, abgeschnittenen und auf Glas gelegten Hut von *Naematoloma sublateritium* (nach TOGASHI und ODA, 1934, ergänzt)

Tag	Länge		Dicke		Form	Volumen
	Mittel	Streuung	Mittel	Streuung		
1	5,01	0,67	3,29	0,45	1,52	28,3
2	4,95	0,73	3,21	0,40	1,54	26,7
3	4,86	0,68	3,16	0,37	1,53	25,4
4	4,78	0,65	3,14	0,35	1,52	24,6
F	0,019		0,289			
VG	-0,027		-0,022			
	-0,128		-0,078			

F: Linearitäts-Test, maximal zulässiger F-Wert = 3,03 (P = 0,05)

VG: Vertrauensgrenzen für den Regressionskoeffizienten

Dass sowohl Länge und Dicke, und damit auch das Volumen der Basidiosporen auch unter natürlicheren Verhältnissen im Verlaufe der Fruktifikationsperiode ändern können, zeigte WATLING (1975) anhand von Kulturen von *Conocybe farinacea*. Aus seiner graphischen Darstellung wurden die Dimensionen abgelesen und daraus Form und Volumen bestimmt. Die Resultate sind in der Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10

Sporendimensionen in aufeinanderfolgenden Sporenpulvern aus einem einzigen Hut von *Conocybe farinacea* in Kultur. Nach WATLING, 1975, ergänzt

Alter des Fruchtkörpers Stunden	Länge	Dicke	Form	Volumen
2	13,1	8,1	1,68	496,9
3	13,3	7,9	1,68	439,7
5	13,0	8,1	1,61	446,2
7	12,8	7,4	1,72	372,3
9	12,7	7,5	1,69	372,0
12	11,9	6,8	1,76	289,0
22	11,4	7,0	1,63	288,2
23	11,5	6,8	1,70	277,8
24	11,0	6,7	1,65	255,9
26	11,0	6,5	1,69	243,0
Korrelationskoeff. signifikant (P = 0,01)	-0,979 +	-0,908 +	-0,068 -	-0,930 +

Im Laufe der 26-stündigen Fruktifikationsperiode hat somit das Volumen um die Hälfte abgenommen, die Form aber hat sich nicht verändert (die Aussage von Watling, dass sich die Form verändert beruht auf dem optischen Bild seiner graphischen Darstellung, in welcher die Abnahme der Dicke von derjenigen der Länge sichtbar verschieden ist. Dies ist aber eine logische Folge, wenn diese Dimensionen so verändern, dass ihr Quotient konstant bleibt).

Besondere Beachtung unter den frühen numerischen Analysen verdient die Arbeit von CORNER (1947), wo zum ersten Mal Korrelationen zwischen der Länge und der Dicke der Sporen beschrieben werden. Die Beziehung wird in allgemeiner Form durch (1) dargestellt:

$$(1) \quad L = D (a + bL)$$

Corner verlangt viele Sporenmessungen und es ist mühsam, a und b zu bestimmen. Dies mag der Grund sein, weshalb seine Methode keine weitere Verbreitung gefunden hat. Wir werden aber in der Folge auf Korrelationen zwischen Sporendimensionen zurückkommen.

Zum Schluss dieses Abschnittes soll noch erwähnt werden, dass einer der ersten, der auf die Variabilität der Sporendimensionen hingewiesen hatte, GILBERT ist. In seinem Buch (1927) zog er aus seinen Messungen verschiedene Folgerungen, die zum Teil banal oder unvollständig oder zu eng gefasst sind, zum Teil aber auch durch ihre Wichtigkeit ins Auge springen. Hier soll nur GILBERT's Aussage 5° wiederholt werden: „La moyenne générale est différente suivant le degré d'évolution du carpophore. Diverses sporées obtenues successivement d'un même carpophore lorsqu'il est jeune, adult, âgé, donneraient une moyenne générale différente. La moyenne est en dépendance également des conditions d'humidité du milieu“

Diese Aussage stützt sich auf drei Mittelwerte, erhalten aus je 50 Messungen, und es ist eine Ironie der Geschichte, dass alle drei Mittelwerte falsch berechnet wurden und Unterschiede vortäuschen, die in Wirklichkeit gar nicht vorhanden sind!

Etwas weiter in seinem Text verlangt Gilbert eine grosse Anzahl von Messungen um eine gewisse Genauigkeit der Aussagen zu erhalten. Wir haben bereits gesehen (Beispiel der Tabellen 4—6), dass dies nicht zutrifft. Zu Beginn des nächsten Abschnittes, wo eigene, neue Messungen bearbeitet werden, wird auf die Frage der Anzahl der nötigen Messungen eingegangen.

II. Eigene Messungen und deren Auswertung

1. Prüfung auf Normalverteilung

Damit die statistischen Verfahren auf die Messungen angewendet werden dürfen müssen die Längen und Dicken innerhalb einer Messserie (Population) statistisch normal verteilt sein. Bereits im ersten

Tabelle 11

Prüfung auf Normalverteilung der Sporendimensionen

Pilz	Sporen n	Schiefheit g ¹ s	Kurtosis g ² s	Chi-Quadrat X ² f	Interpretation
<i>Agaricus</i> <i>cf. campester</i>					
Länge	121	0,181	0,222	9,853	3 normal verteilt
Dicke	124	0,334	0,219	3,521	2 normal verteilt
<i>Amantia</i> <i>solitaria</i>					
Länge	150	0,077	0,200	5,049	3 normal verteilt
Dicke	150	0,258	0,200	3,671	3 normal verteilt
<i>Galerina</i> <i>stylifera</i>					
		*) unter Weglassung von 12 aberranten Sporen			
Länge	200	-0,059	0,173	0,518	2 normal verteilt
Dicke	188*)	0,037	0,178	1,575	2 normal verteilt
<i>Hebeloma</i> <i>leucosarc</i>					
		*) einige gleich große Stichproben nicht normal verteilt			
Länge	75	-0,238	0,282	5,082	3 normal verteilt
Dicke	25*)	0,241	0,489	2,804	3 normal verteilt
<i>Marasmius</i> <i>oreades</i>					
Länge	225	0,240	0,163	4,725	5 normal verteilt
Dicke	225	-0,300	0,163	6,638	4 normal verteilt

<i>Naematoloma capnoides</i>									
Länge	103	-0,062	0,241	0,024	0,482	2,613	4	normal verteilt	
Dicke	100	0,168	0,244	-0,145	0,489	2,294	3	normal verteilt	
*) 5 verschiedene Sporenpulver gaben ähnliche Resultate									
<i>Naematoloma dispersum</i>									
Länge*)	25	-0,245	0,489	0,726	0,979	4,449	3	normal verteilt	
Dicke	200	-0,072	0,173	-0,606	0,346	5,031	2	normal verteilt	
<i>Naematoloma fasciculare</i>									
Länge	324	-0,216	0,136	-0,437	0,272	6,866	5	normal verteilt	
Dicke	323	-0,036	0,136	-0,297	0,272	1,552	4	normal verteilt	
*) unter Weglassung von 4 aberranten Sporen									
<i>Panaeolus sphinctrinus</i>									
Länge	100	0,344	0,244	0,558	0,489	5,591	4	normal verteilt	
Dicke	96*)	-0,212	0,250	-0,282	0,500	2,055	2	normal verteilt	
<i>Panus rudis</i>									
Länge	75	0,199	0,282	-0,488	0,565	6,678	4	normal verteilt	
Dicke	75	-0,323	0,282	0,667	0,565	4,618	3	normal verteilt	

g^1 = Wert der Schiefeit, s deren Streuung

g^2 = Wert der Kurtosis, s deren Streuung

X^2 = Wert des Chi-Quadrates, f dessen Freiheitsgrade

Abschnitt wurde gezeigt, dass BULLER's Messungen (1909) dieser Anforderung genügen. Demgegenüber konnte HANNA (1926) für die Sporen von *Coprinus sterquilinus* keine Normalverteilung finden, wie er sagt „notwithstanding the large number of spores measured“ HANNA versuchte die Sporen von sehr unterschiedlichen Populationen in eine einzige Verteilung zu bringen, was notgedrungen eine nicht-normale Kurve ergibt. Im Lichte meiner Erfahrungen bin ich geneigt zu sagen, dass Hanna „gerade wegen“ und nicht „trotz der“ hohen Zahl (über 5000 Sporen) von Messungen keine Normalverteilung fand.

In der Tabelle 11 sind die Verteilungs-Charakteristika der Länge und Dicken der Sporen von 10 untersuchten Pilzen angegeben. Einige Erläuterungen dazu sollen die Interpretation erleichtern. Die Verteilung darf als symmetrisch betrachtet werden, wenn der Wert g_1 (Schiefheit) die 4-fache Streuung nicht erreicht, was überall der Fall ist. Ebenso wird die Kurtosis (Verkürzung oder Überhöhung der Kurve) beurteilt. Der Chi-Quadrat-Wert bleibt immer unter den jeweiligen kritischen Tabellenwerten für $P = 0,05$. Alle Verteilungen dürfen daher als normal angenommen werden, womit alle folgenden Auswertungen berechtigt sind.

Bei *Galerina stylifera* und *Panaeolus sphinctrinus* wurden einige Sporen weggelassen. Es handelt sich durchaus um wenige Sporen in den Extrembereichen der Verteilung. Der Rest ist dann normal. In beiden Fällen darf die Annahme gelten, dass in einer normalverteilten Population einige aberrante Sporen vorkommen (4–6%).

Bei *Naematoloma dispersum* ist jede einzelne Verteilung der Sporenlänge normal, ähnlich dem gegebenen Beispiel. Ihre Summen aber sind nicht normal. Wir begegnen hier derselben Situation, wie sie HANNA (1926) bei *Coprinus sterquilinus* fand.

Die einzige Ausnahme von der Normalverteilung wurde bei den Sporendicken von *Hebeloma leucosarx* getroffen. Die Abweichungen sind jedoch nicht sehr gross, wenn auch signifikant (bei $P = 0,05$). Die Verteilungen sind weder schief noch kurz, aber die Chi-Quadrat-Werte sind zu gross. Sie können als „quasi-normal“ angesehen werden.

2. Anzahl nötiger Messungen zum Vergleich zweier Populationen

In der älteren Literatur findet man die Auffassung, eine sehr grosse Zahl von Messungen seien nötig, um eine genügende Präzision zu erhalten (z. B. BULLER 1909, HANNA 1926, GILBERT 1927, CORNER 1946). Was aber wirklich nötig ist, sind nicht enge Vertrauensgrenzen für die Mittelwerte (= hohe Präzision), sondern die Toleranzgrenzen der Populationen und eine Schätzung der Fehlerwahrscheinlichkeit einer Aussage. Moderne mathematische Methoden erlauben die Berechnung dieser Grössen aus relativ wenigen Messungen.

Die Anzahl der nötigen Messungen kann unter gewissen vereinfachenden Annahmen durch eine Umkehrung des t-Testes und durch Iterationen ermittelt werden. Wenn die Streuungen der beiden verglichenen Populationen gleich angenommen werden und die Anzahl der Messungen in beiden Populationen gleich gross sein sollen, reduziert die Formel für t zu (2):

$$(2) \quad t^2 = \frac{D^2}{2s^2} \cdot n$$

wobei D = Differenz der beiden verglichenen Mittelwerte
s = Streuung
n = Anzahl der Messungen

Es scheint einfach, aus (2) n zu berechnen, was aber nicht direkt geht, da t eine Funktion von n ist.

Demzufolge wird aus gegebenem D und s zunächst $\frac{D^2}{2s^2}$ berechnet.

Dieser Wert wird mit n multipliziert. Nach dem Wurzelziehen wird der so erhaltene t-Wert mit dem Tabellenwert t für $2n-2$ Freiheitsgrade und $P = 0,05$ verglichen. Die Iteration besteht darin, dass n so lange verändert wird, bis P 0,05 wird. Mit Hilfe eines Tischcomputers kann die Annäherung in kurzer Zeit erfolgen.

Die auf diese Weise erhaltenen und in einigen Test-Anwendungen geprüften n sind Minimalwerte. Sie geben an, wie viele Messungen minimal nötig sind, um D bei gegebenem s auf Signifikanz prüfen zu können. In der Tabelle 12 sind diese Minimalwerte zusammengestellt.

Tabelle 12

Anzahl nötiger Messungen zur signifikanten Unterscheidung zweier Populationen, nach der Differenz ihrer Mittelwerte und ihrer Streuung

D	s = 0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
0,2	4	9	19	32	50	71	123	192
0,3	2	5	9	15	23	32	56	87
0,4	—	4	6	9	14	19	32	50
0,5	—	3	5	7	9	13	21	32
0,6	—	3	4	5	7	9	15	23
0,8	—	2	3	4	5	6	9	14
1,0	—	—	2	3	4	5	7	9

Die Streuung kann annäherungsweise aus der Variationsbreite durch Division durch 4 erhalten werden.

Beispiel 1: Population 1: 7—9 μm
Variationsbreite = 2 μm , daraus s = 0,5
Mittelwert = 8 μm

Population 2: 8—10 μm

Variationsbreite = 2 μm , daraus $s = 0,5$

Mittelwert = 9 μm

Differenz der Mittelwerte = 1 μm , $s = 0,5$

Aus der Tabelle 12 entnehmen wir, dass mindestens je 4 Messungen nötig sind, um diesen Unterschied mathematisch erkennen zu können.

Beispiel 2: TANGHE und SIMONS (1973) massen je 12 Sporen von *Amanita phalloides* pro Sporenpulver aus (vgl. Tabelle 4). Wie gross ist das mittlere mathematische Auflösungsvermögen, wenn die mittlere Streuung 0,48 beträgt?

Aus der Tabelle 12 entnehmen wir aus der Kolonne $s = 0,5$ als beste Annäherung 0,4 μm .

Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Streuungen der Länge um 0,5 μm , selten bis 0,8 μm liegen, die der Dicken sind etwas geringer.

Angesichts der Tatsache, dass die Sporendimensionen veränderlich sind, ist eine hohe mathematische Auflösung für taxonomische Zwecke fehl am Platz. Werden 25 Sporen ausgemessen, erreicht man ein mathematisches Auflösungsvermögen in der Grössenordnung von $1/3 \mu\text{m}$, bei 10 Messungen von $1/2 \mu\text{m}$. Dies ist sowohl für taxonomische, als auch für biometrische Zwecke genügend.

In der Folge wurden 25 Messungen gemacht, da in diesem Falle die Toleranzgrenzen zur Erfassung von 95% der Population ziemlich genau dem Mittelwert $\pm 2s$ betragen. So wird die Variationsbreite nicht durch Erraten (wie dies meist geschieht), sondern durch statistische Berechnung festgelegt. Die 5% zu kleinen oder zu grossen Sporen dürfen im statistischen Sinne als aberrant gelten.

3. Korrelationen zwischen den Sporendimensionen

Die Arbeit von CORNER (1947) legte den Gedanken nahe, die Korrelationen zwischen der Länge und der Dicke der Sporen zu prüfen, und in Erweiterung der Prüfung wurden auch alle 6 möglichen Korrelationen zwischen den 4 charakteristischen Grössen der Spore (Länge, Dicke, Form und Volumen) erfasst.

Für jede einzelne Berechnung wurden 25 Messungen berücksichtigt, und die in der Tabelle 13 zusammengestellten Koeffizienten stellen Mittelwerte aus mehreren solchen Berechnungen dar, deren Anzahl in der Klammer beim Pilznamen steht.

Die Tabelle lässt erkennen, dass die Kolonnen der Korrelations-Koeffizienten für alle untersuchten Pilze einander recht ähnlich sind. Das heisst, dass die 6 Korrelationen einem allgemeinen Schema folgen, das in der Tabelle 14 dargestellt ist. Die Signifikanz-Schwellen geben an, wie gross ein Koeffizient sein muss, um gesichert von Null verschieden zu sein.

Tabelle 13

Korrelationen zwischen Länge, Dicke, Form und Volumen der Sporen

	<i>Agaricus cf. campestris</i> (6)		<i>Amanita solitaria</i> (6)		<i>Galerina stygifera</i> (7)	
	r	s	r	s	r	s
Länge — Dicke	0,452	0,160	0,423	0,129		0,211
Länge — Form	0,356	0,167	0,538	0,161	0,499	0,287
Volumen — Form	-0,411	0,116	-0,178	0,188	-0,232	0,265
Dicke — Form	-0,659	0,082	-0,520	0,098	-0,579	0,140
Länge — Volumen	0,692	0,097	0,721	0,056	0,693	0,100
Dicke — Volumen	0,954	0,015	0,928	0,036	0,918	0,050

	<i>Hebeloma leucosarx</i> (16)		<i>Marasmius oreades</i> (15)		<i>Naematoloma capnoides</i> (7)	
	r	s	r	s	r	s
Länge — Dicke	0,566	0,158	0,410	0,191	0,433	0,095
Länge — Form	0,341	0,204	0,574	0,173	0,355	0,103
Volumen — Form	-0,325	0,215	-0,128	0,239	-0,449	0,079
Dicke — Form	-0,550	0,189	-0,481	0,195	-0,679	0,051
Länge — Volumen	0,769	0,105	0,716	0,116	0,659	0,037
Dicke — Volumen	0,958	0,015	0,924	0,031	0,956	0,015

	<i>N. dispersum</i> (5)		<i>N. fasciculare</i> (8)		<i>Panaeolus sphinctr.</i> (4)		<i>Panaeolus rudis</i> (4)	
	r	s	r	s	r	s	r	s
Länge — Dicke	0,377	0,131	0,364	0,217	0,524	0,098	0,330	0,318
Länge — Form	0,431	0,092	0,515	0,204	0,256	0,269	0,752	0,081
Volumen — Form	-0,437	0,202	-0,257	0,270	-0,442	0,284	0,128	0,184
Dicke — Form	-0,688	0,146	-0,572	0,217	-0,659	0,196	-0,349	0,225
Länge — Volumen	0,604	0,177	0,659	0,161	0,725	0,082	0,732	0,176
Dicke — Volumen	0,950	0,014	0,932	0,025	0,963	0,015	0,876	0,047

r = Korrelationskoeffizient s = dessen Steuung;

Signifikanz-Schwellen: r = 0,396 (P = 0,05);

r = 0,505 (P = 0,01);

r = 0,618 (P = 0,001).

Die stärkste Korrelation besteht zwischen der Dicke und dem Volumen einer Spore, die nächst grössere, aber signifikant kleinere, besteht zwischen der Länge und dem Volumen. Es ist hier also ähnlich wie beim erwachsenen Menschen, dessen Gewicht vor allem vom Bauchumfang abhängt.

Die Dicke ist auch mit der Form besser korreliert, als die Länge, aber der Unterschied ist statistisch nicht gesichert.

Die Länge ist nur schwach, aber doch signifikant, mit der Dicke und mit der Form korreliert, und zwischen den beiden Koeffizienten besteht kein gesicherter Unterschied.

Es besteht keine Korrelation zwischen dem Volumen und der Form der Sporen.

Tabelle 14
Mittelwerte der Korrelationen, aus allen Arten

	Mittelwert Streuung		Interpretation
Länge — Dicke	0,423	0,076	schwach, aber von Null verschieden
Länge — Form	0,462	0,144	schwach, aber von Null verschieden
Volumen — Form	-0,273	0,183	nicht signifikant
Dicke — Form	-0,574	0,105	mäßige, von Null verschiedene Korr.
Länge — Volumen	0,697	0,047	gute Korrelation
Dicke — Volumen	0,936	0,026	sehr hohe Korrelation

Signifikanz-Schwellen: $P = 0,05$; $r = 0,396$; $P = 0,01$; $r = 0,505$; $P = 0,001$; $r = 0,618$

4. Konstanz und Variabilität der Sporendimensionen während der Fruktifikationsperiode

Die Regressionen wurden mit dem F-Test auf Linearität geprüft (Documenta Geigy, 1960). Lineare Abschnitte werden in den graphischen Darstellungen mit ihren Vertrauensgrenzen gezeichnet ($P = 0,05$). Der Regressionskoeffizient wurde mit einem t-Test auf Verschiedenheit von Null geprüft. Trifft dies nicht zu, und ist zudem der Abschnitt gesichert linear, wird Konstanz angenommen.

4. 1. Beobachtungen während der ganzen Fruktifikationsperiode

A. *Hebeloma leucosarx* ORTON. (Figur 1)

Fruchtkörper dieses Pilzes erschienen unter Birken in meinem Rasen, wo ihre Entwicklung ungestört verfolgt werden konnte. Gegen den trockenen Nordwind abgeschirmt und durch tägliches Begießen des umliegenden Bodens feucht gehalten, erreichten die Fruchtkörper ein Alter von 2 Wochen. Während dieser Zeit entwickelten sie sich ungestört und kontinuierlich, und jeden Tag konnte während einer Stunde ein Sporenpulver aufgefangen werden. Die Figur 1 zeigt die

Veränderungen der Sporendimensionen vom ersten Aufschirmen bis kurz vor dem Zerfall der Pilze.

In der ersten Hälfte der Entwicklung nahmen die Sporenlänge und die Dicke linear zu, und dementsprechend auch das Volumen. Auch die Form veränderte sich mit der Zeit, und zwar wurden die Sporen zunächst kürzer, dann wieder länger. In der zweiten Hälfte der Entwicklung nahmen Länge, Dicke und Volumen wieder gleichmässig ab.

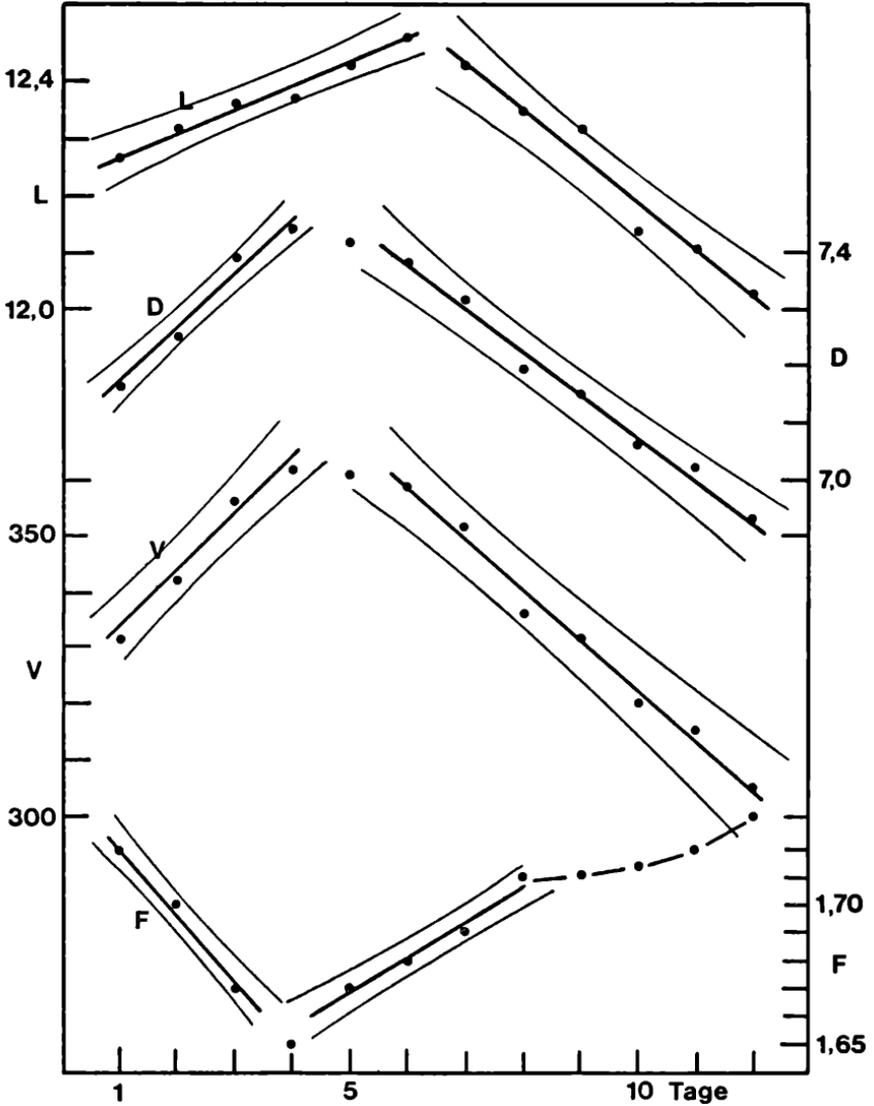


Fig. 1. *Hebeloma leucosarx*, Veränderung der Sporendimensionen während der Fruchtkörperentwicklung am natürlichen Standort

B. *Marasmius oreades* (BOLT. ex FR.) FR. (Figur 2)

Auch dieser Pilz konnte während der ganzen Fruktifikationsperiode am natürlichen Standort beachtet werden. Gegenüber *Hebeloma leucosarx* fallen zwei Unterschiede ins Gewicht: einmal die grosse, plötzliche Abweichung der Sporenlänge am 5. Tag, zum andern die konstante Abnahme der Dicke bis fast zum Schluss der Periode.

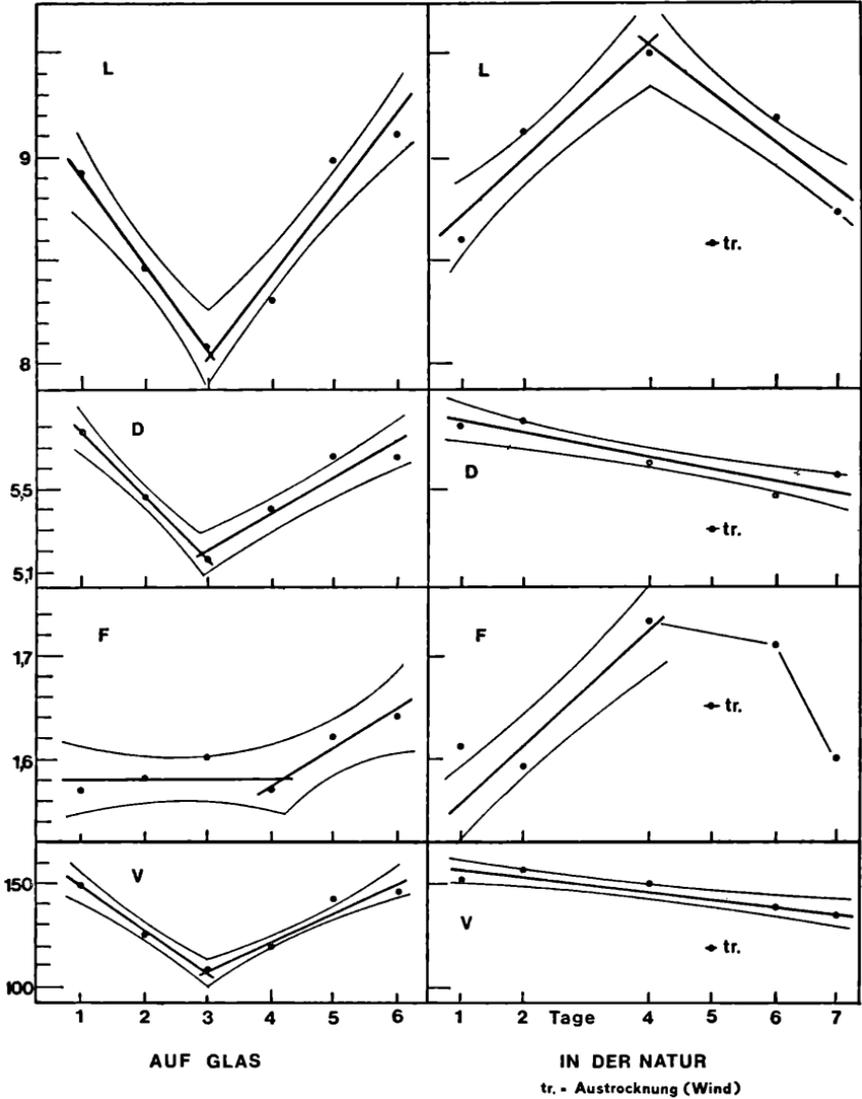


Fig. 2. *Marasmius oreades*, Veränderung der Sporendimensionen während der Fruchtkörperentwicklung am natürlichen Standort und in aufeinanderfolgenden Sporenpulvern eines abgeschnittenen Hutes auf Glas

Ein Windeinbruch am 5. Tag hatte eine starke Trocknung der Pilze zur Folge, was zu einer auffallenden Verkürzung der Länge führte. Der rasch angebrachte Windschutz und das Begießen des Bodens führt den Pilz in seinen normalen Zustand zurück. Dabei ist auffallend, dass diejenige Dimension eingenommen wurde, die der ungestörten Entwicklung entsprach. Wenn der aberrante „Trockenpunkt“ nicht in Betracht gezogen wird, ist die Regression linear.

Da das Volumen stark mit der Dicke korreliert ist, nimmt das Volumen konstant, ab. Diese Abnahme darf über die ganze Periode

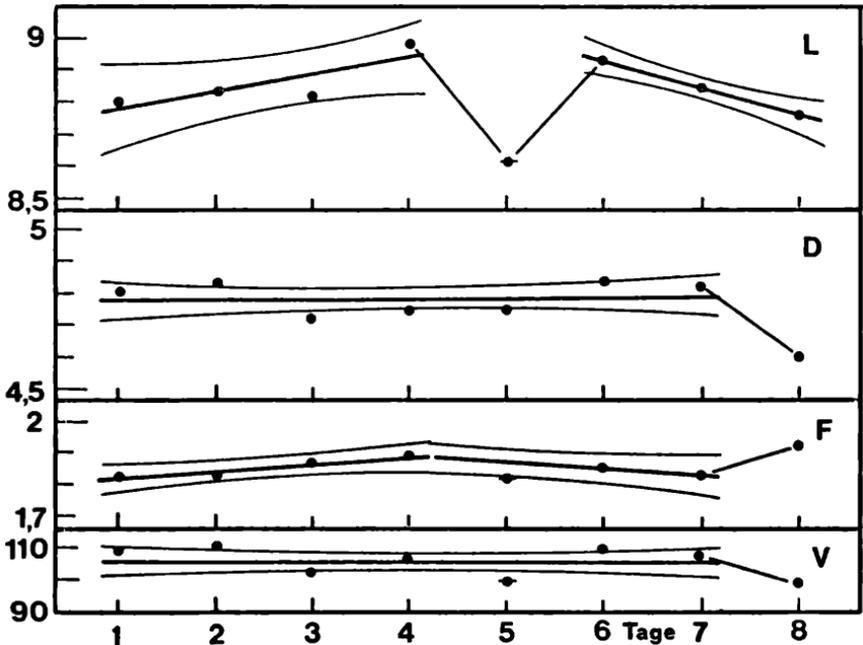


Fig. 3. *Naematoloma dispersum*, Veränderung der Sporendimensionen während der Fruchtkörperentwicklung auf dem natürlichen Substrat in einer feuchten Kammer

hinweg als linear betrachtet werden. Die Form änderte sich im gegenteiligen Sinn als bei *Hebeloma leucosarx*, d. h. die Sporen wurden zunächst immer länger, dann wieder kürzer.

Ganz anders verhielt sich ein Fruchtkörper aus der selben Population, dessen Stiel vom Hut getrennt wurde, und dessen Hut in feuchter Kammer auf einer Glasplatte zum Aussporen gelegt wurde. Während drei Tagen nahmen die Länge und die Dicke, und damit das Volumen, stark ab, während die Form sich nicht veränderte.

Eine starke Abnahme der Dimensionen von Sporen aus abgeschnittenen Hüten wurde schon früher an anderen Pilzen festgestellt,

z. B. bei *Armillariella mellea* und *Pholiota adiposa* (TOGASHI und ODA, 1934), aber nirgends beobachtete man die Normalisierung der Dimensionen, wie sie hier bei *Marasius oreades* gezeigt wurde.

C. *Naematoloma dispersum* KARST. (Figur 3)

Dieser Pilz wurde mitsamt seinem Substrat in eine feuchte Kammer gebracht, wo konstante, hohe Luftfeuchtigkeit und etwa gleichbleibende Temperatur herrschten. Die Sporenlängen nahmen geringfügig, aber signifikant und linear zu, und in der zweiten Hälfte der Entwicklung wieder ab. Am 5. Tag war die Länge brüsk verkürzt, am 6. Tag aber wieder normal. Der auslösende Faktor blieb unbekannt. Auch hier, wie bei *Marasmius oreades*, nahm die wiederhergestellte Länge eine der Entwicklungsphase entsprechende Grösse an, die durch den „Unfall“ am 5. Tag nicht feststellbar beeinflusst wurde.

Die Dicke der Sporen blieb konstant, mit Ausnahme des letzten Tages, an dem auch der Pilz einen sichtlich überalterten Eindruck machte. Sogar der „Unfall“ der Sporenlänge am 5. Tag fand keinen Niederschlag in der Dicke. Da die Dicke mit dem Volumen korreliert ist, verhielten sich diese beiden Grössen gleichsinnig.

D. *Naematoloma capnoides* (FR.) KARST. (Figur 4)

Dieser Pilz wurde wie *Naematoloma dispersum* behandelt, und es wurde erwartet, dass die Entwicklung etwa den gleichen Zeitraum einnehmen würde, was aber nicht der Fall war. Deshalb standen zwischen der 24. und 48. Stunde keine weiteren Sporenpulver zu Messzwecken zur Verfügung. Trotzdem kommt der anfängliche Aufstieg und der anschliessende Abstieg der Länge deutlich zum Ausdruck. Im ganzen verhält sich *N. capnoides* ähnlich wie *N. dispersum*.

4. 2. Beobachtungen während eines Teiles der Fruktifikationsperiode

E. *Agaricus cf. campestris* L. ex FR. (Figur 5)

Dieser Pilz wurde am natürlichen Standort während 5 Tagen beobachtet. Dem Experiment wurde durch eine starke Brise und gänzliche Austrocknung des Pilzes ein Ende gesetzt. Wiederbefeuchtungsversuche blieben erfolglos.

Die Länge, Dicke, Volumen und der Formquotient nahmen stetig zu. Es wäre zu erwarten gewesen, dass bald eine Umkehr eintreten würde, was aber durch das vorzeitige Ende vereitelt wurde.

F. *Galerina stylifera* (ATK.) SMITH et SINGER (Figur 6)

Bereits aufgeschirmte Pilze dieser Art wurden mit dem Substrat in eine feuchte Kammer gebracht. Die Sporen eines kleinen und eines grossen Hutes wurden einmal pro Tag gesammelt.

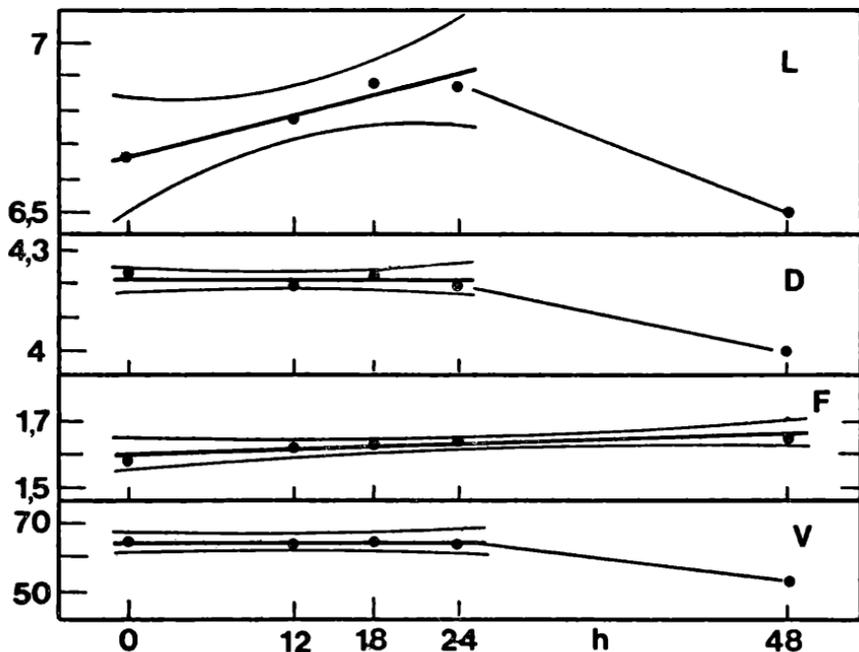


Fig. 4. *Naematoloma capnoides*, Veränderung der Sporendimensionen eines Pilzes in feuchter Kammer. Vorzeitiger Tod des Pilzes verringerte die Beobachtungszeit

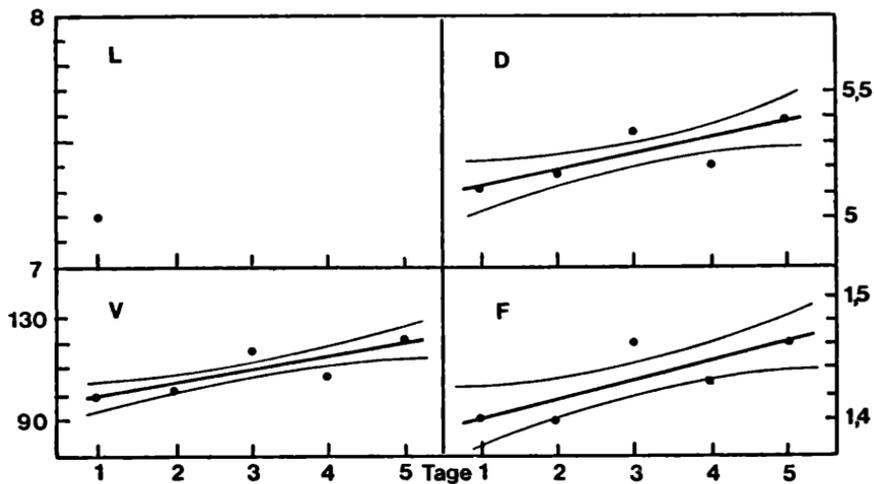


Fig. 5. *Agaricus cf. campestris*, Veränderungen der Sporendimensionen während der Anfangsphase der Entwicklung. Austrocknung durch den Wind verhinderte die Weiterentwicklung. Natürlicher Standort

In beiden Hüten wurde ein „Transplantations-Schock“ festgestellt, der kleine Sporen zur Folge hatte, und dies trotz der Tatsache, dass intakte Pilze mitsamt dem Substrat verpflanzt wurden. Nach dem Sturz pendeln sich die Dimensionen um einen Mittelwert ein, aber bald kann dieses Pendeln statistisch nicht mehr von einer Geraden unterschieden werden.

Trotzdem beide Pilze auf dem gleichen Stück Substrat gemeinsam verpflanzt wurden, reagierten die beiden Pilze etwas verschieden: der

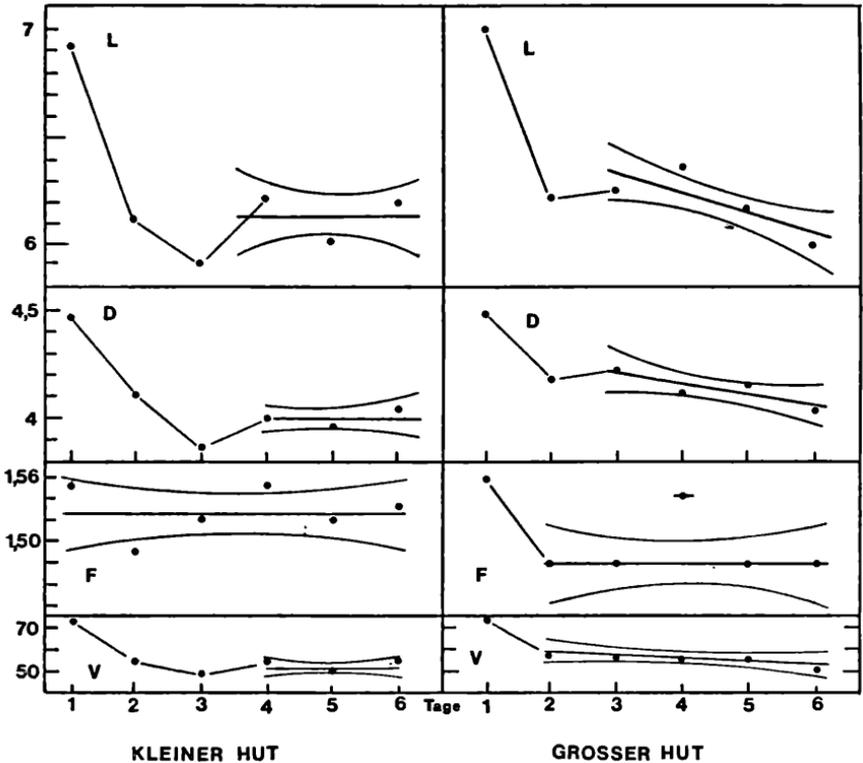


Fig. 6. *Galerina styliifera*, Veränderung der Sporendimensionen von zwei verschieden grossen Pilzen aus der selben Population, auf dem natürlichen Substrat, in feuchter Kammer. Schockwirkung der Verpflanzung verursacht Sporenverkürzung

grosse Hut zeigte einen weit geringeren Schock, der dafür nachhaltiger wirkte (die Dimensionen nehmen stets ab), während beim kleinen Hut der erste Schock stärker, aber auch rascher überwältigt war (die Dimensionen blieben bald konstant). Die Sporenform war zuerst in beiden Pilzen gleich, aber nach der Transplantation in die feuchte Kammer waren die Sporen des grossen Hutes konstant und

signifikant runder, als im kleinen Hut. Aber auch hier treffen wir auf das bereits zweimal gefundene, plötzliche Abweichen von der Regression: am 4. Tag war die Form wieder wie am Anfang des Experimentes, fiel dann aber sogleich wieder auf die Werte der Regressionsgeraden zurück. Beim Betrachten der Figur 6 gewinnt man den Eindruck, die Sporen aus dem grossen Hut seien immer etwas grösser, als die aus dem kleinen Hut. Dieser Unterschied ist in diesem Fall statistisch nicht genügend gesichert, zeigt aber eine Tatsache an, die an anderen Pilzen mit Sicherheit nachgewiesen werden konnte (z. B. bei *Coprinus fimetarius*, NEČÁSEK 1950; *Coprinus sterquilinus*, HANNA 1926; und eigene Beobachtungen).

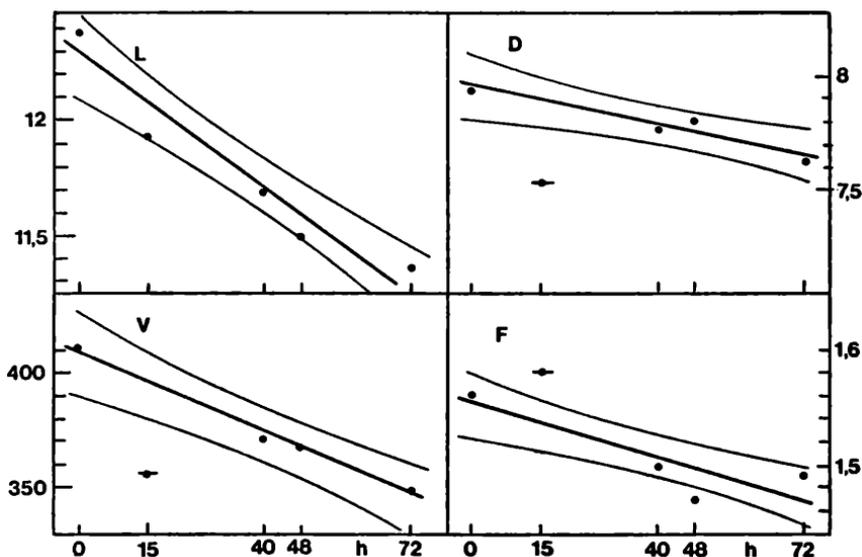


Fig. 7. *Amanita solitaria*, Abnahme der Sporendimensionen eines jungen, aber kranken Pilzes. Der Fruchtkörper zeigte bald Anzeichen von Fäulnis und war nach 3 Tagen unbrauchbar

G. *Amanita solitaria* (BULL. ex FR.) MÉRAT (Figur 7)

Junge, noch geschlossene Fruchtkörper wurden mit einer Knolle Erde in eine feuchte Kammer gebracht. Trotz täglicher Pflege begann der Pilz zu faulen und war nach 3 Tagen bereits unbrauchbar. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass die Sporendimensionen stetig abnahmen. Ich deute das als Folge der schlechten Bedingungen. Diese Annahme ist in Übereinstimmung mit den Beobachtungen von NEČÁSEK (1950), wonach in allen Experimenten zur Beeinflussung der Sporendimensionen durch äussere Bedingungen die Dimensionen kleiner waren, als in den Kontrollen.

H. *Panus rudis* FR. (Tabelle 15)

Dies ist der einzige Pilz, bei dem während der ganzen (relativ kurzen) Beobachtungsperiode alle Dimensionen konstant blieben. Der Pilz wurde auf dem Substrat in einer feuchten Kammer gehalten.

5. Korrelation der Sporendimensionen mit der Grösse des Fruchtkörpers

Wie das Beispiel von *Galerina styliifera* und die dort zitierte Literatur vermuten lassen, bestehen Korrelationen zwischen der Grösse der Fruchtkörper und der Grösse der Sporen. Diese Beziehung wurde bei zwei Pilzen genauer untersucht.

Tabelle 15
Konstanz der Sporendimensionen bei *Panus rudis*

	Stunden: 0	12	36	48
Länge				
Mittel	5,62	5,65	5,55	5,60
Streuung	0,27	0,22	0,30	0,29
Dicke				
Mittel	2,66	2,68	2,62	2,66
Streuung	0,10	0,07	0,08	0,10
Form				
Mittel	2,11	2,10	2,11	2,11
Streuung	0,09	0,10	0,10	0,10
Volumen				
Mittel	21	21	20	20,5
Streuung	2	1,5	2	2

Mit den in der Tabelle 16 präsentierten Daten wurden die Korrelationen und Regressionen zwischen den Sporendimensionen und dem Hutdurchmesser oder dem Gewicht des Hutes berechnet. Die Resultate sind in den Tabellen 17 und 18 zusammengestellt.

Die Sporenform ist nicht mit der Pilzgrösse korreliert.

Von den Dimensionen ist nur die Dicke der Sporen linear mit dem Hutdurchmesser korreliert, die Länge und das Volumen können durch eine quadratische Regression sehr gut mit dem Hutdurchmesser korreliert werden.

Wird anstelle des Hutdurchmessers das Gewicht des Hutes eingesetzt, so wird die Regression für das Sporenvolumen linear. Mit anderen Worten, das Sporenvolumen verändert sich direkt und gleichsinnig mit dem Gewicht des Hutes, oder, wenn ein unveränderliches spezifisches Gewicht angenommen wird, mit dem Volumen des Hutes. Die anderen Regressionen sind denen der Tabelle 17 sehr ähnlich, so dass für sie der Austausch des Hutdurchmessers mit dem Hutgewicht keine wesentliche Änderung bringt.

Tabelle 16

Marasmius oraeles

Hutdurchmesser:	18	21	24	26	26	28	29	37	37
Gewicht des Huttes:	1,003	1,371	1,798	2,114	2,214	2,457	2,637	4,313	4,413
Mittlere Länge	8,07	8,47	8,16	8,22	8,51	8,53	8,24	8,43	8,75
Streuung	0,37	0,61	0,44	0,23	0,41	0,41	0,36	0,37	0,46
Mittlere Dicke	5,63	5,79	5,76	5,84	5,89	5,93	5,92	5,93	0,64
Streuung	0,22	0,34	0,25	0,27	0,27	0,24	0,23	0,27	0,26
Mittlere Form	1,43	1,46	1,41	1,40	1,44	1,44	1,39	1,42	1,44
Streuung	0,06	0,06	0,06	0,05	0,07	0,06	0,08	0,08	0,06
Mittleres Volumen	134,5	150,3	142,7	147,5	155,4	157,8	151,5	155,8	168,2
Streuung	14,8	26,8	18,0	15,3	19,5	17,5	14,3	16,1	21,7

Tabelle 17

Marasmius oraeles: Korrelationen mit dem Hutdurchmesser

LINEARE REGRESSIONEN ERSTER ART.

	b	Vg	t	df	F	df1	df2	
b = Regressionskoeffizient	0,021	0,013	4,370	223	4,665	7	216	Beurteilung der Linearität
F = F-Test auf Linearität		0,029						nicht linear
Korrelation mit Sporenlänge	0,016	0,011	5,683	223	1,271	7	216	Linearität angenommen
Sporendicke	0,001	—	0,637	223	3,322	7	216	nicht linear
Sporenform	1,213	0,869	5,802	223	2,548	7	216	nicht linear
Sporenvolumen		1,557						

	A	B	C	Z	Chi-Quadrat	df	Beurteilung
QUADRATISCHE REGRESSIONEN.							
Y =							
Sporenlänge	7,776	0,0227	-0,00002	0,948	0,027	8	sehr gute Angleichung
Sporenvolumen	87,658	3,482	-0,03995	0,974	1,487	8	sehr gute Angleichung

Tabelle 18

Marasmius orcales, Korrelationen mit dem Gewicht des Hutcs
 LINEARE REGRESSIONEN ERSTER ART. Bedeutung der Symbole wie in der Tabelle 17

Korrelation mit	b	Vg	t	df	Beurteilung von b	F	df1	df2	Beurteilung der Linearität
Sporenlänge	0,117	—	4,456	223	signifikant	4,554	7	216	nicht linear
Sporendicke	0,086	0,055 0,117	5,448	223	signifikant	1,602	7	216	Linearität angenommen
Sporenform	—0,001	—	—0,372	223	bedeutungslos	3,363	7	216	nicht linear
Sporenvolumen	6,506	4,269 8,742	5,070	223	signifikant	2,701	7	216	Linearität knapp angenommen

QUADRATISCHE REGRESSION. $Y = A + BX + CX^2$ X = Gewicht des Hutcs Z = Multipler Korrelationskoeffizient

Y =	A	B	C	Z	Chi-Quadrat	df	Beurteilung
Sporenlänge	8,04371	0,15190	—0,00606	0,946	0,026	6	sehr gute Angleichung

Tabelle 20

Panaeolus sphinctrinus, Korrelation mit dem Hutdurchmesser
 LINEARE REGRESSIONEN ERSTER ART. Bedeutung der Symbole wie in der Tabelle 17.

Korrelation mit	b	Vg	t	df	Beurteilung von b	F	df1	df2	Beurteilung der Linearität
Sporenlänge	0,011	—0,143 0,166	0,144	98	bedeutungslos	0,291	2	96	horizontal, linear also keine Korrelation
Sporendicke	—0,019	—0,034 —0,005	—2,695	98	signifikant	3,245	2	96	nicht linear
Sporenform	0,003	0,001 0,005	3,381	98	signifikant	6,434	2	96	nicht linear
Sporenvolumen	—32,444	—63,39 —1,493	—2,080	98	signifikant	1,772	2	96	linear, abnehmend

QUADRATISCHE REGRESSIONEN. $Y = A + BX + CX^2$ X = Hutdurchmesser

Y =	A	B	C	Z	Chi-Quadrat	df	Beurteilung
Sporendicke	9,0388	0,1437	—0,0033	0,987	0,00036	3	sehr gute Angleichung
Sporenform	1,7782	—0,0248	0,00057	0,962	0,00022	3	sehr gute Angleichung

Tabelle 19
Panaeolus sphinctrinus

Hutdurchmesser:	15,5	26	30,5	34,5
Mittlere Länge	16,16	16,18	16,10	16,22
Streuung	0,53	0,70	0,45	0,52
Mittlere Dicke	10,52	10,54	10,42	10,06
Streuung	0,36	0,47	0,40	0,74
Mittlere Form	1,53	1,53	1,54	1,61
Streuung	0,05	0,05	0,05	0,10
Mittleres Volumen	945	938	917	866
Streuung	119	83	84	141

Mit den in der Tabelle 19 zusammengestellten Daten wurden die Korrelationen und Regressionen zwischen den Sporendimensionen und dem Hutdurchmesser berechnet. Die Resultate sind in der Tabelle 20 zusammengefasst.

Es besteht keine Korrelation zwischen der Sporenlänge und dem Hutdurchmesser, da die Sporenlänge als konstant angesehen werden darf. Eine lineare, abnehmende Regression besteht bei der Korrelation zwischen dem Sporenvolumen und dem Hutdurchmesser: je grösser der Hut, desto kleiner das Sporenvolumen. Die Dicke und die Form der Sporen sind mit dem Hutdurchmesser quadratisch korreliert.

Diskussion

Es konnte gezeigt werden, dass die Sporendimensionen im Laufe der Fruchtkörperentwicklung ändern können, und es in der Regel auch tun. Mit zunehmendem Alter werden die Sporen zunächst grösser, dann wieder kleiner.

Dieses Verhalten wird stark von Umweltfaktoren beeinflusst. So konnte festgestellt werden, dass Austrocknung oder Antrocknung durch den Wind eine scharfe Reduktion der Sporendimensionen zur Folge hat. Auch eine Verpflanzung des Pilzes mitsamt seinem Substrat kann dieselbe Reaktion bewirken. Die Sporengrösse ist zudem auch mit der Grösse des Fruchtkörpers korreliert.

Aus all diesen Befunden wird geschlossen, dass die Sporengrösse eine komplexe Funktion von Alter, Grösse des Fruchtkörpers und Umweltseinflüssen darstellt, und dass die mathematische Erfassung der Dimensionsgrenzen für eine Pilzart wirklich den Forderungen GILBERT's (1927) folgen muss, auch wenn dieser Autor seine Schlüsse auf falscher Basis gezogen hatte.

Literatur

- BULLER, A. H. R. (1909). *Researches on Fungi*, vol. I. Longmans, Green and Co. London.
- CORNER, E. J. H. (1947). Variation in the Size and Shape of Spores, Basidia and Cystidia in Basidiomycetes. *The New Phytologist* 46: 195—228.

- Documenta Geigy (1960). Wissenschaftliche Tabellen, 6. Auflage. J. R. Geigy AG, Pharmazeutische Abteilung, Basel.
- DUNCAN, E. G. and GALBRAITH, M. H. (1973). Variation in the Dimensions of Basidiospores during the Discharge Period. *Trans. British Mycol. Soc.* 60: 463—470.
- FRANÇON, M. (1967). Einführung in die neueren Methoden der Lichtmikroskopie. G. Braun Karlsruhe.
- GILBERT, E.-J. (1927). La Spore des Champignons supérieurs. Librairie E. le François, Paris.
- HANNA, W. F. (1926). The Inheritance of Spore Size in *Coprinus sterquilinus*. — *Trans. British Mycol. Soc.* 11: 219—238.
- NEČÁSEK, J. (1950). On the Variability of the Spores of Higher Fungi. — *Studia Botanica Českoslovaca* 11: 49—64.
- PARKER-RHODES, A. F. (1949). The Basidiomycetes of Skokholm Island. II. Genetical Implications of Spore Measurements in two Agarics. — *New Phytol.* 48: 382—389.
- RICKEN, A. (1915). Die Blätterpilze. — Leipzig.
- SINGER, R. (1975). The Agaricales in Modern Taxonomy. — 3rd. ed. J. Cramer.
- SNEDECOR, G. W. and COCHRAN, W. G. (1967). Statistical Methods, 6th ed. — Iowa State University Press.
- TANGHE, L. J., and SIMOS, D. M. (1973). *Amanita phalloides* in the Eastern United States. — *Mycologia* 65: 99—108.
- TOGASHI, K., and ODA, K. (1934). Spore-Size Variability in Subsequent Spore Prints of Some Hymenomycetous Fungi. — *Trans. Sapporo Nat. Hist. Soc.* 13: 121—125.
- WATLING, R. (1975). Studies in Fruit-body Development in the Bolbitiaceae and the Implications of Such Work. In *Studies on Higher Fungi*. — Beihefte Nova Hedwigia, 51, 319—346.
- ZELLER, S. M., and TOGASHI, K. (1934). The American and Japanese Matsu-Takes. — *Mycologia* 26: 544—558.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sydowia Beihefte](#)

Jahr/Year: 1977

Band/Volume: [8](#)

Autor(en)/Author(s): Clemencon Heinz

Artikel/Article: [Biometrische Untersuchungen zur Variabilität der Basidiosporen 110-138](#)