

Boletus	Jahrg. 14	Heft 2	1990	S. 36 bis 42
----------------	------------------	---------------	-------------	---------------------

HARALD M. FRANK

Zur einheitlichen Präsentation der Ergebnisse von Sporenmessungen

Seit ihrer Entdeckung sind die Sporen zunehmend in den Blickpunkt des wissenschaftlichen Interesses gerückt. Als generative Elemente sind sie stärker genetisch determiniert als z. B. Fruchtkörpergrößen und -farben. So wird die Gattung *Entoloma* (FR.) KUMM. durch die rosabraunen und unregelmäßig eckigen Sporen weit besser als taxonomische Einheit abgegrenzt als durch alle anderen Merkmale der Fruchtkörper. Wegen der relativ leichten Zugänglichkeit sind die drei raumerfüllenden Abmessungen von großer Bedeutung, um Arten voneinander abzugrenzen (systematischer Schritt) und dann sicher zu identifizieren (Bestimmungsschritt), z. B. GRÖGER (1987) und VILGALYS & MILLER Jr. (1987). Um Sporenabmessungen vergleichbar zu machen, ist es erforderlich, den Meßvorgang und die sich daran anschließenden Berechnungen so weit als möglich zu vereinheitlichen. Zur Problematik der objektiven, von individuellen Einflüssen freien Durchführung der Messungen hat sich ARNOLDS (1980) ausführlich geäußert. Hier soll nun die statistische Auswertung der Messungen kurz vorgestellt und ein Vorschlag zur einheitlichen Präsentation der Ergebnisse unterbreitet werden. Der Verfasser sieht sein Bemühen als konsequente Weiterführung der Anregungen und Forderungen von KRÜGER (1987).

Sporenform und -volumen

Ein Großteil der Sporen läßt sich, ohne größere Fehler zu begehen, auf eine ellipsoide Grundform zurückführen, charakterisiert durch die Länge L und durch einen Durchmesser, da die Breite B gleich der Dicke D ist. Die kugelförmigen Sporen sind „entartete“ Ellipsoide, bei denen alle drei Dimensionen gleich sind ($L = B = D$ in den Formeln). Bei den sich anschließenden Betrachtungen soll exemplarisch immer das Modell der ideal ellipsoiden Spore zugrunde gelegt werden, zumal weder die Benennung unregelmäßig geformter Sporen (MINTER 1982) noch die Modellierung durch mathematisch exakt beschreibbare Körper als gelöst erachtet werden kann, obwohl aufwendige Ansätze seit mindestens 60 Jahren vorliegen (KÜHNER & BOURSIER 1929, ROMAGNESI 1933).

Als abgeleitete Maßzahlen werden häufig angegeben der Quotient aus Länge und Breite, hier im folgenden als Form F bezeichnet, während sich in der Literatur häufig das Symbol Q und zuweilen E findet, und das Volumen V, welches in einfacher Operation berechnet werden kann:

$$V [\mu\text{m}^3] = L [\mu\text{m}] \cdot B [\mu\text{m}] \cdot B [\mu\text{m}] \cdot 0.523$$

So sind z. B. Sporen mit $F = 1$ kugelrund, mit $F = 1.5$ kurzelliptisch und mit $F = 2$ elliptisch (doppelt so lang als breit).

Grundgesamtheit und Stichprobe

Die Menge aller Sporen eines Pilzes (oder eines Abwurfes) wird in der Statistik als Grundgesamtheit bezeichnet. Durch je eine Messung werden Länge und Breite einer einzelnen Spore ermittelt. Wird dieser Vorgang n -mal wiederholt, so erhält man eine Stichprobe von n Wertepaaren, die aufgrund der der Natur innewohnenden Variabilität und wegen Unzulänglichkeiten bei der Messung voneinander verschieden sind. Diese n Wertepaare bilden die Urliste und geben die durch die Messung erhaltene Information zu 100 % wieder. Die Aufgabe der Statistik besteht darin, dieses umfangreiche Zahlenmaterial anschaulich darzustellen und auf wenige Maßzahlen so zu verdichten, daß der Verlust an Information minimal bleibt.

Werden solche Sporenmessungen an einem Präparat häufig wiederholt und die Resultate für Länge und Breite als relative Häufigkeit gegen die absoluten Dimensionen abgetragen, so ergeben sich für „unproblematische“ Präparate (KRÜGER 1987) in guter Näherung Normalverteilungen (Glockenkurven, zweizipflige Verteilungen). Diese sind dadurch ausgezeichnet, daß um den häufigsten Wert (Modalwert) die Häufigkeiten der kleineren und größeren Werte in charakteristischer Weise symmetrisch abnehmen. Im folgenden wird die Existenz einer Normalverteilung vorausgesetzt, obwohl auch auffallende Abweichungen bekannt sind (bedingt z. B. durch 2- und 4-sporige Basidien oder durch den Reifeprozess, siehe KRÜGER 1987). Verwiesen sei auf die sehr instruktiven Sporengrößen-Verteilungen bei einigen *Inocybe*-Arten (BOURSIER & KÜHNER 1928).

Nach der Vermessung der einzelnen Sporen (n Wertepaare für L und B) erfolgt die statistische Aufarbeitung. Dabei werden nach dem Voraussetzen ihrer Gültigkeit (oder einer entsprechenden Prüfung) objektive, einheitliche und nachvollziehbare Berechnungen vorgenommen und die Verteilung durch wenige Maßzahlen wie den Erwartungswert als typischsten Wert zur Kennzeichnung der Lage der Verteilung und die Streuung um diesen Erwartungswert zur Kennzeichnung der Form der Verteilung ermittelt. Bei Normalverteilungen ist der Erwartungswert gleich den zusammenfallenden Maßzahlen Modalwert, Median und arithmetisches Mittel, die Streuung entspricht der Standardabweichung. Der Erwartungswert ist tatsächlich nur eine beschreibende Maßzahl und nicht der richtige Wert (RASCH 1983).

Damit besteht ein grundsätzlich anderer Ansatzpunkt als z. B. bei der beabsichtigten Präzisierung einer Gehaltsbestimmung von Nitrat in einer Wasserprobe durch Mehrfachbestimmung. Die Wasserprobe als homogene Grundgesamtheit hat einen wahren Gehalt, der sich durch μ bezeichnen läßt, während durch n Bestimmungen ein Mittelwert \bar{x} erhalten wird und dieser nur einen Schätzwert für μ darstellt. Dies gilt analog für die Standardabweichung δ der Grundgesamtheit und die durch die Stichprobe ermittelte Näherung s .

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$
$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2 \right)}$$

Naturgemäß wird die Annäherung der Schätzwerte an die tatsächlichen Größen besser durch Erhöhung der Stichprobenanzahl und durch Eliminierung von offensichtlich falschen Meßwerten („Übergößen“, Messfehler, Schreibfehler, etc.), die mit großer Wahrscheinlichkeit nicht zur Grundgesamtheit gehören (Ausreißer).

Im verwendeten Computerprogramm für den C 64 werden Meßwerte als Ausreißer erkannt und eliminiert, wenn sie mehr als das 4-fache der Standardabweichung vom Mittelwert abweichen (DOERFEL 1984). Dabei werden beide Maßzahlen berechnet aus der um den vermuteten Ausreißer verminderten Urliste. Gleichzeitig erfolgt eine Kennzeichnung des Ausreißers mit L, B, V oder F, je nachdem ob der Ausreißertest positiv war in Länge, Breite, Volumen oder Form. Die Reihenfolge zeigt die Priorität der Bewertung.

Optimale Angabe der Sporendimensionen

Die meisten Autoren sind sich darüber einig, daß die Ergebnisse der Sporenmessungen an einem Präparat ausgewiesen werden sollten durch Minimal- und Maximalwert als dem kleinsten und dem größten Meßwert der Serie, durch das arithmetische Mittel als der bestmöglichen Schätzvorschrift für den Erwartungswert und durch 2 zusätzliche Grenzwerte, weil die gemessenen Extremwerte als Einzelwerte stark vom Zufall beeinflusst werden und dadurch die eigentliche Streubreite des Merkmals verzerrt sein kann. Über den logischen Hintergrund und die Festlegung solcher Grenzwerte existieren z. T. nur vage formulierte Vorstellungen, wie „Bereich des wahrscheinlichen Wertes“, „Bereich der üblichen Sporengröße“, etc. KRÜGER (1987) schlägt zur Überwindung dieser inhaltlichen und sprachlichen Unzulänglichkeit vor, grundsätzlich einen unteren Grenzwert des Streubereiches zu berechnen als das um die 2-fache Standardabweichung s verminderte arithmetische Mittel \bar{x} und einen sinngemäß berechneten oberen Grenzwert. Diese beiden Grenzwerte sollen 95 % aller Meßwerte zwischen sich einschließen. Das ist aber ein statistischer Trugschluß, da dies nur gilt für eine theoretische Normalverteilung mit den Größen μ und δ . Da aus den Meßwerten der Stichprobe Mittelwert und Standardabweichung geschätzt werden müssen, ist mit einer von n abhängigen Unsicherheit zu rechnen. Dies bedeutet, daß die der Normalverteilung ähnliche t-Verteilung herangezogen werden muß (BAUMANN 1988). Die Grenzwerte des Häufigkeitsbereiches werden dann berechnet zu:

$$\text{untere Grenze} = \bar{x} - t(f, \alpha) \cdot s$$

$$\text{obere Grenze} = \bar{x} + t(f, \alpha) \cdot s$$

Dabei ist $f = n-1$ die Anzahl der Freiheitsgrade und α die statistische Sicherheit in der Prüfgröße $t(f, \alpha)$. Meist wird α zu $0.95 = 95\%$ gewählt. Die entsprechenden Werte für $t(f, 0.95)$ zeigt Tab. 1. Sie lassen sich auch leicht durch folgende Formel ermitteln (Formel und Werte aus DOERFEL 1984).

$$t(f, 0.95) = 1.96 + 2.43/f + 2.19/f^2 + 4.63/f^3 + 1.4/f^9.$$

Tabelle 1

Integralgrenzen der t-Verteilung in Abhängigkeit vom Freiheitsgrad f bei der Wahrscheinlichkeit $\alpha = 0.95$

f	t	f	t
1	12.70	12	2.18
2	4.30	15	2.13
3	3.18	18	2.10
4	2.78	20	2.09
5	2.57	25	2.06
6	2.45	30	2.04
7	2.36	40	2.02
8	2.31	60	2.00
9	2.26	120	1.98
10	2.23	unendlich	1.96

Es wird deutlich, daß bei mehr als 20–25 vermessenen Sporen t (f , 0.95) gegen den Wert 2 läuft und ein Fehler des KRÜGER'schen Konzepts vernachlässigbar wird. Auch aus diesem Grund wird die Forderung nach Vermessung von mindestens 25 Sporen verständlich (CLÉMENÇON 1979). Anders jedoch bei einer kleinen Anzahl vermessener Sporen, dann muß eine deutlich breitere Verteilung akzeptiert werden. So ist es bei wenigen Meßwerten durchaus möglich, daß die Grenzwerte dieses Häufigkeitsbereiches jenseits der gemessenen Minimal- bzw. Maximalwerte liegen.

Da nach wie vor die Berechnung der Standardabweichung s notwendig ist und dieser Wert im Meßprotokoll ausgewiesen werden sollte, ist die Angabe eines Intervalles $\pm 2 \cdot s$ um den Mittelwert \bar{x} fast redundant. Die t -Verteilung ist sachlich richtig und liefert zusätzliche Informationen. Unter Berücksichtigung all dessen wird folgendes Format der Ergebnispräsentation nachdrücklich unterstützt:

(Minimum) untere Grenze – Mittelwert – obere Grenze (Maximum)

Dieses Format der Wertrepräsentation ist nicht neu, sondern findet sich zuweilen in der Literatur, so bei ERB & MATHEIS (1983) und KRÜGER (1987), ohne daß jedoch die beschreibenden Maßzahlen den hier vorgeschlagenen bzw. geforderten mathematisch-statistischen Hintergrund haben. Aus dem Nachtrag bei KRÜGER (1987) geht hervor, daß CLÉMENÇON (1986) ein ähnliches Konzept unter Heranziehung der t -Verteilung vertritt. Leider sind dem Autor hierzu keine weiteren Informationen zugänglich geworden, die statistische Aufbereitung der Sporenmessungen bei RIVA (1988) zeigt aber eine Übereinstimmung der unabhängigen entstandenen Vorstellungen.

Dieses Format ist anzuwenden auf die 4 gängigen Sporenwerte Länge, Breite, Volumen und Form. Zusätzlich ist anzugeben die Anzahl der Meßwerte und der Ausreißer sowie der Volumenquotient Q_v mit

$$Q_v = V_m / L_m \cdot B_m \cdot B_m \cdot 0.523 = V_m / V(L_m, B_m)$$

als Quotient aus dem mit den Mittelwerten von Länge (L_m) und Breite (B_m) errechneten Volumen und dem mittleren Volumen (V_m). Weicht der Wert Q_v um mehr als 10 % von 1 ab, so ist mit einem „problematischen“ Präparat zu rechnen und die Anwendung der Algorithmen für die vorausgesetzte Normalverteilung kritisch zu prüfen. (siehe KRÜGER 1987 und dort zitierte Literatur)

Die unmittelbaren Meßgrößen Länge und Breite sollten auf 0.1 μm genau angegeben werden (KRÜGER 1987), das Volumen ohne Dezimale und die Form mit 2 Dezimalen. Es hat sich eingebürgert, die Standardabweichung mit einer Dezimale mehr als die charakterisierte Größe selbst zu präzisieren (RASCH 1983).

Völlig unbefriedigend ist die Angabe eines Wertebereiches für Länge und Breite und eines derart „genauen“ Absolutwertes für die Form wie bei CANDUSSO & REBAUDENGO (1987), z. B.

6–7.5 x 4–5 μm , $Q = 1.441$ für *Hygrocybe fornicata* (FR.) SINGER.

Das Resultat der Berechnungen sei am Beispiel der bei KRÜGER (1987) enthaltenen Meßwerte für *Pholiota muelleri* veranschaulicht.

Tabelle 2

Länge L und Breite B in μm der Sporen von *Ph. muelleri*. Präparation in Wasser

Meßwerte = 30

Ausreißer = 0

L	B	L	B	L	B
5.8	3.2	5.4	3.5	5.3	3.4
5.5	3.4	5.8	3.6	5.7	3.6
6.6	3.9	5.3	3.4	5.3	3.4
6.1	3.5	5.5	3.5	6.3	3.7
5.9	3.7	5.7	3.6	5.5	3.3
5.9	3.5	6.0	3.3	6.0	3.4
5.8	3.4	6.0	3.6	5.5	3.4
6.0	3.6	5.5	3.4	5.7	3.5
5.9	3.8	5.7	3.3	5.3	3.5
5.9	3.5	6.2	3.2	6.3	3.7

Länge L (5.3) 5.1–5.8–6.5 (6.6) μm s = 0.33

Breite B (3.2) 3.2–3.5–3.8 (3.9) μm s = 0.17

Volumen V (31) 26–37–47 (53) μm^3 s = 5.1

Form F (1.51) 1.46–1.66–1.86 s = 0.096
(1.94)

Volumenquotient $Q_v = V_m/V (L_m, B_m) = 1.00$

Die Bedeutung der einzelnen Kennzahlen sei am Beispiel der Länge nochmals verdeutlicht. Der kleinste Wert der Meßreihe (Minimum) ist 5.3 μm und tritt 4 \times auf, während der größte Wert (Maximum) von 6.6 μm ziemlich isoliert steht. Der errechnete Mittelwert beträgt 5.8 μm und tritt selbst als Meßwert nur 3 \times auf. Zwischen der unteren Grenze von 5.1 μm und der oberen Grenze von 6.5 μm (errechnet mit der t-Verteilung) liegen mehr als 95 % der Meßwerte, da allein der Wert von 6.6 μm ($1/30 = 3.3\%$) außerhalb dieses Bereiches liegt. Durch die statistische Berechnung werden die Grenzwerte symmetrisch zum Mittelwert festgelegt. Die tatsächliche Verteilung der Meßwerte ist aber linkssteil, was bedeutet, daß kleinere Sporen relativ häufiger sind als größere (bezogen auf den Mittelwert). Erkennbar ist dies an den systematisch unter dem Minimum der Meßreihe liegenden unteren Grenzwerten, während die oberen Grenzwerte stets kleiner sind als das Maximum.

Wären nur die ersten $n = 10$ Wertepaare (zeilenweise) verwendet worden, hieße die Ergebniszeile für die Länge

Länge L (5.3) 4.7–5.7–6.7 (6.6) μm s = 0.42

und bei nur den ersten $n = 5$ Wertepaaren

Länge L (5.3) 5.0–5.6–6.2 (5.8) μm s = 0.23

An diesen reduzierten Datensätzen zeigen sich sowohl der Genauigkeitsverlust gegenüber dem Original von 30 Meßwerten, als auch die zunehmende statistische Unsicherheit. So besteht zwischen Minimal- und Maximalwert der 5er-Meßreihe eine „erfreuliche“ Differenz von $5.8-5.3 = 0.5 \mu\text{m}$, statistisch zuverlässig ist aber nur eine Differenz von $6.2-5.0 = 1.2 \mu\text{m}$. Durch zu wenige Messungen bleiben die Berechnungen unsicher. Der Leser kann dies leicht prüfen, indem mehrfach jeweils 5 willkürlich herausgegriffene Werte einer solchen Berechnung unterzogen werden. Die Ergebnisse weichen z. T. deutlich voneinander ab.

Sicher ist eine vollständige Angabe aller Maßzahlen nicht stets erforderlich, aber die Bedeutung der verwendeten Maßzahlen sollte schon begründbar und einleuchtend sein. Für die Praxis dürfte folgendes verkürztes Format genügen:

untere Grenze – Mittelwert – obere Grenze

also für das gewählte Beispiel

$$5.1-5.8-6.5 \times 3.2-3.5-3.8 \mu\text{m}$$

$$V = 26-37-47 \mu\text{m}^3$$

$$F = 1.46-1.66-1.86$$

$$n = 30, \text{ keine Ausreißer, } Q_v = 1.00$$

Wie zwiespältig noch Absicht und Durchführung sind, zeigt eindrucksvoll EINHELLINGER (1985). Die Sporendimensionen werden recht ausführlich notiert und die Bedeutung des Sporenvolumens zur Abgrenzung der Arten nachdrücklich betont. Die Sporenvolumina der einzelnen Arten sind aber ausschließlich durch den Mittelwert charakterisiert. Ohne Kenntnis der Streubreite des Merkmals kann man es aber für diagnostische Zwecke nicht einsetzen.

Abschließend muß unbedingt darauf hingewiesen werden, daß es hier nur um eine einheitliche Berechnung und Präsentation der Ergebnisse ging. Wichtiger noch zur Erzielung vergleichbarer Werte sind Vorbereitung und Durchführung des Meßvorganges selbst (ARNOLDS 1980, KRÜGER 1987). Deshalb sollten immer die Gewinnung der Sporen (Abwurf, Hymenium) sowie die Art und das Medium der Präparation genannt werden. Denn: wie häufig halten die Literaturangaben Revidierungen nicht stand und sind Sporenwerte Brennpunkte scheinbar nicht lösbarer Widersprüche (Werte mit und ohne Skulpturen, unterschiedliche Lage der Sporen; siehe ARNOLDS 1980), weil die Umstände und Bedingungen der Meßwertfassung nicht hinreichend klar dokumentiert worden waren.

Ein BASIC-Programm für die Aufarbeitung der Meßwerte und zur Berechnung der diskutierten Maßzahlen liegt beim Verfasser für den Commodore C 64 vor und läßt sich einfach auf andere Rechner übertragen. Verzichtet man auf den Ausreißertest und auf den Ausdruck von Urliste und Ergebnissen, kommt man mit jedem Taschenrechner aus, sofern er über einen Statistikteil verfügt.

Mein herzlicher Dank gilt Herrn F. GRÖGER (Warza) für die hilfreiche Zusammenarbeit und die kritischen Forderungen zur Darstellung der spröden Thematik.

Literatur

- ARNOLDS, E. (1980): Het meten en beschrijven van Basidiosporen: Resultaten van een Enquete. *Coolia* **23**, 26–49
- BAUMANN, W. (1988): Sind Analysenergebnisse willkürliche Schätzwerte?. *GIT Fachz. Lab.* **32**, 171–179
- BOURSIER, J. & KÜHNER, R. (1928): Notes sur le genre *Inocybe*. *Bull. Soc. Myc. France* **44**, 170–189
- CANDUSSO, M. & REBAUDENGO, E. (1987): Alcune Igrocibi del Primiero. *Mic. Ital.* **16**, 247–264
- CLÉMENÇON, H. (1979): Biometrische Untersuchungen zur Variabilität der Basidiosporen. *Sydowia*, Beiheft **8**
- CLÉMENÇON, H. (1986): Sinn und Unsinn bei der Sporenmessung. Vortrag in Luzern
- DOERFEL, K. (1984) *Statistik in der analytischen Chemie*. Leipzig
- EINHELLINGER, A. (1985): Die Gattung *Russula* in Bayern. *Hoppea* **43**, 5–286
- ERB, B. & MATHEIS, W. (1983): *Pilzmikroskopie*. Stuttgart
- GRÖGER, F. (1987): Der Formenkreis des Winzigen Fälblings, *Hebeloma pusillum*. *Myk. Mitt. bl.* **30**, 37–48
- KRÜGER, H. (1987): Die normierte Sporenmessung – Diskussion und Vorstellung eines Lösungsansatzes. *Z. Mykol.* **53**, 99–118
- KÜHNER, R & BOURSIER, J. (1929): La forme des spores chez les Agarics rhodogoniospores (genre *Rhodophyllus* Quélet). *Bull. Soc. Myc. France* **45**, 264–277
- MINTER, D. M. (1982): On the problem of describing the shape of certain fungal spores. *Bull. Brit. Myc. Soc.* **16**, 164–165
- RASCH, D. (1983): *Biometrie – Einführung in die Biostatistik*. Berlin
- RIVA, A. (1988): Contributi alla conoscenza del genere *Tricholoma* (Fr.) Staude. *Boll. Ass. Mic. Ecol. Romana* **14**, 4–9
- ROMAGNESI, H. (1933): Sur les *Rhodophyllus*. *Bull. Soc. Myc. France* **49**, 422–438
- VILGALYS, R. & MILLER Jr., O. K. (1987): Morphological studies on the *Collybia dryophila* group in Europe. *Trans. Brit. Myc. Soc.* **88**, 461–472

Anschrift des Verfassers:

Dr. H. M. FRANK, Amthorstr. 5. Gera, DDR–6500

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Boletus - Pilzkundliche Zeitschrift](#)

Jahr/Year: 1990

Band/Volume: [14](#)

Autor(en)/Author(s): Frank Harald M.

Artikel/Article: [Zur einheitlichen Präsentation der Ergebnisse von Sporenmessungen 36-42](#)