Boletus, Jahrgang 24, 2002, Heft 2, Seite 97-110

JOHANNES A. SCHMITT

Statistische Arten/Areal-Kurven und ihre Nutzung in überregionalen Diversitätsfragestellungen bei Pilzen*

SCHMITT, J. A. (2002): Statistical species/area-relations in supraregional questions to diversity of fungi. - Boletus **24**(2), 97-110

Abstract: On the basis of published data and own investigations in parts (area-plots) of areas, species/area-relations are given for fungi. They show hyperbolic course similar to those of the MICHAELIS-MENTEN-kinetic of enzyme reactions in biochemistry. A new application is given to elaborate statistic hyperbolic cumulative species/area-curves from area- or time-plot investigations. The resulting integral species/area curves of the general formula $s = (R \cdot a)/(M + a)$ within s = number of species and a = area, are characterized by two constants: The asymptote limit value corresponds with the species diversity R of an area type, the area M with the species number R/2 is defined as the minimum area. The ratio R/M is the slope of the hyperbola at its beginning and corresponds with the mean species density D. The characteristic parameters R and M define the course of the species/area-curve, which allow to calculate the species number for every given part of the area type or allow to give the areas for all given species numbers; such data allow the comparison of different area types concerning nature reserve questions, in particular the establishment of useful areas of nature reserves. In the case of fungi, the minimum area values M for forests are about 1 ha, for grasslands about 0,1 ha. It is proposed to establish, that the area of a nature reserve must contain at least a species number of 99 % of the value R, that means an area of at least $99 \cdot M$ (rounded $100 \cdot M$). The new application is also useful in other questions and other organisms, as shown below.

Key words: Higher fungi, statistical hyperbolic cumulative species/area-curve, species diversity, species density, minimum area

Zusammenfassung: Ausgehend von bereits früher publizierten Daten sowei einer Reihe eigener Bearbeitungen von Teilflächen(=Plot)-Untersuchungen in Gebieten werden Arten/Areal-Kurven für Pilze erstellt. Die Kurvenverläufe stimmen mit denjenigen hyperbolischer Funktionen überein, wie sie für die Beschreibung der MICHAELIS-MENTEN-Enzymkinetik bei biochemischen Fragestellungen seit langem verwendet werden. Zur Gewinnung statistischer, hyperbolischer, kumulativer Arten/Areal-Kurven wird ein neues Verfahren vorgestellt, das zur Bearbeitung von Flächen- bzw. Zeit-Plotaufnahmen optimal geeignet ist. Die resultierenden, integralen Arten/Areal-Kurven der allgemeinen Formel $s = (R \cdot a)/(M + a)$, wobei s = Artenzahl und a = Flächengröße bedeutet, sind durch zwei Konstanten charakterisiert: den Arten-Grenzwert R (= Artenreichtum bzw. Artendiversität) eines Gebietstyps und die Halbwertsfläche M (mit halber Artendiversität R/2), die als Minimum-Areal begrifflich fixiert wird. Das Verhältnis R/M als Anfangssteigung der hyperbolischen Kurve wird als Mittlere Artendichte bzw. Artendensität D definiert. Die durch die Parameter R und M bestimmten Arten/Areal-Kurven erlauben die Berechnung von Artenzahlen für jede vorgegebene Flächengröße eines Gebietstyps bzw. die Ermittlung der Flächengröße für eine vorgegebene Artenzahl und somit einen Vergleich von Gebieten, z.B. bei naturschutzrelevanten Fragestellungen, vor allem bei der Festlegung sinnvoller Flächengrößen von Schutzgebieten. Bei Pilzen liegen die Minimum-Areale M für Waldbiotope bei ca. 1 ha, für Grasland um 0,1 ha. Es wird vorgeschlagen, als Minimalfläche eines

*Zusammenfassung des Vortrags anläßlich der NABU-Fachtagung Botanik zum Thema „Internationale und nationale Verantwortlichkeit für Artenvielfalt in Deutschland" vom 3. bis 4. November 2000, Universität des Saarlandes, Saarbrücken.

Schutzgebietes mindestens diejenige Flächengröße festzulegen, die 99 % des Artengrenzwertes R an Arten im Gebiet enthält, d.h. die Fläche 99 · M (gerundet 100 · M). Das neue Verfahren eignet sich auch zur Bearbeitung anderer Fragestellungen und für andere Organismengruppen, wie an Beispielen gezeigt wird.

1. Einleitung

Die Artenvielfalt ist das wichtigste biologische Charakteristikum eines Lebensraumes. Ihr qualitatives Merkmal ist das Artenspektrum, ihr quantitatives Merkmal die Artenzahl s, welche auch als α-Diversität bzw. Arten-Reichtum bezeichnet wird, und bezieht sich immer auf eine vorgegebene Flächengröße a eines Lebensraumes G. Mit zunehmender Flächengröße des Lebensraumes G vergrößert sich das Artenspektrum und damit die Artenzahl sublinear, d.h. bei einer Verdoppelung der Gebietsfläche erhöht sich die Artenzahl auf weniger als das Doppelte. Die Abhängigkeit der Artenzahl s von der Flächengröße a eines Lebensraumes vom Typ G wird als Arten/Areal-Kurve des Gebietes G bezeichnet und zeigt im Bild eine gekrümmte Kurve. Arten/Areal-Kurven erhält man, wenn man die Artenzahlen von Teilflächen in der Gebietsfläche aufnimmt und sie über die Plotflächen kumuliert. Erste Aufnahmen solcher Kurven wurden schon vor knapp 100 Jahren am Beispiel Höherer Pflanzen in Wäldern publiziert (vgl. z.B. ILVESSALO 1922).

Es ist nun aber schwierig, den Kurvenverlauf für Flächengrößen über den experimentell bearbeiteten hinaus zu extrapolieren, um Artenzahlen für größere Flächen abzuleiten. Da der Verlauf der Arten/Areal-Kurven für verschiedene Gebiete (z.B. G1, G2) sehr unterschiedlich sein kann, ist ein Vergleich der Artenzahlen bei vorgegebener Flächengröße für beide Gebiete zwar möglich, ergibt aber, wie das folgende Beispiel zeigt, je nach vorgegebener Flächengröße evtl. sogar entgegengesetzte Aussagen (vgl. Abb. 1a): Bei der Plotflächen-Summe a1 = 20 m² liegt die Artenzahl s von Gebietstyp G1 deutlich über derjenigen von Gebietstyp G2, bei a2 = 50 m² weisen beide Gebiete gleiche Artenzahlen auf, bei a3 = 80 m² liegt die Artenzahl von Gebiet G1 deutlich unter derjenigen von Gebiet G2. Über den Vergleich der Artenzahlen fest vorgegebener Gebietsflächengrößen allein lassen sich also keine allgemeingültigen Aussagen zur Artenvielfalt verschiedener Gebietstypen treffen. Hierzu ist es notwendig, charakteristische Konstanten der den Arten/Areal-Kurven zugrunde liegenden Funktionsgleichungen miteinander zu vergleichen.

2. Die Hyperbelfunktion als Basis von Arten/Areal-Kurven

Aus den vielen, bisher in der Literatur verwendeten mathematischen Funktionen zur Beschreibung von Arten/Areal-Kurven hat sich die Hyperbel-Funktion in vielen Fällen als besonders gut geeignet erwiesen (vgl. SCHMITT 1999). Sie beschreibt nicht nur den Verlauf der Kurve im experimentell gesicherten Bereich, sondern gibt auch den Grenzwert R der Artenvielfalt an, welcher als „Sättigung" eines Gebietstyps G mit Arten bei theoretisch unendlicher Ausdehnung des Gebietes überhaupt erreicht werden kann (Asymptote!). Die Formel einer solchen Arten/Areal-Kurve für einen Gebietstyp G ist in **Gl. 1** dargestellt, wobei R der Grenzwert der Funktion, M der Arealflächenwert mit halbmaximaler Artenzahl R/2, s die Artenzahl und a die Flächengröße bedeutet:

Gl. 1: $s = R \cdot a/(M + a)$ vgl. Abb. 1b

Die Anfangssteigung der Kurve weist den Wert D = R/M auf. R wird im folgenden als Arten-Reichtum bzw. als Arten-Diversität eines Gebietstyps G bezeichnet, bezieht sich also immer auf den Grenzwert der Artenvielfalt.

Um aus experimentell erarbeiteten Ergebnissen eine Prüfung auf hyperbolischen Verlauf machen und eine Bestkurve ableiten zu können, muß man die Hyperbel-Funktion mathematisch so umformen – d.h. transformieren -, daß man eine lineare Beziehung zwischen den Variablen a und s bekommt. Das am besten hierzu geeignete Verfahren wurde von HANES (1932) entwickelt. Die HANES-Transformation der Hyperbel-Funktion **Gl. 1** lautet:

Gl. 2: $a/s = a/R + M/R$ vgl. Abb. 1c

Man trägt also hier anstatt der Arten-Summe s gegen die Arealflächen-Summe a nun den Quotienten Arealflächen-Summe a/Arten-Summe s gegen die Arealflächen-Summe a auf. Die Bestgerade durch die experimentell gefundenen Daten wird über lineare Regression errechnet, aus der Lage der Daten um die Bestgerade und aus dem Korrelationskoeffizienten kann die Güte der hyperbolischen Näherung für die gefundene Arten/Areal-Kurve abgelesen

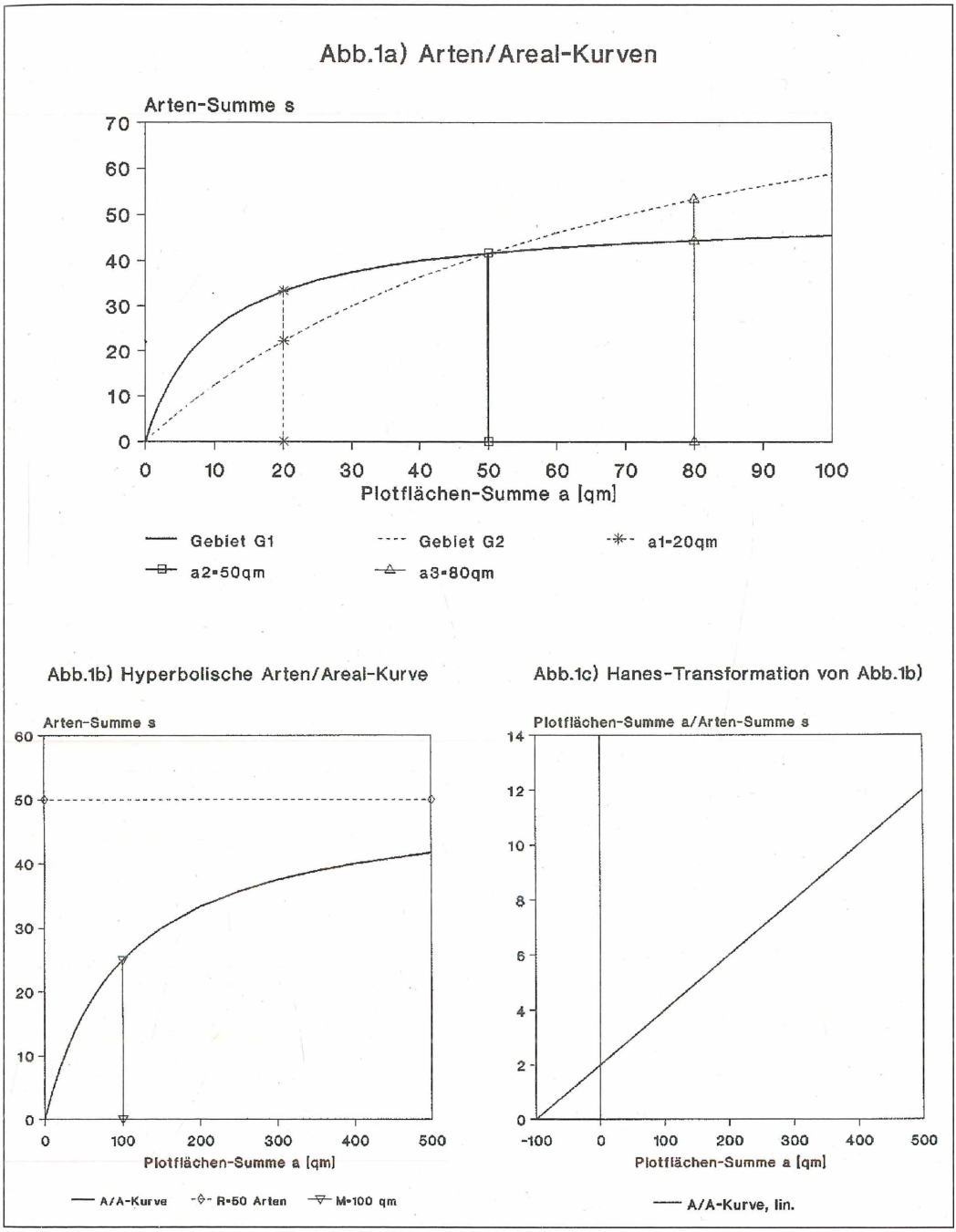

Abb. 1: a) Beispiele für unterschiedlichen Verlauf kumulativer Arten/Areal-Kurven in zwei Gebietstypen G1 und G2. b) Kumulative hyperbolische Arten/Areal-Kurve. c) HANES-Transformation von b).

werden: Je besser die Punkte zu einer Geraden liegen und je näher der Korrelationskoeffizient an den Wert 1,000 rückt, um so sicherer folgt die Arten/Areal-Kurve einem hyperbolischen Verlauf. Aus der Bestgeraden-Gleichung lassen sich die Hyperbel-Konstanten R und M errechnen: Der Schnittpunkt der Best-Geraden mit der Abszissen-Achse entspricht -M, derjenige mit der Ordinaten-Achse M/R, die Steigung der Geraden beträgt 1/R. M ist die sogenannte „Halbwertsfläche" mit zugehöriger halbmaximaler Artenzahl R/2. Sie wird im folgenden als Minimum-Areal definiert und ist gleichzeitig ein Maß für die Flächen-Heterogenität eines Gebietes. Der Quotient D = R/M wird als Mittlere Arten-Densität definiert.

Eine Reihe bisher in der Literatur publizierten Arten/Areal-Kurven zeigten nach einer entsprechenden Bearbeitung durch den Autor gute bis sehr gute Übereinstimmung mit hyperbolischen Funktionen (vgl. SCHMITT 1999).

3. Erarbeitung statistischer Arten/Areal-Kurven aus Flächenplot-Untersuchungen

Die eigenen Freiland-Untersuchungen betreffen Arten/Areal-Kurven für Höhere Pilze, die in Mitteleuropa mit schätzungsweise 10 000 Arten vertreten sind. Davon sind im Saarland bisher über 3000 Arten nachgewiesen, die Verbreitung, Ökologie und Gefährdung von über 2000 Arten ist bereits in den beiden Bänden des

Tabelle 1: Blätterpilz-Arten (*Agaricales*) auf der Pferdstriebs-Düne/Sandhausen am 12.12.1973 in 4 Plots von je 1000 m², Daten aus WINTERHOFF (1975).

Lfd. Nr.	*Agaricales*-Arten . wissenschaftlicher Name	Vorkommen in 1000 m²-Plot-Nr. I	II	III	IV
1	*Agrocybe pusiola*	x		x	x
2	*Clitocybe barbularum*	x	x	x	x
3	*Clitocybe dealbata*		x		
4	*Clitocybe rivulosa*	x	x	x	x
5	*Galerina laevis*	x	x		x
6	*Galerina vittaeformis*	x	x	x	x
7	*Lepiota alba*	x		x	x
8	*Leptoglossum muscigenum*	x		x	
9	*Marasmius oreades*		x		
10	*Marasmius wynnei*			x	x
11	*Melanoleuca species*	x			
12	*Mycena avenacea*			x	x
13	*Mycena flavoalba*			x	x
14	*Mycena leptocephala*		x	x	x
15	*Mycena pseudopicta*	x	x	x	x
16	*Omphalina cf. obscurata*	x		x	
17	*Omphalina pyxidata*	x			
18	*Psathyrella ammophila*		x	x	
19	*Rhodocybe popinalis*	x			
20	*Rhodophyllus sericeus*	x	x	x	x
21	*Rickenella fibula*			x	x
22	*Stropharia coronilla*				x
23	*Tubaria furfuracea*	x	x	x	x
	Artenzahl pro Plot:	14	11	16	15

„Atlas der Pilze des Saarlandes" (DERBSCH und SCHMITT 1984, 1987) dokumentiert. Die Aufnahme der Pilzflora im Gelände weist besondere Probleme auf:

– die ausgeprägte Phänologie vieler Pilzarten, kombiniert mit sehr kurzlebigen Fruktifikationen im Jahreslauf (bei Pilzen dienen die Fruchtkörper zur Art-Erkennung, die eigentlichen Pilzorganismen leben als Myzel verborgen in Erde, Holz oder anderen Substraten und fruktifizieren vielfach nicht jedes Jahr);

– die schwierige Ansprache vieler Arten ohne

Tabelle 2: Daten zur statistischen Arten/Areal-Kurve für Blätterpilze, Düne bei Sandhausen, vier 1000 m²-Plots, errechnet aus den Daten in Tab. 1, 4! = 24 Plotkombinationen von K1 bis K24.

Komb. Nr.	Reihenfolge der Plots	*Agaricales*-Arten-Summen s für Plotflächensumme von a = 1000 m²		a = 2000 m²		a = 3000 m²		a = 4000 m²	
		s	a/s	s	a/s	s	a/s	s	a/s
K1	I + II + III + IV	14	71,429	18	111,111	22	136,364	23	173,913
K2	II + III + IV + I	11	90,909	19	105,263	20	150,000	23	173,913
K3	III + IV + I + II	16	62,500	18	111,111	21	142,857	23	173,913
K4	IV + I + II + III	15	66,667	20	100,000	23	130,435	23	173,913
K5	I + II + IV + III	14	71,429	18	111,111	23	130,435	23	173,913
K6	II + IV + III + I	11	90,909	18	111,111	20	150,000	23	173,913
K7	IV + III + I + II	15	66,667	18	111,111	21	142,857	23	173,913
K8	III + I + II + IV	16	62,500	20	100.000	22	136,364	23	173,913
K9	I + III + IV + II	14	71,429	20	100,000	21	142,857	23	173,913
K10	III + IV + II + I	16	62,500	18	111,111	20	150,000	23	173,913
K11	IV + II + I + III	15	66,667	18	111,111	23	130,435	23	173,913
K12	II + I + III + IV	11	90,909	18	111,111	22	136,364	23	173,913
K13	I + IV + II + III	14	71,429	20	100,000	23	130,435	23	173,913
K14	IV + II + III + I	15	66,667	18	111,111	20	150,000	23	173,913
K15	II + III + I + IV	11	90,909	19	105,263	22	136,364	23	173,913
K16	III + I + IV + II	16	62,500	20	100,000	21	142,857	23	173,913
K17	I + III + II + IV	14	71,429	20	100,000	22	136,364	23	173,913
K18	III + II + IV + I	16	62,500	19	105,263	20	150,000	23	173,913
K19	II + IV + I + III	11	90,909	18	111,111	23	130,435	23	173,913
K20	IV + I + III + II	15	66,667	20	100,000	21	142,857	23	173,913
K21	I + IV + III + II	14	71,429	20	100,000	21	142,857	23	173,913
K22	IV + III + II + I	15	66,667	18	111,111	20	150,000	23	173,913
K23	III + II + I + IV	16	62,500	19	105,263	22	136,364	23	173,913
K24	II + I + IV + III	11	90,909	18	111,111	23	130,435	23	173,913
Mittelwerte aus 24 Werten:		14,000	72,876	18,833	106,433	21,500	139,914	23,000	173,913
Stand.-Abw. ±:		1,910	11,114	0,917	5,104	1,142	7,451	0	0
MW Rot4=K1+K2+K3+K4:		14,000	72,876	18,750	106,871	21,500	139,914	23,000	173,913
Stand.-Abw.:		2,160	12,563	0,957	5,346	1,291	8,423	0	0

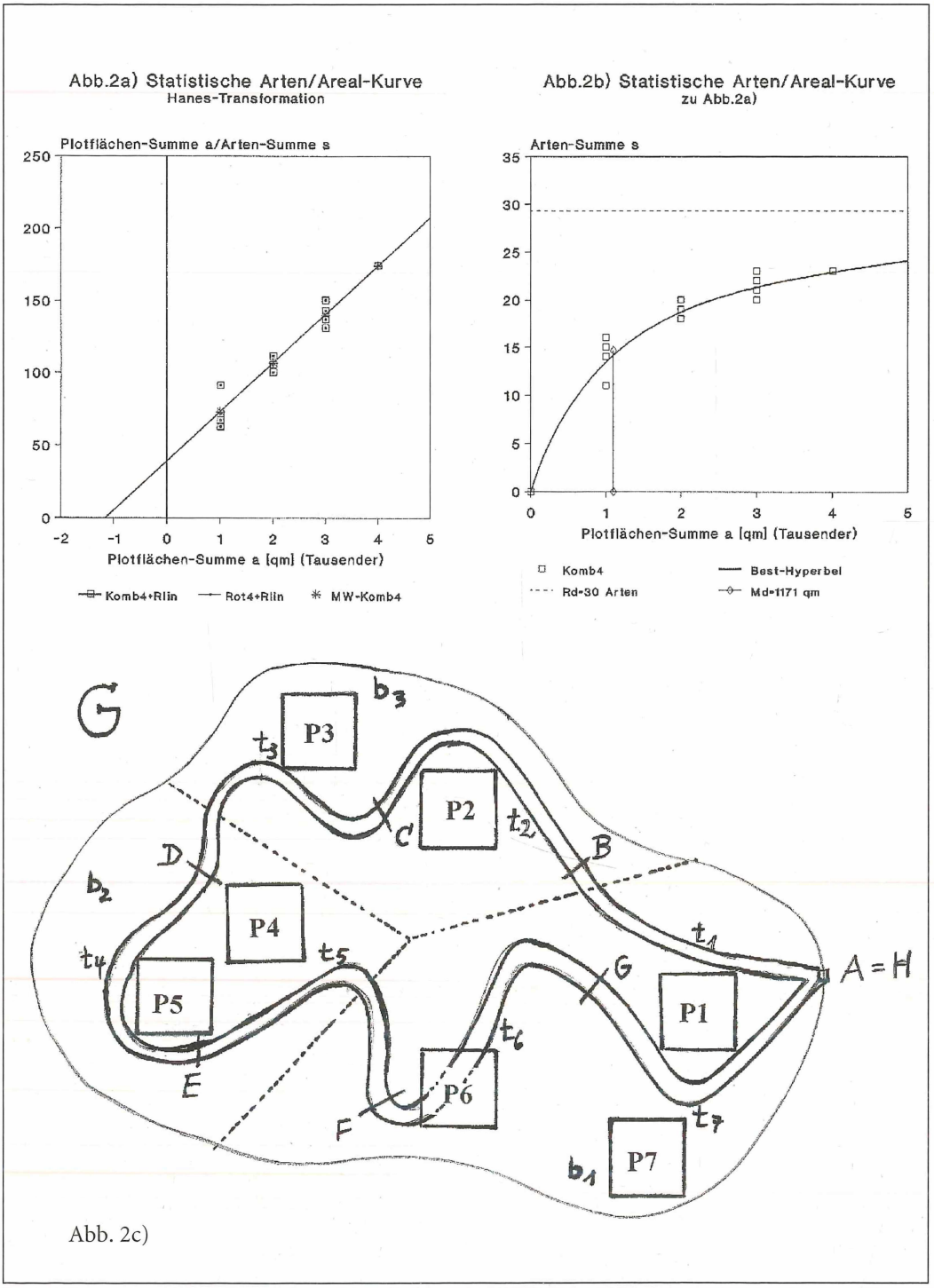

Abb. 2: a) Statistische Arten/Areal-Kurve für Blätterpilzarten (*Agaricales*) in der Düne bei Sandhausen (Daten aus WINTERHOFF 1975), Hanes-Transformation. b) Statistische Arten/Areal-Kurve zu a). c) Flächenplot-Lage (P1 bis P7) bzw. Transekte-Zeitplots (t1 bis t7, B bis G, Beginn bzw. Ende einzelner Zeitplots) in einem Gebietstyp G, bestehend aus drei verschiedenen Biotoptypen (b1 bis b3), Startpunkt A und Endpunkt H.

Kenntnis zusätzlicher mikroskopischer Merkmale, was eine große Erfahrung voraussetzt; außerdem sind kleinstfrüchtige, gut getarnte Arten nur schwer zu entdecken;
– die Ausdehnungen einzelner Pilz-Substrate bzw. -Synusien sind extrem unterschiedlich in ihrer Größe: von wenigen Quadratmillimetern – z.B. bei Pilzen auf einzelnen, liegenden Fichtennadeln – bis zu Hektargrößen bei ausgedehnten Mykorrhizafeldern im Wurzelbereich alter Bäume, wobei Größenordnungen bis zu neun Zehnerpotenzen überstrichen werden.

Jeder Biotop ist ein Mosaik aus Kleinbiotopen bzw. Synusien parasitisch, saprophytisch und symbiotisch lebender ± spezialisierter oder ubiquitärer Pilzarten. Dieser Strukturreichtum führt zu einem Pilzartenreichtum, der – größerflächig gesehen – deutlich höher liegt als der Reichtum z.B. an Blütenpflanzen-Arten.

Das neue Verfahren zur Erarbeitung statistischer, hyperbolischer, kumulativer Arten/Areal-Kurven ist ausführlich in SCHMITT (1999) vorgestellt worden und wird hier an einem Beispiel von bereits 1975 publizierten Pilzarten-Aufnahmen auf einer Dünenfläche bei Sandhausen (aus WINTERHOFF 1975) aus Gründen der Daten-Neutralität erläutert. Auf der insgesamt 6700 m² großen Dünenfläche wurden 4 einander nicht überlappende Probeflächen (Plots) von je 1000 m² abgesteckt und in jedem der 4 Plots die darin fruktifizierenden Arten Höherer Pilze, speziell Blätterpilze (*Agaricales*), erfaßt (Tab. 1). Insgesamt fanden sich in den 4 Plots 23 *Agaricales*-Arten, wobei pro Plot zwischen 11 und 16 Arten nachgewiesen werden konnten. Nur 5 Arten kamen in jedem der 4 Plots vor, 6 Arten jeweils nur in einem der 4 Plots.

Zur Erstellung einer Arten/Areal-Kurve werden nun schrittweise die Plotflächen a von Plot I bis Plot IV addiert (kumuliert) und die in den entsprechenden Plotflächen-Summen vorkommenden, unterschiedlichen Pilzarten s (Arten-Summen) ermittelt (Daten in Tab. 2), z.B. 1. Zeile, Komb.-Nr. K1: Plot I (a = 1000 m²) mit Artenzahl s = 14, Plot I + II (a = 2000 m²) mit der Summe unterschiedlicher Arten aus Plot I und II, d.h. s = 18, Plot I + II + III (a = 3000 m²) mit der Artensumme s = 22 und schließlich Plot I + II + III + IV (a = 4000 m²) mit s = 23 Arten. Die solchermaßen erhaltene einfache Arten/Areal-Kurve ist jedoch nicht identisch mit derjenigen, die sich ergibt, wenn man eine andere Plot-Reihenfolge zur Kumulation auswählt, z.B. K2 (Tab. 2, 2. Zeile) mit der Plotfolge Plot II + III + IV + I. Eine für das Untersuchungsgebiet insgesamt gültige, von der Plotreihenfolge unabhängige, statistisch gesicherte Arten/Areal-Kurve ergibt sich nun als Mittelwert-Kurve aus allen rechnerisch möglichen, unterschiedlichen Plotreihenfolgen – d.h. einfachen Arten/Areal-Kurven. Bei 4 Plots sind dies 4! (4 Fakultät = 1 · 2 · 3 · 4) = 24 Plotfolgen (vgl. Tab 2, K1 bis K24). Bei 5 Plots sind schon 5! = 120, bei 6 Plots 6! = 720 Reihenfolgen zu berücksichtigen.

Die Erarbeitung einer statistischen Arten/Areal-Kurve erfordert also bei Plotzahlen über 4 einen hohen Zeit- und Rechenaufwand. Es zeigte sich jedoch, daß nicht alle Plotreihenfolgen zur Erstellung einer gesicherten Mittelwert-Kurve berücksichtigt werden müssen. Mittelt man am vorgestellten Beispiel die 4 Plotkombinationen K1 bis K4 (Tab. 2), was als Rot4-Statistik bezeichnet wird (da die Plotreihenfolge zwar gleich bleibt, aber jeweils mit einem anderen Plot gestartet wird), so ergibt sich im Vergleich zur Berücksichtigung aller 24 Plotkombinationen, was als Komb4-Statistik bezeichnet wird, nur in einem einzigen Mittelwert eine Abweichung von 0,4 %. Dies wirkt sich kaum auf den Verlauf der Mittelwertkurve aus. Durch die Anwendung des Rot-Verfahrens vermindert sich der Rechenaufwand erheblich: Anstatt der n! Kombinationen bei n Plots (Komb-Statistik) müssen nur n Plotreihenfolgen, d.h. einfache Arten/Areal-Kurven, aufgestellt und gemittelt werden. Noch ein wichtiger Punkt zur Berechnung der Mittelwerte: Da die einfachen Arten/Areal-Kurven (K1 bis K4) und auch die daraus entstehende Mittelwert-Kurve nichtlinear sind, dürfen die Flächen- bzw. Arten-Summen-Einzelwerte nicht einfach arithmetrisch gemittelt werden. Sie müssen erst in Punkte der linear transformierten Kurve, d.h. der HANES-Transformation (vgl. Gl. 2), umgerechnet werden. Man berechnet also die a/s-Quotienten für alle einfachen Arten/Areal-Kurven (K1 bis K24 in Tab. 2) und trägt sie gegen die entsprechenden Flächenplot-Summen als Komb4 auf (Abb. 2a). Über lineare Regression in der HANES-

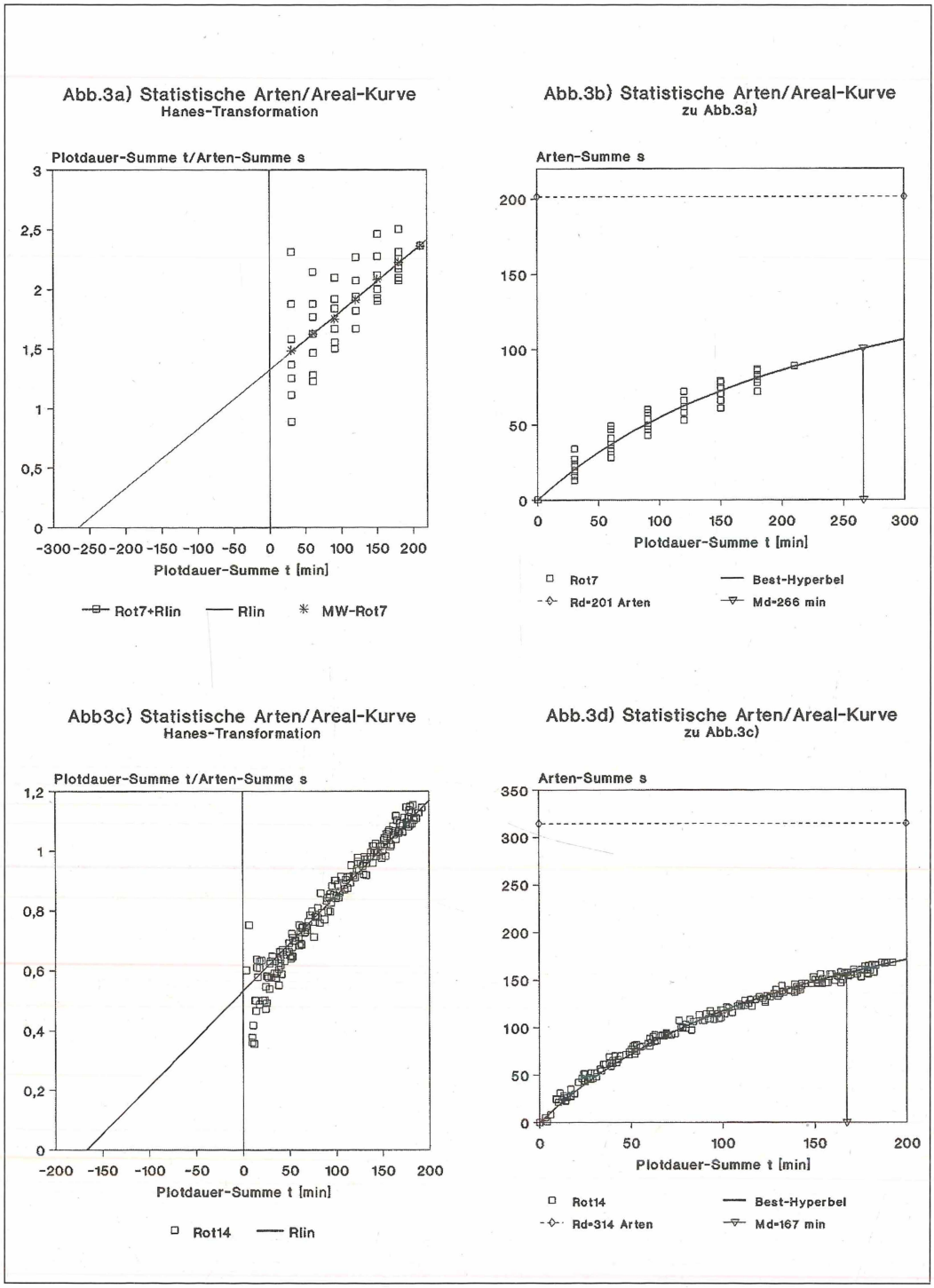

Abb. 3: a) Statistische Arten/Areal-Kurve für Blätterpilzarten s.l. im Fechinger Wald/Saarbrücken, Aufnahmedatum 5.9.1995, HANES-Transformation. b) Statistische Arten/Areal-Kurve zu a). c) Statistische Arten/Areal-Kurve für Blätterpilzarten s.l. im Kappwald/Türkismühle, Aufnahmedatum 24.9.1992, HANES-Transformation. d) Statistische Arten/Areal-Kurve zu c).

Transformation erhält man die Best-Gerade (Abb. 2a). Die Mittelwerte der zu mittelnden einfachen Arten/Areal-Kurven liegen bei dem voranstehenden praktischen Beispiel der Düne mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,999 (Idealwert: 1,000) zur Bestgeraden, aus deren Funktionsgleichung sich die Konstanten der zugrunde liegenden hyperbolischen, statistischen Arten/Areal-Kurve berechnen lassen: Rd = 29,7 Arten, Md = 1171 m² (der Zuzsatzbuchstabe d bedeutet: Tagesaufnahme), sie hat die Form (**Gl. 3**):

Gl. 3: $s = 29{,}7 \cdot a/(1171 + a)$

und ist in Abb. 2b dargestellt. Im Gebietstyp „Sandhausener Düne" würden bei deren unendlich großer Ausdehnung maximal rund 30 Blätterpilzarten am Aufnahmetag zu erwarten sein, wobei die Hälfte davon – statistisch gesehen – schon in einer Teilfläche von Md = 1171 m² = Halbwertsfläche bzw. Minimum-Areal auftritt.

4. Zeitplot-Aufnahmen zur Erstellung statistischer Arten/Areal-Kurven.

Anstatt Flächenplots von meist quadratischem Grundriß in den Untersuchungsgebieten festzulegen, kann man auch Streifenplots bzw. Transekteplots (Schnittbahnen) im Gebiet G markieren (Beispiel in Abb. 2c). Noch einfacher ist es, bei statistisch gleichbleibender Flächenbeobachtungs-Geschwindigkeit Zeitplots t (in Minuten) festzulegen, in denen man auf streifenförmigem Weg das Gebiet G begeht und in jedem Zeitplot alle Pilzarten neu aufnimmt. Auch hier gilt, keine Flächen überschneidend aufzunehmen. Für den Autor hat sich bei vielen Gängen ein statistisches Mittel von 55,7 m² pro Minute als mittlere Flächenbeobachtungs-Geschwindigkeit ergeben, wodurch sich folgende Umrechnungsgleichung (**Gl. 4**) für die Flächenplot-Berechnung ergibt:

Gl. 4: $a = 55{,}7 \cdot t\ [m^2]$

In 30 min werden also durchschnittlich 1671 m² Fläche pilzfloristisch erfaßt.

Es folgen einige Beispiele eigener Pilzarten-Aufnahmen in Wäldern des Saarlandes zur Erstellung von Arten/Areal-Kurven, wobei die umfangreichen Artenlisten zu den hier gezeigten grafischen Darstellungen in SCHMITT (1999) zu finden sind. In Abb. 3a,b sind die Ergebnisse zur statistischen Arten/Areal-Kurve des Gebietes Fechinger Wald (bei Saarbrücken) am 5.9.1995 dargestellt, die aus 7 Transekteplots à 30 min über die Rot7-Statistik erhalten wurden. Trotz der Streuung der 7 einfachen Arten/Areal-Kurven liegen deren Mittelwerte in der HANES-Grafik (Abb. 3a) exakt auf einer Geraden, die zugehörige hyperbolische, statistische Arten/Areal-Kurve (Funktionsgleichung in **Gl. 5**) ist in Abb. 3b zu sehen.

Gl. 5: $s = 201 \cdot t/(266 + t)$ bzw. $s = 201 \cdot a/(14816 + a)$

Der untersuchte Gebietstyp aus einem Mosaik von Kalk-Laubwäldern zeigt am Aufnahmetag einen Artengrenzwert von Rd = 201 Pilzarten, die Halbwertsfläche ist nach 266 min bearbeitet und beträgt Md = 14 816 m².

Das nun folgende Beispiel zeigt, daß die Plots nicht immer gleich groß sein müssen und trotzdem für die Erstellung einer Arten/Areal-Kurve kombiniert werden können. Ein Gebietstyp mit verschiedenen Eichenwäldern sowie forstlichen Nadelholz-Beständen auf sauren Eruptivgesteinsböden ist der Kappwald bei Türkismühle. Hier wurde eine statistische Arten/Areal-Kurve als Rot14-Statistik aus 14 verschieden langen Zeitplots am 24.9.1992 erarbeitet (vgl. Abb. 3c,d). Bei ungleichen Plotgrößen müssen alle Einzelwerte der im vorliegenden Beispiel 14 einfachen Arten/Areal-Kurven in der HANES-Transformation zur linearen Regression verwendet werden, eine vorherige Mittelwert-Bildung wie z.B. in Tab. 2 ist nicht möglich. In der HANES-Auftragung (Abb. 3c) fällt die enge und symmetrische Streuung der Experimentaldaten um die Best-Gerade auf, nur die Werte bei den kürzesten Zeitplots – d.h. kleiner Gebietsflächen – weisen stärkere Schwankungen auf. Aus der Best-Geraden leitet sich ein Arten-Grenzwert von Rd = 314 Pilzarten sowie eine Halbwertsfläche (Minimum-Areal) von Md = 9302 m² ab. Die statistische Arten/Areal-Kurve (Abb. 3d) hat folgende Funktionsgleichung (**Gl. 6**):

Gl. 6: $s = 314 \cdot t\ (167 + t)$ bzw. $s = 314 \cdot a/(9302 + a)$

Die statistische Arten/Areal-Kurve für das Naturschutzgebiet (NSG) „Oberthaler Bruch" wurde am 24.9.1992 erarbeitet. Das Gebiet um-

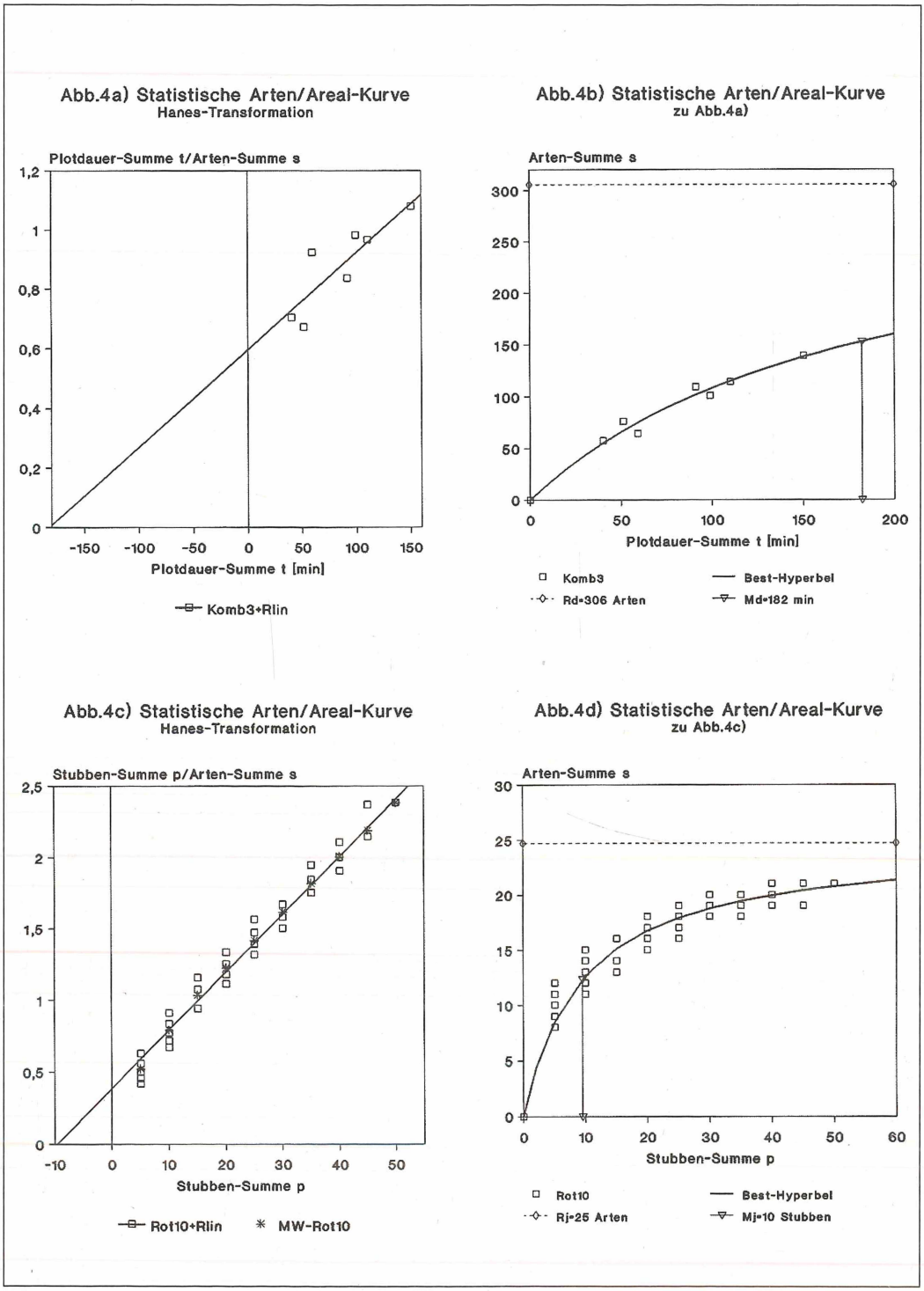

Abb. 4: a) Statistische Arten/Areal-Kurve für Blätterpilzarten s.l. im NSG „Oberthaler Bruch"/Oberthal, Aufnahmedatum 24.9.1992, HANES-Transformation. b) Statistische Arten/Areal-Kurve zu a).c) Statistische Arten/Stubbenzahl-Kurve für Pilzarten an 3 bis 5 Jahre toten Eichenstubben (*Quercus robur/petraea*), Daten aus BRAUN (1973), HANES-Transformation. d) Statistische Arten/Stubbenzahl-Kurve zu c).

faßt Nadelholzforste, Hainsimsen-Rotbuchen-Wälder, Eichen-Hainbuchen-Mittelwald, Bachtal-Randgehölze und vernäßte Brachwiesen mit Torfmoos-Flächen auf sauren Böden über Vulkanitgestein. Aus der Aufnahme drei verschieden langer Zeitplots wurde die statistische Arten/Areal-Kurve (Abb. 4b, **Gl. 7**) als Komb3-Statistik erarbeitet und aus der in der HANES-Auftragung (Abb. 4a) errechneten Best-Geraden ihre Konstanten Rd und Md berechnet:

Gl. 7: $s = 306 \cdot t/(182 + t)$ bzw. $s = 306 \cdot a/(10137 + a)$

Trotz unterschiedlicher Artenspektren zeigen das Naturschutzgebiet einerseits und der Kappwald andererseits vergleichbare Arten/Areal-Kurven: Die Artengrenzwerte Rd liegen nur $\pm$ 1 % auseinander, die Minimum-Areale Md weichen ca. 10 % voneinander ab. Das Gebiet Kappwald ist – obwohl nicht als Schutzgebiet ausgewiesen – vom Standpunkt der Pilz-Artenzahl als ebenbürtig mit dem NSG anzusehen, jedoch sind die zugrundeliegenden Pilz-Artenspektren deutlich verschieden. Wegen der ausgeprägten Phänologie der Pilze ist es jedoch nur sinnvoll, Arten/Areal-Kurven verschiedener Gebiete miteinander zu vergleichen, wenn sie am gleichen Datum bzw. nur wenige Tage zeitlich voneinander entfernt aufgenommen wurden.

5. Schutzgebietsgröße-Festlegung aufgrund der Arten/Areal-Kurve

Ein weiterer, besonders wichtiger Nutzungsaspekt der hyperbolischen, statistischen Arten/Areal-Kurven ist die Festlegung von Mindest-Flächengrößen für Naturschutzgebiete aufgrund der Kurvenkonstanten M, die in vorliegender Arbeit als Minimum-Areal definiert ist. Dies wird am Beispiel des NSG „Oberthaler Bruch" demonstriert. In einem Schutzgebiet sollte die Artenausstattung in der Fläche entscheidender als eine vorgegebene absolute Flächengröße sein. Setzt man den Artengrenzwert der Arten/Areal-Kurve des Gebietes R = 100 %, so ergeben sich aus der Funktionsgleichung der Hyperbelfunktion (**Gl. 1**) folgende Gebietsflächengrößen – als Vielfache von M – für bestimmte %-Sätze des Artengrenzwertes R, wobei für das praktische Beispiel des NSG's die ha-Flächen über **Gl. 7** entsprechend berechnet wurden:

Artenzahl 90 % R in Gebietsfläche 9 · M, = 9 ha für NSG „Oberthaler Bruch"

Artenzahl 95 % R in Gebietsfläche 19 · M, = 19 ha für NSG „Oberthaler Bruch"

Artenzahl 98 % R in Gebietsfläche 49 · M, = 50 ha für NSG „Oberthaler Bruch"

Artenzahl 99 % R in Gebietsfläche 99 · M, = 100 ha für NSG „Oberthaler Bruch"

Die aktuelle Flächengröße des NSG's beträgt z.Zt. 50 ha, d.h. 98 % der im Gebietstyp zu erwartenden Pilzarten sind im NSG vorhanden. Wollte man 99 % sichern, müßte die Schutzgebietsfläche verdoppelt werden.

Es wird nun vorgeschlagen, für ein Schutzgebiet als Mindestforderung 99 % der Grenzartenzahl R des Gebietstyps als Ziel festzulegen. Daraus folgt, daß die Schutzgebietsfläche mindestens 99 · M groß sein muß. Im gleichen Gebiet erhält man für verschiedene Organismengruppen (z.B. Pflanzen, Tiere, Pilze) unterschiedliche Arten/Areal-Kurven, die sich nicht nur im Artengrenzwert R sondern auch im Minimum Areal M unterscheiden. Für die Festlegung der Mindest-Flächengröße des Schutzgebietes sollte dann der höchste M-Wert ausschlaggebend sein.

6. Wahl der Aufnahmebedingungen zu Arten/Areal-Kurven

Die Plotgröße ist entscheidend für die Gewinnung optimaler Daten zur Erstellung einer hyperbolischen Arten/Areal-Kurve. Aufgrund der gekrümmten Form dieser Kurve sind Plots in der Größenordnung der Konstanten M am günstigsten, wie sich aus der jahrelangen, vielfältigen Nutzung dieses Kurventyps bei Enzymkinetiken in der Biochemie herausgestellt hat. Gut verwendbare Plotgrößen liegen also zwischen M/4 und M, davon müssen mindestens 2, besser aber 4 bis 10 Plots bearbeitet werden, wobei nicht alle Plots unbedingt gleich groß sein müssen. Die Aufnahmen können in einzelnen Pflanzengesellschaften, aber auch in größerflächigen Pflanzengesellschafts-Mosaiken durchgeführt werden, wobei im letzteren Fall verständlicherweise die Minimum-Areale

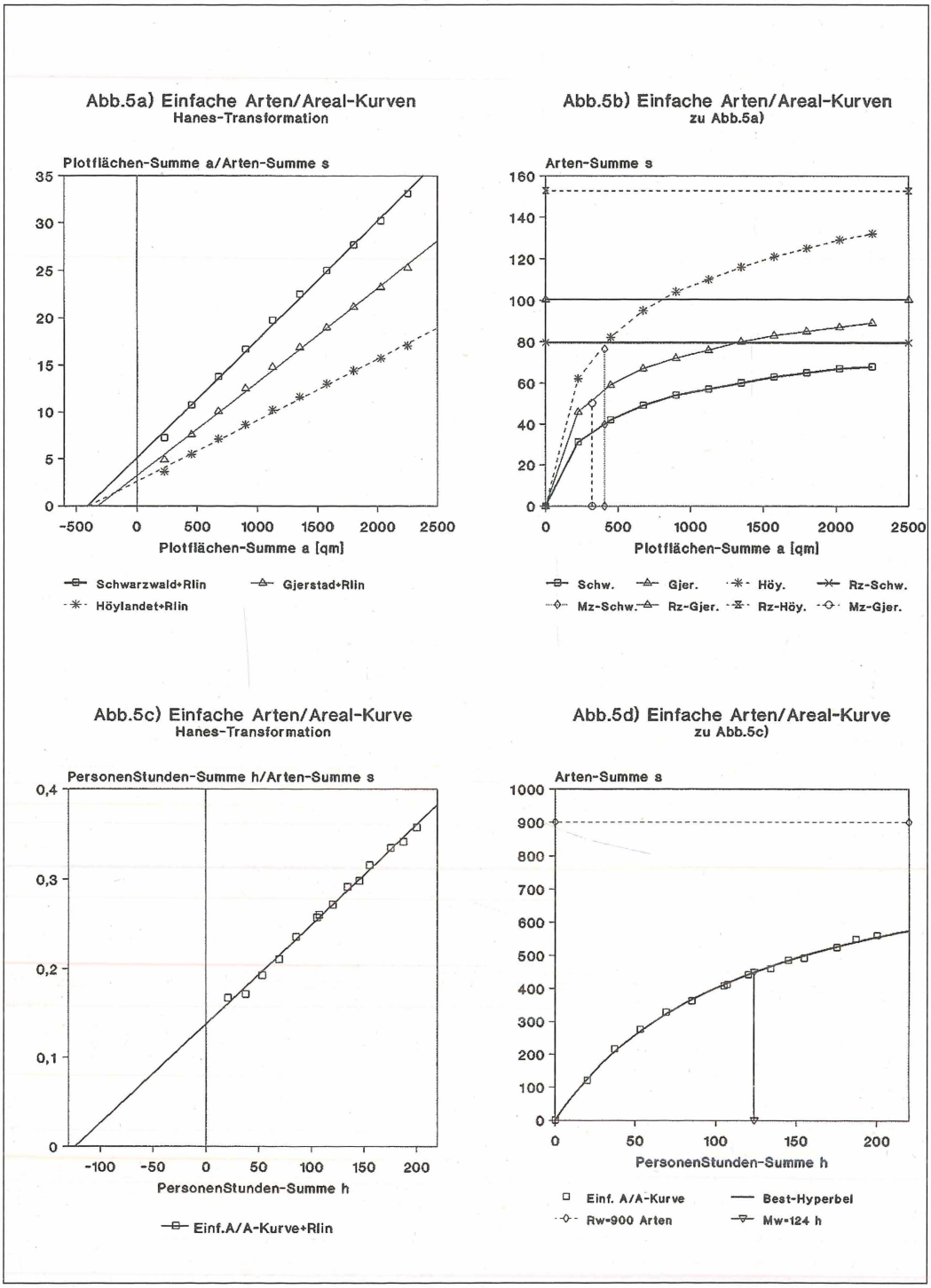

Abb. 5: a) Einfache Arten/Areal-Kurven von Mykorrhizapilzarten in drei oligotrophen Fichtenwäldern (Norwegen, Schwarzwald), Kumulation dreijähriger Beobachtungen in je 10 Flächenplots à 225 m² (Daten aus GULDEN ET AL 1992), HANES-Transformationen. b) Einfache Arten/Areal-Kurven zu a). c) Einfache Arten/Areal-Kurve von Schmetterlingsarten im Herbst 1989, Nationalpark Pakitza/Peru (Daten aus LAMAS ET AL 1991), Plotdimension ist die Beobachtungsdauer in PersonenStunden, HANES-Transformation. d) Einfache Arten/Areal-Kurve zu c).

größer werden. Die Größe der Minimum-Areale Md für Pilze (insbesondere Blätterpilze) liegen nach den bisherigen Erfahrungen bei etwa 1000 m² im Falle von Grasland, in Wäldern jedoch deutlich höher mit Werten zwischen 3000 und 15000 m².

Neben den bisher bearbeiteten, über 100 eigenen Aufnahmen von Pilzarten zur Erstellung statistischer Arten/Areal-Kurven in saarländischen Gebieten (vgl. SCHMITT 1999) wurden eine Reihe von Literaturdaten diesbezüglich aufgearbeitet und zeigten ebenfalls vergleichbare Kurvenverläufe. Nicht nur Großpilze, sondern auch mikroskopisch kleine Bodenpilze in verschiedenen Bodenhorizonten zeigten hyperbolische Arten/Areal-Kurven. Auch das folgende Beispiel von Baumstubben mit ihrer Besiedlung durch holzabbauende Pilze (Daten aus BRAUN 1973) über einen 1-Jahreszeitraum zeigt eine hyperbolische statistische Arten/„Areal"-Kurve (Abb. 4c,d), genauer eine Arten/„Baumstubben-Summe"-Kurve im Falle von 50 untersuchten Eichenstubben. Hierbei wurden wegen der großen Plotzahl jeweils 5 Stubben zu einem Plot zusammengefaßt und daraus eine Rot10-Statistik erstellt. Der Artengrenzwert beträgt Rj = 25 Arten (j = Jahreszeitraum), das „Minimum-Areal" M, hier die Stubbenzahl, an welcher der halbmaximale Artengrenzwert Rj/2 an Arten auftritt, liegt bei 10 Stubben. Diese über ein Jahr zusammengefaßte Pilzaufnahme leitet über zum nächsten Abschnitt.

7. Zeitabhängige Arten/Areal-Kurven

Eine andere Form integraler Arten/Areal-Kurven ergibt sich, wenn gleiche Flächenplots in einem Untersuchungsgebiet über längere Zeiten, sogar mehrere Jahre hindurch, regelmäßig auf dort vorkommende Arten überprüft werden. Ein erstes Beispiel hierfür ist das vorhergehende Beispiel (Abb. 4c,d). Ein länderübergreifender Fall ist die Untersuchung oligotropher Fichtenwälder in Norwegen bzw. im Schwarzwald (GULDEN 1992), wo über 3 Folgejahre hinweg die Großpilze in jeweils 10 Flächenplots à 225 m² in den drei Untersuchungsgebieten aufgenommen wurden. Die daraus resultierenden integralen, kumulativen Arten/Areal-Kurven (Abb. 5a,b) zeigen hyperbolischen Verlauf (in der HANES-Transformation sind es Geraden) mit folgenden charakteristischen Konstanten Rz, Mz und Dz (z wegen der mehrjährigen Aufnahmezeit):

Schwarzwald: Rz = 80 Arten, Mz = 408 m², Dz = 0,2 Arten/m²

Gjerstad: Rz = 100 Arten, Mz = 322 m², Dz = 0,3 Arten/m²

Hoylandet: Rz = 153 Arten, Mz = 394 m², Dz = 0,4 Arten/m²

Von den drei untersuchten Gebieten war der Schwarzwald am stärksten immissionsbelastet und weist die niedrigste Grenz-Artenzahl Rz auf, während die Halbwertsfläche Mz derjenigen der norwegischen Gebiete nahekommt.

Je nach Aufnahmemodus sind die Arten/Areal-Kurven von unterschiedlicher Aussage:

1) Arten-Aufnahme an einem festen Datum (Tag) in n Teilflächen (Plots) eines Gebietes G, es resultiert eine statistische, kumulative Arten/Areal-Kurve als Flächengröße-bezogene Funktion für ein Gebiet G mit den „Tages"-Konstanten Rd, Md und Dd, welche die Situation im Gebiet G zu dem Untersuchungszeitpunkt beschreibt: sd = f(a).

2) Arten-Aufnahme an m verschiedenen Terminen über ein Jahr hinweg in festgelegten n Teilflächen eines Gebietes G. Das gesamte Artenspektrum der n Teilflächen an jedem der m Termine bildet jetzt die Basis für eine zeitbezogene, statistische, kumulative Arten/Areal-Kurve, welche die Zunahme der Artensumme für alle n Teilflächen mit Zunahme der berücksichtigten, kumulierten Termin-Anzahl dokumentiert: sj = f(m). Sie gibt die Artenausstattungs-Situation in einem Teilbereich (Plotflächensumme) des Gebietes G innerhalb eines Jahres an und enthält die Konstanten Rj, Mj und Dj. Rj ist die maximal erreichbare Artenzahl im Jahr, wenn die Zahl der Beobachtungstermine unendlich groß wird. Mj gibt an, wieviele Beobachtungstermine nötig sind, um die halbe maximale Jahresartenzahl Rz/2 nachzuweisen.

3) Arten-Aufnahme in z verschiedenen Jahren, wobei in festgelegten n Teilfächen eines Gebietes G die Artenspektren an m Terminen pro Jahr aufgenommen und kumuliert werden. Es resultiert eine jahresabhängige, statistische, kumulative Arten/Areal-Kurve, welche die Zunahme der Jahres-Artenzahl der Pilze in der

Plotflächensumme über mehrere Jahre darstellt: sz = f(z) mit den Konstanten Rz, Mz und Dz. Rz ist die Grenzartenzahl, die in der Plotflächensumme eines Gebietes G nach unendlich vielen Jahren auftritt – wenn sich das Gebiet in dieser Zeitperiode nicht merklich verändert. Mz gibt an, wieviele Jahre man beobachten muß, um die Hälfte dieser Grenzartenzahl, also Rz/2 zu beobachten.

4) Kombiniert man 2) und 3) so kann man, wie in SCHMITT 1999 (dort S. 142-146) ausführlich dargelegt, die absoluten Grenzwerte für Rz als RRz und für Mz als MMz-Werte berechnen. Diese Werte geben die Daten für unendlich dichte Beobachtungen innerhalb eines Jahres über unendlich viele Jahre an, d.h. Beobachtungsdichte-unabhängige, absolute Werte für den untersuchten Teil des Gebietes G.

8. Arten/Areal-Kurven anderer Organismengruppen

Eine Reihe Arten/Areal-Aufnahmen anderer Organismengruppen aus der Literatur wurden mit dem hier vorgestellten Verfahren zu einfachen bzw. statistischen Arten/Areal-Kurven verarbeitet, z.B. von Pflanzen, Insekten, Korallen, Weichtieren, Vögeln und Schmetterlingen. Fast immer zeigt sich eine gute bis sehr gute Übereinstimmung ihrer Verläufe mit hyperbolischen Funktionen. Am Beispiel der Tagfalter (Daten aus LAMAS 1991) ist dies in Abb. 5c,d dargestellt, wobei die Artenzahl (Artensumme) innerhalb eines zweiwöchigen Zeitraumes im September des Jahres 1989 als Funktion der Beobachtungsdauer (Personen-Stunden-Summen) aufgetragen ist. Der Artengrenzwert dieser einfachen, kumulierten Arten/Areal-Kurve beträgt: Rw = 900 Arten, die „Halbwertszeit" Mw zur Beobachtung der halben Grenzartenzahl, d.h. Rw/2, beläuft sich auf 124 PersonenStunden (w bedeutet: auf wenige Wochen bezogen).

Literatur

BRAUN, L. (1973): Holzbewohnende Großpilze an *Fagus*-, *Quercus*- und *Picea*-Stubben. Zulassungsarbeit zur Ersten Prüfung für das Lehramt an Grund- und Hauptschulen. Pädagog. Hochschule Heidelberg.

DERBSCH, H. und SCHMITT, J.A. unter Mitarbeit von GROß, G. und HONCZEK, W. (1984): Atlas der Pilze des Saarlandes, Teil 1: Verbreitung und Gefährdung. – Aus Natur und Landschaft im Saarland, Sonderband 2. – Der Minister für Umwelt, Raumordnung und Bauwesen des Saarlandes und die Delattinia, Arbeitsgemeinschaft für tier- und pflanzengeographische Heimatforschung im Saarland e.V. [Hrsg.]. Saarbrücken.

DERBSCH, H. und SCHMITT, J.A. unter Mitarbeit von GROß G., und HONCZEK, W. (1987): Atlas der Pilze des Saarlandes, Teil 2: Nachweise, Ökologie, Vorkommen, Beschreibungen. Aus Natur und Landschaft im Saarland, Sonderband 3. Der Minister für Umwelt und die Delattinia, Arbeitsgemeinschaft für tier- und pflanzengeographische Heimatforschung im Saarland e.V. [Hrsg.]. Saarbrücken.

GULDEN, G., HØILAND, K., BENDIKSEN, K., BRANDRUD, T.E., FOSS, B.S., JENSSEN, H.B. und LABER, D. (1992): Macromycetes and air pollution. Mycocoenological studies in three oligotrophic spruce forests in Europe. – Bibliotheca mycol. **144**, 1-81.

HANES, C.S. (1932): Studies on plant amylases. The effect of starch concentration upon the velocity of hydrolysis by the amylase of germinated barley. Biochem. J. **26**, 1406-1421.

ILVESSALO, Y. (1922): Vegetationsstatistische Untersuchungen über die Waldtypen. Acta Forestalia Fennica **20**, 1-73.

LAMAS, G., ROBBINS, R.K. und HARVEY, D.J. (1991): A preliminary survey of the Butterfly Fauna of Pakitza, Parque nacional del Manu, Peru, with an estimate of its species richness. Publ. Mus. Hist. nat. UNMSA (A) **40**, 1-91.

SCHMITT, J.A. (1999): Neues zum Informationsgehalt von Arten/Areal-Kurven – Die Ermittlung von Arten-Diversität R, Minimum-Areal M und Mittlerer Arten-Diversität D aus Teilflächen-Untersuchungen eines Gebietes über die Statistische, Hyperbolische, Kumulative Arten/Areal-Kurve am Beispiel Höherer Pilze. Abh. Delattinia **25**, 67-210.

WINTERHOFF, W. (1975): Die Pilzvegetation der Dünenrasen bei Sandhausen (nördliche Oberrheinebene). Beitr. naturk. Forsch. Südw.-Dtschl. **34**, 445-462. Dazu: ausführliche Original-Feldaufnahmen und Plotaufnahmen als Manuskript.

Anschrift des Verfassers:
Dr. JOHANNES A. SCHMITT, FR Biochemie, Geb. 9, Universität des Saarlandes, Postfach D-66123 Saarbrücken

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Boletus - Pilzkundliche Zeitschrift

Jahr/Year: 2001

Band/Volume: 24

Autor(en)/Author(s): Schmitt Johannes A.

Artikel/Article: Statistische Arten/Areal-Kurven und ihre Nutzung in überregionalen Diversitätsfragestellungen bei Pilzen* 97-110