

Statistische Auswertungsverfahren in der deutschen Archäobotanik – ein Werkstattbericht

Jutta Lechterbeck

Zusammenfassung – Quantitative Verfahren werden in der deutschen Archäobotanik auffallend weniger genutzt als etwa in Großbritannien oder den USA, Skandinavien oder der Schweiz. Der deutsche Forschungsstand in Großrest- und Pollenanalyse wird im Folgenden nach den Ergebnissen einer Umfrage und der Literatur dargestellt und evaluiert. Ausgehend von der besonderen archäobotanischen Datenstruktur werden verschiedene Ansätze quantitativer Auswertung vorgestellt, wobei insbesondere Indexbildungen und multivariate Verfahren berücksichtigt werden.

Schlüsselwörter – Archäobotanik, Pollenanalyse, Großrestanalyse, Statistik, Datenbanken, Indices, Diversitätsindices, multivariate Verfahren, Clusteranalysen, Hauptkomponentenanalyse, Korrespondenzanalyse

Abstract – In German archaeobotany quantitative methods are not as widely used as in Great Britain, USA, Scandinavia or Switzerland. This state-of-the-art article summarises and evaluates the quantitative approaches used in German macroremain- and pollen analysis. It is based on an inquiry among colleagues and the literature. Considering the specific structure of archaeobotanical data different methods of quantitative analysis are introduced, with special regard to indices and multivariate statistics.

Keywords – archaeobotany, pollenanalysis, macroremains, statistics, databases, indices, diversity indices, multivariate statistics, cluster analysis, principal components analysis, correspondence analysis

Einleitung

Statistische Verfahren sind wichtige Werkzeuge zur Auswertung großer Datenmengen, wie sie auch in Archäobotanik und Vegetationsgeschichte zunehmend anfallen. Hier soll der Stand der Anwendung numerischer Auswertungsverfahren in Deutschland vorgestellt werden. Ausgeschlossen werden Klimarekonstruktionen auf der Basis von pollenanalytischen Daten, die letztlich auf externen Daten, z.B. rezenten Pollenspektren, beruhen. (z.B. KLOTZ 1999; KÜHL et al. 2002; KÜHL & LITT 2003).

Großrest- und Pollenanalyse entstanden unabhängig voneinander. Da sich heute die Analyse von Großresten aus archäologischen Zusammenhängen und die holozäne Pollenanalyse gleichermaßen mit dem Einfluß des Menschen auf die Umwelt beschäftigen, werden sie unter Archäobotanik zusammengefasst (zur Forschungsgeschichte: WILLERDING 1978; JACOMET & KREUZ 1999; BEUG 2003). Während in der angelsächsisch-skandinavischen Forschungslandschaft statistische Verfahren in der Archäobotanik etabliert sind (vgl. JONES 1991; BIRKS & GORDON 1985) ist die Situation in Deutschland eine völlig andere: Quantitative Auswertungsverfahren werden hierzulande kaum angewendet.

Daten

In der Großrestanalyse werden verschiedenste botanische Materialklassen erfaßt. Botanische Materialklassen sind Pollen, Sporen, Samen, Früchte, Holzkohlen, unverkohlte Holzstücke, Rinden sowie vegetative Pflanzenteile. Aber auch nicht-botanische Materialklassen werden aufgenommen, so etwa Steine, Ziegelfragmente, Knochen oder Schnecken (JACOMET & KREUZ 1999, 123). Archäobotanische Reste können in der Regel nicht mit einem Pflanzenindividuum identifiziert werden, das Konzept der Mindestindividuenzahl ist also in der Großrestanalyse nicht sinnvoll anwendbar (JONES 1991, 65).

Die Funde werden also auf unterschiedlichen biologischen Niveaus bestimmt, etwa Art, Gattung, Typ. Dazu analog liegen archäobotanische Daten häufig auch räumlich und zeitlich auf unterschiedlichen archäologischen Niveaus, so können sie z.B. für eine Schicht, eine Grube oder für die gesamte Grabung erhoben werden.

Diese unterschiedlichen Aufnahme-niveaus haben zur Folge, daß archäobotanische Daten auch auf unterschiedlichen mathematischen Skalenniveaus vorliegen: „Skala“ ist gewissermaßen die Meßplatte auf der die Ausprägung einer Eigenschaft abgetragen wird. Je nachdem, in welcher Art und Weise eine Eigenschaft eines Objektes in Zahlen ausgedrückt werden kann, unterscheidet man Skalen mit unterschiedlichen Skalenniveaus (BACKHAUS et al. 2000, XVIII). Die

Beispiel	Mögliche rechnerische Handhabung	Merkmale	Skala	
"531 Weizenkörner"	Addition, Division, Multiplikation	Skala mit gleichgroßen Abschnitten und natürlichem Nullpunkt	Ratio-Skala	metrische Skalen
"2376 v. Chr."	Subtraktion, Mittelwert	Skala mit gleichgroßen Abschnitten ohne natürlichen Nullpunkt	Intervallskala	
"Druschreste Häufigkeitsklasse 2"	Median, Quantile	Rangwert mit Ordinalzahlen	Ordinalskala	nicht-metrische Skalen
"Holzkohle vorhanden"	Bildung von Häufigkeiten	Klassifizierung qualitativer Eigenschaftsausprägungen	Nominalskala	

Abb. 1 Skalenniveaus archäobotanischer Daten. Je höher das Skalenniveau, desto größer ist auch der Informationsgehalt der betreffenden Daten und desto mehr Rechenoperationen lassen sich ausführen.

Struktur der Datenerfassung bildet die Grundlage für in der Folge anwendbare Rechenoperationen (Abb. 1). Je nach Fragestellung, Wichtigkeit, Häufigkeit und Arbeitsaufwand werden die Materialklassen in der Archäobotanik unterschiedlich erfasst.

Datenbanken

Es gibt in Deutschland relativ früh Versuche, vegetationsgeschichtliche Daten zentral zu erfassen. So wird seit 1971 am Göttinger Albrecht-von-Haller-Institut für Pflanzenwissenschaften, Abteilung für Palynologie und Quartärwissenschaften eine Pollen-Datenbank geführt, die aus dem berechtigten archivalischen Interesse entstand, alle in Deutschland vegetationsgeschichtlich untersuchten Lokalitäten zu erfassen und die dazugehörige Literatur zugänglich zu machen (BEUG 1994). Kodiert wurden auf Lochkarten Ort, Zeitstellung, Angaben zu Sedimentation und Vegetationsgeschichte sowie die zugehörigen Literaturangaben. Seit 1997 läuft die Umstellung des Lochkartensystems auf eine PARADOX Datenbank. Die Originalliteratur wird in der quartärbotanischen Institutsbibliothek gesammelt. In der Datenbank werden keine Rohdaten zugänglich gemacht. Anfragen können direkt an das Göttinger Institut gerichtet werden (CHRISTIANSEN 2001).

Eine Literaturdatenbank archäologisch nachgewiesener Kulturpflanzen betreut H. Kroll in Kiel (PASTERNAK & ARCHEBOT 2004). Die Datenbank beruht auf den Bibliographien, die J. SCHULTZEMOTEL von 1968 bis 1994 und H. KROLL von 1995

bis 2001 publiziert hatten. Eine Nutzung der Datenbank ist über das Internet möglich.

Seit Ende der 90er Jahre wird von der Kommission für Archäologische Landesforschung in Hessen unter der Federführung von A. KREUZ (dies. & SCHÄFER 2002) eine archäobotanische Datenbank für Großreste aufgebaut. Diese Datenbank macht insbesondere Metadaten und archäobotanische Rohdaten aus Hessen zugänglich. Die Datenbankstruktur wird kostenlos weitergegeben. Ziel dieser Entwicklung ist nicht eine zentrale Datenbank, sondern die Verbreitung eines einheitlichen Datenbanksystems für alle Arbeitsgruppen, so daß in Zukunft der Austausch jederzeit gewährleistet ist.

Quantitative Auswertung

Um den „state of the art“ der in Deutschland verwendeten Methoden zu ermitteln, wurde eine bundesweite Umfrage durchgeführt. Alle in Deutschland archäobotanisch tätigen Arbeitsgruppen wurden angeschrieben und um Auskunft gebeten. Die Resonanz war erfreulich hoch und das Umfrageergebnis belegt ein aufkeimendes Interesse an quantitativen Auswertungsverfahren in Deutschland.

Indices

Indexzahlen dienen dem Vergleich und werden formal als Quotient zweier Funktionen gleichen Typs

gebildet (HIPPMANN 1995, 58). Indices werden in der Archäobotanik häufig zur Charakterisierung des Fundgutes benutzt. Ein standardmäßig verwendeter Index ist z.B. die sogenannte Stetigkeit, die nach folgender Formel berechnet wird (KREUZ 1988, 146):

Stetigkeit = (Summe der Proben, in denen eine Art vorkommt / Summe aller Proben) * 100

Die Stetigkeit charakterisiert die Regelmäßigkeit des Vorkommens eines Taxons im Fundgut mit Prozentwerten ohne Rücksicht auf die Fundmenge; sie ist damit ein relatives Maß für die Bedeutung, die ein Taxon in den synanthropen – d.h. menschlich beeinflussten – Vegetationen um eine Siedlung gehabt haben soll. Dieses Maß bedarf der Interpretation, bei der auf Rohdaten zurückgegriffen werden muß (KROLL 1983, 24). Eine Visualisierung dieser Beschreibung sind Stetigkeitsdiagramme, die die Stetigkeitswerte für verschiedene Taxa pro Zeithorizont oder Befund darstellen. Der Index „Stetigkeit“ beschreibt also letztlich rein informatisch Dateneigenschaften und erst durch die Gleichsetzung dieser mit ökologischen Eigenschaften kann er interpretiert werden.

In neueren pollenanalytischen Arbeiten werden neben Pollenprozentdiagrammen häufig Influxdiagramme erstellt (RÖSCH 1990; KUBITZ 2000; LECHTER-BECK 2001; EUSTERHUES et al. 2002). Der Polleninflux ist als der Pollenniederschlag pro 1 cm² pro Jahr definiert (FAEGRI & IVERSEN 1989, 83-84). Die Berechnung von Influxen ist möglich, wenn die Datierung der Proben bekannt ist und ihnen ein externer Standard in Form von exotischen Pollen oder Sporen hinzugefügt wurde (zur Methode STOCKMARR 1971). Die gezählten Pollensummen werden auf diesen Standard bezogen, Pollenkonzentration und -influx können berechnet werden. Im Gegensatz zu den Prozentwerten sind Influxwerte voneinander unabhängige Werte, die oft wertvolle zusätzliche Informationen liefern – sie sind standardisiert.

Informatische oder ökologische Diversitätsindices, wie sie ab den 1970er Jahren in der Ökologie diskutiert werden (z.B. WHITTAKER 1972; HAEUPLER 1982; ROUTLEDGE 1979; 1984), finden in der deutschen Archäobotanik kaum Anwendung. Dabei handelt es sich nicht um das Konzept, das mit dem modischen Schlagwort „Biodiversität“ verbunden wird – vielmehr entstammt der Begriff der Kybernetik (HOBOHM 2000). Diversität wird durch drei Komponenten bestimmt: Erstens den Reichtum, z.B. Artenreichtum, ausgedrückt als Artenzahl, zweitens die Gleichverteilung, engl. *evenness*, ein Entropie-ähnlicher Terminus, praktisch Individuenzahl pro Art und drittens die Heterogenität der Daten, das Verhältnis

von Reichtum und *Evenness* (BOBROWSKY & BALL 1989). Der einfachste Diversitätsindex ist die Artenzahl, die auch in archäobotanischen Arbeiten mitunter als Ausdruck für Diversität verwendet wird (z.B. RIEHL 1999, 381-384), doch muß vor jeder Anwendung eines Diversitätsindex theoretisch geklärt werden, ob dieser der Komplexität der vorliegenden Daten angemessen ist.

Mitte der achtziger Jahre hat KÜTTEL (1984) den Shannon-Index auf Pollendaten angewendet. Dieses Diversitätsmaß berücksichtigt sowohl Artenzahl als auch die Individuen pro Art, hat jedoch den Nachteil, daß Proben mit geringer Artenzahl, aber hoher Gleichverteilung und Proben mit hoher Artenzahl aber geringer Gleichverteilung denselben Wert ergeben können. Küttel gibt daher neben dem Shannon-Index auch die *Evenness* – das Maß für die Gleichverteilung – für jeden Horizont an. Er stellt fest, daß die Diversitäts- und *Evenness*werte die biostratigraphische Zonierung des Pollendiagramms wiedergeben. Offensichtlich erfaßt der Index eine wichtige Eigenschaft der Daten. Küttel interpretiert hohe Diversitätsmaße direkt als Anzeichen für eine hohe Stabilität des Ökosystems. Doch dürfen Diversitätsmaße, wie sie in der Pflanzensoziologie verwendet werden, in der Archäobotanik nicht unmittelbar als Indikatoren für biologische Diversität gewertet werden. Die ökologische Vegetationsaufnahme erfaßt Pflanzenindividuen, auf die davon verschiedenen Informationsniveaus der archäobotanischen Datenerfassung wurde bereits hingewiesen: Derselbe Index bezieht sich hier auf unterschiedliche Skalen.

Für archäobotanische Fragestellungen wäre auch das Konzept der β -Diversität interessant, die die Entwicklung der Diversität entlang eines Gradienten, beispielsweise des Gradienten Zeit (vgl. KERIG 2004), beschreibt.

Univariate und bivariate Auswertungen, Modelle und Kriterien

Univariate Auswertungen berücksichtigen eine Variable. Bivariate Auswertungen berücksichtigen gleichzeitig zwei Variablen und sind so geeignet, die Zusammenhänge zwischen diesen zu zeigen. Histogramme, Stab- und Kreisdiagramme sowie Streudiagramme dienen zur Visualisierung uni- und bivariater Daten.

Eine genauere Betrachtung des bekannten Ansatzes von WILLERDING (1970, 325) ist hier geeignet, die Notwendigkeit statistischer Reflexion auch bei scheinbar einfachen Verhältnissen zu zeigen. Willerding fordert für die Längenmessungen von Getreiden Indexbildungen und als Darstellung dieser Indices Varianzkurven. Der Grad der Abweichung dieser Varianzkurven von

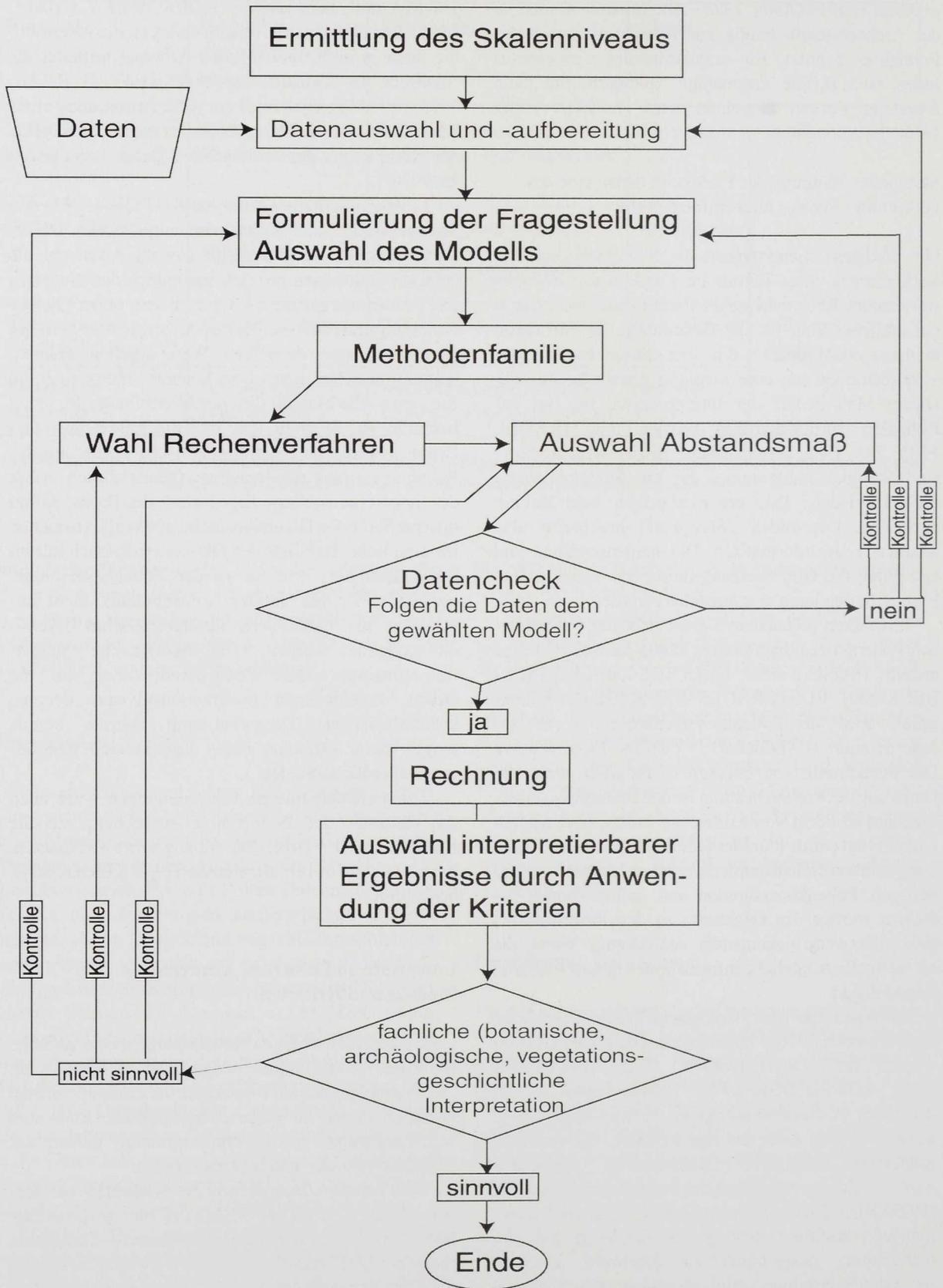


Abb. 2 Vorgehen bei einer multivariaten Analyse bereits vorhandener Daten. Besonderes Augenmerk ist auf die Auswahl des passenden Modells zu richten.

der Normalverteilungskurve gilt ihm als Maß für die genetische Homogenität der Population. Offensichtlich nutzt Willerding die Normalverteilung als statistisches Modell genetischer Einheitlichkeit. Ein statistisches Kriterium, ab wann die Übereinstimmung der Kurven von Varianz und Normalverteilung befriedigend gegeben ist, gibt er nicht an. Statistische Modelle bilden die Grundlage der klassischen Statistik; Kriterien sind gewissermaßen Indices zur praktischen Beurteilung der Übereinstimmung von Wirklichkeit und Modell. Mit zunehmender Komplexität wird die explizite Formulierung von Modellen und Kriterien zunehmend wichtiger.

Für die Pollenanalyse wird häufiger das Problem der auszuzählenden Pollensumme diskutiert. SCHWEIZER (2001, 25-28) setzt sich mit Erwartungswerten bei verschiedenen Zählsummen auseinander. Ob die gewählte Pollensumme ausreichend ist, muß von Fall zu Fall entschieden werden. So haben in einer methodischen Untersuchung LECHTERBECK & SCHWARK (2003) Stichproben derselben Pollenprobe ausgezählt. Damit die Prozentwerte der sechs häufigsten Taxa innerhalb eines Intervalls auch nur der doppelten Standardabweichung streuten, war in diesem Fall eine Zählsumme von mindestens 1.500 Pollenkörnern notwendig.

Multivariate Auswertungen

Multivariate Auswertungen berücksichtigen mehr als zwei Variablen gleichzeitig. Multivariate Analyseverfahren können eingeteilt werden in „Strukturenprüfende“ und in „Strukturen-entdeckende“ Verfahren (Übersicht: MADSEN 1988; SHENNAN 1997; BACKHAUS et al. 2000). Beispiele für „Strukturenprüfende“-Verfahren (z.B. Regressionsanalyse, Varianzanalyse, Diskriminanzanalyse) gibt es in der deutschen Archäobotanik meines Wissens nicht. Clusteranalyse, Hauptkomponentenanalyse und Korrespondenzanalyse als „Strukturen-entdeckende“-Verfahren finden aber durchaus Anwendung.

Der einfachste Fall einer multivariaten Analyse ist die Darstellung in einem sogenannten ternären Diagramm. Diese bietet sich dann an, wenn sich drei Variablen in sinnvoller Weise auf 100 % standardisieren lassen. P. Stehli hat Holzkohlen im Merzbachtal untersucht. Er plottet die Holzkohlefunde von Langweiler 2 und Langweiler 8 in einem Dreieck Eiche, Mantelgehölze und Ulme/Esche bzw. Ulme/Esche/Ahorn. Er kann so für die verschiedenen Siedlungsphasen Unterschiede in der Brennholznutzung feststellen (STEHLI 1989, 61-65). Zur Rekonstruktion früher keltischer Landnutzung untersuchte STIKA (1999) vier keltische Siedlungsplätze im Neckarraum. Er differenziert seine Proben überzeugend in einem Dreieck „grains – weeds

– chaff“.

Clusteranalysen werden in der Pollenanalyse häufig als heuristisches Hilfsmittel zur biostratigraphischen Zonierung von Pollendiagrammen benutzt (JAUMANN & HANSS 1994; KUBITZ 2000; LECHTERBECK 2001). Das Programm CONISS (GRIMM 1987), das für Clusteranalysen stratigraphischer Daten genutzt wird, bietet verschiedene Abstandsmaße und Algorithmen standardmäßig an.

Die Hauptkomponentenanalyse läßt sich vielseitig anwenden. Eines der frühesten Beispiele dürfte die Zonierung eines Pollendiagramms mittels Hauptkomponentenanalyse aus Nagold-Pfrondorf sein (JAUMANN & HANSS 1994). Die Hauptkomponentenanalyse kann auch zur Extraktion unabhängiger, ökologisch interpretierbarer Variablen angewendet werden (LECHTERBECK 2001, 57-59).

Die Korrespondenzanalyse (vgl. MÜLLER & ZIMMERMANN 1997) gelangt wohl aus der prähistorischen Archäologie – wo sie vor allem zur Seriation genutzt wird – in die Archäobotanik. RIEHL (1999) hat für die Großrestfunde von Troja Korrespondenzanalysen durchgeführt. Unterschiede in den Anbauschwerpunkten, die in den deskriptiven Untersuchungen deutlich werden, werden in der Korrespondenzanalyse nicht sichtbar und nur die Zusammenfassung aller Analysen zeigt einige Entwicklungstendenzen der Wild- und Kulturpflanzenflora der Troas (RIEHL 1999, 387). Es bleibt zu vermuten, daß mit einer Faktoren- bzw. Hauptkomponentenanalyse überzeugendere Ergebnisse erzielt worden wären.

In seiner Untersuchung zur frühen keltischen Landnutzung führt STIKA (1999) eine Korrespondenzanalyse von Großresten durch, um ökologische oder verarbeitungsbedingte Gruppen zu differenzieren. Die Analyse zeigte, daß die Verbreitungsmuster von typischen Ackerunkräutern und Graslandarten sich im Fundgut gleichen. Er schließt daraus, daß die Graslandarten neben dem Getreide auf den Feldern wuchsen. KALIS & ZIMMERMANN (1997) haben mittels der kanonischen Korrespondenzanalyse mehrere Pollendatensätze der Jülicher Lößbörde gleichzeitig untersucht (kanonische Achse: unabhängige Datierung). Erstmals gelingt ihnen die Darstellung regionaler Trends in Pollendaten mittels multivariater Verfahren. Der Ansatz dieser Arbeit wurde von LECHTERBECK (2001) aufgegriffen. Korrespondenzanalytisch konnte aus den Pollendaten des Steißlinger Sees die Haupterklärungsdimension extrahiert und als Proxy für „Human Impact“ identifiziert werden. Dieser Proxy wurde erstmalig gegen die archäologische Überlieferung einer Kleinlandschaft getestet (KERIG & LECHTERBECK 2000). Es konnte gezeigt werden, daß „Human Impact“

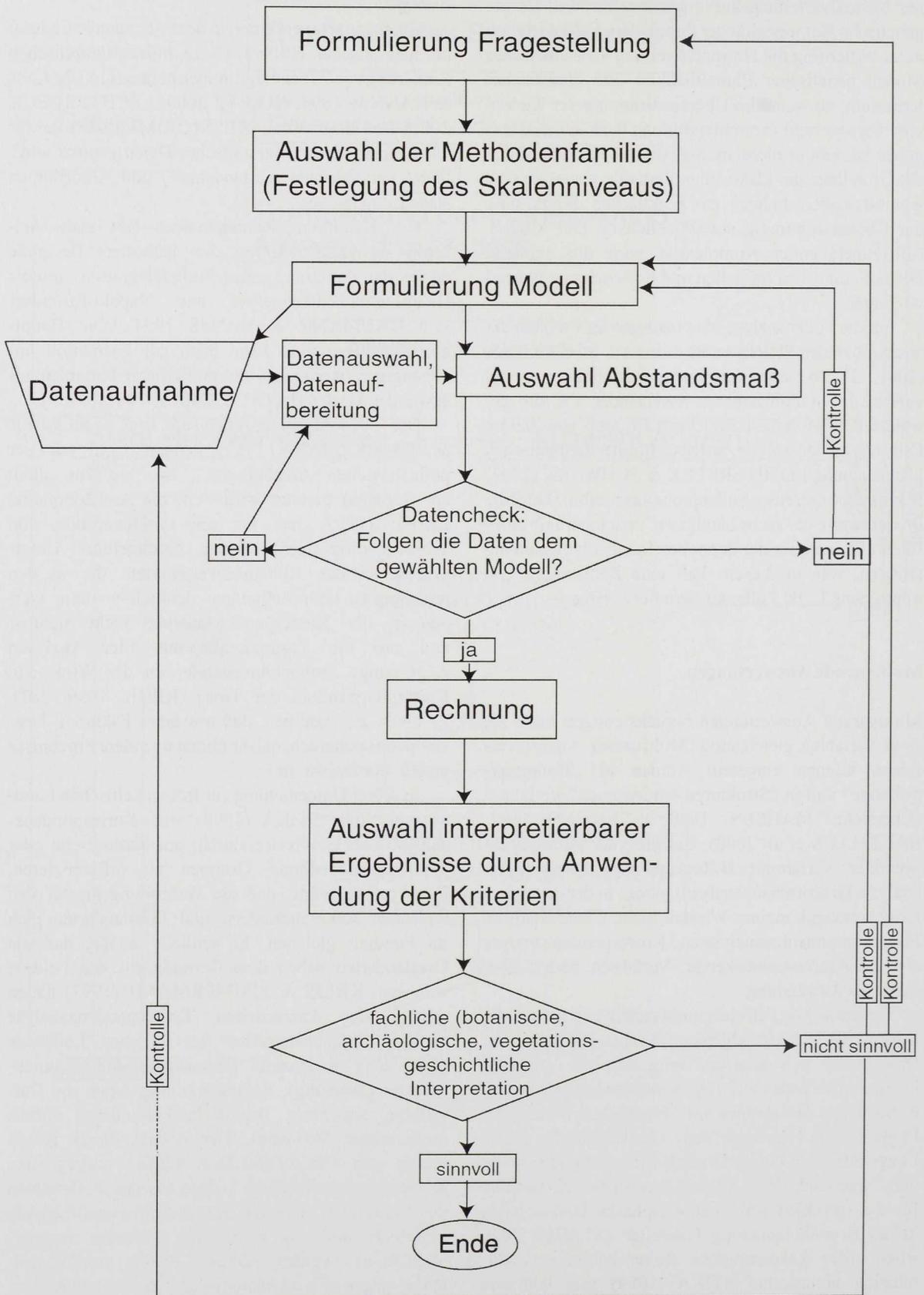


Abb. 3 Vorgehen bei einer fragestellungsorientierten multivariaten Analyse.



Abb. 4 Datenpunkte in der European Pollen Database.

der wichtigste und ein kontinuierlich wirkender Faktor in der post-neolithischen Vegetationsentwicklung ist (KERIG & LECHTERBECK 2004). Eine kanonische Korrespondenzanalyse der Daten vom Steißlinger See (LECHTERBECK 2001) und pollenanalytischer Daten vom Durchenbergried bei Göttingen (RÖSCH 1990) sowie von Hornstaad am Bodensee (RÖSCH 1992; ders. 1993) ermöglichte es, „Human Impact“ auch als regionalen Faktor zu extrahieren (LECHTERBECK 2004). Damit ist die Grundlage gelegt „Human Impact“ in der Fläche und für verschiedene Zeitscheiben darzustellen.

Fazit

Daten werden in der deutschen Archäobotanik seit Ende des 19. Jahrhunderts gesammelt. Eine gesamthafte Auswertung ist heute ohne numerische Analyseverfahren kaum denkbar. Standardsoftwarepakete bieten statistische Lösungen für annähernd jedes Problem. Die Möglichkeit, die Daten „einzufüttern [...] um die Maschine danach zu fragen, was sie denkt“ (mündl. H. KROLL) birgt das Problem, daß die verwendeten Methoden oft unkritisch angewendet werden. Solche Ergebnisse können nicht zufriedenstellend sein. Eine statistische Analyse sollte

vorher gut durchdacht und die Daten auf ihre Eignung getestet werden (z.B. KERIG, in diesem Band). Wenn das Ergebnis unbefriedigend ist, muß das Analysendesign evaluiert und gegebenenfalls die Fragestellung geändert werden. Bei bereits vorgefundenen Daten muß zunächst das Skalenniveau ermittelt, anschließend kann eine Fragestellung entwickelt werden (Abb. 2), die den weiteren Fortgang der Analyse bestimmt. Im Idealfall wird man aber von einer Fragestellung ausgehen und bereits bei der Datenerhebung den Fortgang der Analyse berücksichtigen (Abb. 3).

Während in der Schweiz, in den USA, in England und Skandinavien die Anwendung quantitativer Verfahren fast schon zum archäobotanischen Standard gehört, ist dies in Deutschland anders. Die Gründe für diese Zurückhaltung sind sicherlich in komplexen wissenschaftssoziologischen Zusammenhängen zu suchen, die an anderer Stelle diskutiert werden sollen (LECHTERBECK in Vorb.).

Offensichtlich haben deutsche Forscher ein anderes Verhältnis zu ihren Daten als ihre europäischen Kollegen. Als schlagende Illustration mag hierfür die Karte der in der European Pollendatabase (CHEDDADI 2002) erfaßten Datenpunkte dienen (Abb. 4). In dieser Datenbank werden quartäre Pollendaten gesammelt und *online* zur Verfügung gestellt. Aus Deutschland sind gegenwärtig nur drei Datensätze eingetragen. Auch wenn diese Zahl nicht dem aktuellen Stand entsprechen mag, stehen ihr über 4000 untersuchte Lokalitäten in der Göttinger Literaturdatenbank gegenüber – aber eben nicht als Rohdaten.

Trotz allem gibt es in Deutschland ein steigendes Interesse an statistischen Auswertungsverfahren. Es wird zunehmend klar, daß die schiere Menge der gesammelten Daten sich nicht mehr allein deskriptiv auswerten läßt. Auch auf dem Substrat der deutschen Archäobotanik wachsen innovative Ansätze, ob sie Früchte tragen werden, hängt nicht zuletzt vom Dünger ab.

Gegenwärtig formiert sich die AG „Quantitative Verfahren in der Archäobotanik und Vegetationsgeschichte“ mit regelmäßigen Treffen am Rande der Tagung des Arbeitskreises Vegetationsgeschichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft. Diese lockere Arbeitsgruppe soll dazu dienen, Fragestellungen zu entwickeln und entsprechende Analysendesigns zu entwerfen. Gleichzeitig will sie lebhaften und hoffentlich spannenden Diskussionen ein Forum sein.

Dank sagung

Mein Dank gilt allen Kollegen, die sich an der Umfrage beteiligt haben, die mir freundlicherweise Sonderdrucke zukommen ließen und H. Kroll, der mir Informationen zu seiner Datenbank gegeben und der angeregt – und anregend – via E-Mail mit mir diskutiert hat. Für zahlreiche Diskussionen und Anregungen danke ich T. Kerig.

Literatur

- BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W. & R. WEIBER (2000) Multivariate Analyseverfahren. 9. Auflage. Heidelberg 2000.
- BEUG, H.-J. (1994) German database on vegetation history established at the Institute of palynology and Quaternary Sciences, University of Göttingen. *Veget. Hist. Archaeobot.* 3, 1994, 63-64.
– (2003) Zum Gedenken an Franz Firbas (1902 – 1964) anlässlich seines 100. Geburtstages. *Eiszeitalter u. Gegenwart* 52, 2003, 1-3.
- BIRKS, H.J.B. & A.D. GORDON (1985) Numerical Methods in Quaternary Pollenanalysis. London 1985.
- BOBROWSKY, P.T. & B.F. BALL (1989) The theory and mechanics of ecological diversity in archaeology. In: LEONARD, R.D. & G.T. JONES (eds.) *Quantifying Diversity in Archaeology*. Cambridge 1989, 4-11.
- CHEDDADI, R. (2002) The European Pollen Database, http://www.ngdc.noaa.gov/paleo/epd/epd_main.html, 17.5.2004.
- CHRISTIANSEN, J. (2000) Vegetationsgeschichtliche Datenbank für Deutschland, <http://www.user.gwdg.de/~botanik/palynologie/Datenbank.html>, 17.5.2004.
- EUSTERHUES, K., LECHTERBECK, J., SCHNEIDER, J. & U. WOLF-BROZIO (2002) Late- and Post-Glacial evolution of Lake Steisslingen (I). Sedimentary History, palynological record and inorganic geochemical indicators. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 187, 2002, 341-371.
- FAEGRI, K. & J. IVERSEN (1989) Textbook of Pollenanalysis. Chichester 1989.
- GRIMM, E. (1987) CONISS: A FORTRAN 77 program for stratigraphical constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers and Geoscience* 13, 1987, 13-35.
- HAEUPLER, H. (1982) Evenness als Ausdruck der Vielfalt in der Vegetation. *Diss. Bot.* 65. Stuttgart 1982.
- HIPPMANN, H.-D. (1995) Formelsammlung Statistik. Stuttgart 1995.

- HOBOHM, C. (2000) Biodiversität. Wiebelsheim 2000.
- JACOMET, S. & A. KREUZ (1999) Archäobotanik. Stuttgart 1999.
- JAUMANN, P. & C. HANNSS (1994) Das Werden der Nagolder Landschaft und ihre Bedrohung durch den Menschen. In: SCHWARZWALDVEREIN NAGOLD (Hrsg.) *100 Jahre Schwarzwaldverein Nagold*. Nagold 1994, 88-104.
- JONES, G.E.M. (1991) Numerical analysis in archaeobotany. In: VAN ZEIST, W., WASYLIKOWA, K. & K.-E. BEHRE (eds.) *Progress in Old World Palaeoethnobotany*. Rotterdam 1991, 63-80.
- KALIS, J. & A. ZIMMERMANN (1997) Anthropogene Einflüsse auf die Umwelt – Eine kanonische Korrespondenzanalyse von prähistorischen Pollenspektren. In: MÜLLER, J. & A. ZIMMERMANN (Hrsg.) *Archäologie und Korrespondenzanalyse – Beispiele, Fragen, Perspektiven*. Internationale Archäologie 23. Espelkamp 1997, 179-182.
- KERIG, T. (2004) Toward a Cultural Measure of Time: Remarks on Phasing CA-Derived Petrie-Matrices and the Use of DCA. In: MAGISTRAT DER STADT WIEN – REFERAT KULTURELLES ERBE – STADTARCHÄOLOGIE WIEN (eds.), *Enter the Past – The E-way into the Four Dimensions of Cultural Heritage*. CAA 2003 / Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology / Proceedings of the 31st Conference, Vienna, Austria, April 2003. BAR Internat. Ser. 1227. Oxford 2004, 464-466.
- KERIG, T. & J. LECHTERBECK (2000) 16000 Jahre unter dem See – Zum historischen Quellenwert der Steißlinger Laminite. *Hegau* 57, 2000, 85-109.
– (2004) Laminated sediments, human impact and a multivariate approach: a case study in linking palynology and archaeology (Steisslingen, Southwest Germany). *Quaternary International* 113, 2004, 19-39.
- KLOTZ, S. (1999) Neue Methoden der Klimarekonstruktion – angewendet auf quartäre Pollensequenzen der französischen Alpen. *Tübinger Mikropaläontologische Mitteilungen* 21. Tübingen 1999.
- KREUZ, A. (1988) Holzkohle-Funde der ältestbandkeramischen Siedlung Friedberg-Bruchenbrücken: Anzeiger für Brennholz-Auswahl und lebende Hecken? In: LANDESDENKMALAMT BADEN WÜRTTEMBERG (ed.) *Der prähistorische Mensch und seine Umwelt*. Festschrift für Udelgard Körber-Grohne zum 65. Geburtstag. *Forsch. u. Ber. z. Vor- u. Frühgesch. Bad.-Württ.* 31. Stuttgart 1988, 139-153.
- KREUZ, A. & E. SCHÄFER (2002) A new archaeobotanical database program. *Veget. Hist. Archaeobot.* 11/1-2, 2002, 177-180.
- KROLL, H. (1983) Kastanas. Ausgrabungen in einem Siedlungshügel der Bronze- und Eisenzeit Makedoniens 1975-1979, Die Pflanzenfunde. Berlin 1983.
– (1995) Literature on archaeological remains of cultivated plants (1992/1993). *Veget. Hist. Archaeobot.* 4, 1995, 51-66.
– (1996) Literature on archaeological remains of cultivated plants (1994/95). *Veget. Hist. Archaeobot.* 5, 1996, 169-200.
– (1997) Literature on archaeological remains of cultivated plants (1995/1996). *Veget. Hist. Archaeobot.* 6, 1997, 25-67.
– (1998) Literature on archaeological remains of cultivated plants (1996/1997). *Veget. Hist. Archaeobot.* 9, 31-68. *Veget. Hist. Archaeobot.* 7, 1997, 23-56.
– (1999) Literature on archaeological remains of cultivated plants (1997/1998). *Veget. Hist. Archaeobot.* 9, 31-68. *Veget. Hist. Archaeobot.* 8, 129-163.
– (2000) Literature on archaeological remains of cultivated plants (1998/1999). *Veget. Hist. Archaeobot.* 9, 31-68. *Veget. Hist. Archaeobot.* 9, 31-68.
– (2001) Literature on archaeological remains of cultivated plants (1999/2000). *Veget. Hist. Archaeobot.* 10, 2001, 33-60.
- KUBITZ, B. (2000) Die holozäne Vegetations- und Siedlungsgeschichte in der Westeifel am Beispiel eines hochauflösenden Pollendiagramms aus dem Meerfelder Maar. *Diss. Bot.* 339. Stuttgart 2000.
- KÜHL, N., GEBHARDT, C., LITT, T. & A. HENSE (2002) Probability Density Functions as Botanical-Climatological Transfer Functions for Climate Reconstruction. *Quaternary Research* 58, 2002, 381-392.
- KÜHL, N. & T. LITT (2003) Quantitative time series reconstruction of Eemian temperature at three European sites using pollen data. *Veget. Hist. Archaeobot.* 12, 2003, 205-214.
- KÜTTEL, M. (1984) Veränderung von Diversität und Evenness der Tundra, aufgezeichnet im Pollendiagramm des Vuolep Allakasjaure. *Botanica Helvetica* 94/2, 1984, 279-283.
- LANDESDENKMALAMT BADEN WÜRTTEMBERG, ed. (1988) *Der prähistorische Mensch und seine Umwelt*. Festschrift für Udelgard Körber-Grohne zum 65. Geburtstag. *Forsch. u. Ber. z. Vor- u. Frühgesch. Bad.-Württ.* 31. Stuttgart 1988.
- LECHTERBECK, J. (2001) „Human Impact“ oder „Climatic Change“? Zur Vegetationsgeschichte des Spätglazials und Holozäns in hochauflösenden Pollenanalysen laminierter Sedimente des Steißlinger Sees (Südwestdeutschland). *Tübinger Mikropaläontologische Mitteilungen* 25. Tübingen 2001.
– (2004) Human Impact in Space and Time: Adding a new dimension to pollenanalysis. In: *Magistrat der Stadt Wien*

- Referat Kulturelles Erbe – Stadtarchäologie Wien (Hrsg.) *Enter the Past – The E-way into the Four Dimensions of Cultural Heritage. CAA 2003 / Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology / Proceedings of the 31st Conference, Vienna, Austria, April 2003. BAR Internat. Ser. 1227. Oxford 2004, 460-463.*
– (in Vorb.) Quantitative Methods in German Archaeobotany [Arbeitstitel].
- LECHTERBECK, J. & L. SCHWARK (2003) A methodology for combined palynological and molecular geochemical high-resolution analysis of lake sediments. *Review of Palaeobot. and Palynology*, 126 /1-2, 2003, 131-144.
- LEONARD, R.D. & G.T. JONES (eds.) (1989) *Quantifying Diversity in Archaeology*, Cambridge 1989.
- MADSEN, T. ed. (1988) *Multivariate Archaeology. Numerical Approaches in Scandinavian Archaeology. Jutland Archaeological Society Publications XXI.* Aarhus 1988.
- MAGISTRAT DER STADT WIEN – REFERAT KULTURELLES ERBE – STADTARCHÄOLOGIE WIEN (Hrsg.) (2004) *Enter the Past – The E-way into the Four Dimensions of Cultural Heritage. CAA 2003 / Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology / Proceedings of the 31st Conference, Vienna, Austria, April 2003. BAR Internat. Ser. 1227. Oxford 2004.*
- MÜLLER, J. & A. ZIMMERMANN (Hrsg.) (1997) *Archäologie und Korrespondenzanalyse – Beispiele, Fragen, Perspektiven. Internationale Archäologie 23.* Espelkamp 1997.
- PASTERNAK, R. & ARCHEBOT (2004) Literature on archaeological remains of cultivated plants 1981-2004, <http://www.archaeobotany.de/database.html>, 17.5.2004.
- RIEHL, S. (1999) Archäobotanik in der Troas. *Studia Troica* 9, 1999, 367-409.
- RÖSCH, M. (1990) Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen im Durcheinbergried. Siedlungsarchäologie im Alpenvorland II. *Forsch. u. Ber. z. Vor- und Frühgesch. Bad.-Württ.* 37. Stuttgart 1990, 9-56.
– (1992) Human Impact as registered in the pollen record: some results from the western Lake-Constance region, Southern Germany. *Veget. Hist. Archaeobot.* 1, 1992, 101-109.
– (1993) Prehistoric land use as recorded in a lake-shore core at Lake Constance. *Veget. Hist. Archaeobot.* 2, 1993, 213-232.
- ROUTLEDGE, R.D. (1979) Diversity indices: which ones are admissible? *Jour. theor. Biol.* 76, 1979, 503-515.
– (1984) Estimating ecological components of diversity. *Oikos* 42, 1984, 23-29.
- SCHULTZE-MOTEL, J. (1968-1990) Literatur über archäologische Kulturpflanzenreste. Kulturpflanze 16-38.
– (1992) Literature on archaeological remains of cultivated plants (1989/1990). *Veget. Hist. Archaeobot.* 1, 1992, 53-62.
– (1993) Literature on archaeological remains of cultivated plants (1990/1991). *Veget. Hist. Archaeobot.* 2, 1993, 47-59.
– (1994) Literature on archaeological remains of cultivated plants (1991/1992). *Veget. Hist. Archaeobot.* 3, 1994, 33-61.
- SCHWEIZER, A. (2001) Archäopalynologische Untersuchungen zur Neolithisierung der nördlichen Wetterau/Hessen. *Diss. Bot.* 350. Stuttgart 2001.
- SHENNAN, S. (1997) *Quantifying Archaeology. 2. Aufl.* Edinburgh 1997.
- STEHLI, P. (1989) Merzbachtal – Umwelt und Geschichte einer bandkeramischen Siedlungskammer. *Germania* 67/1, 1989, 51-76.
- STIKA, H.-P. (1999) Approaches towards early Celtic land-use reconstruction in central Neckar region (southwestern Germany), based on statistical analysis of the data set of archaeobotanical macrofossils. *Veget. Hist. Archaeobot.* 8, 1999, 95-103.
- STOCKMARR, J. (1971) Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores* 13, 1971, 615-621.
- WHITTAKER, R. H. (1972) Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21/ 2-3, 1972, 213-251.
- WILLERDING, U. (1970) Vor- und Frühgeschichtliche Kulturpflanzenfunde in Mitteleuropa. *Neue Ausgrabungen und Forschungen in Niedersachsen* 5, 1970, 287-375.
– (1978) Die Paläo-Ethnobotanik und ihre Stellung im System der Wissenschaften. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* 91, 1978, 3-30.
- VAN ZEIST, W., WASYLIKOWA, K. & K.-E. BEHRE (1991) *Progress in Old World Palaeoethnobotany.* Rotterdam 1991.

Dr. Jutta Lechterbeck
Institut für Geologie
der Universität zu Köln
Zülpicher Str. 49a
D - 50674 Köln
lechter@gmx.de