

Die Pollenanalyse: Methoden, Ergebnisse, Hypothesen

HANSJÖRG KÜSTER

Pollenanalyse, Vegetationsgeschichte, Klimageschichte, Landnutzung, Ökosysteme

K u r z f a s s u n g : Die Pollenanalyse ist eine botanische Methode, die seit über 100 Jahren angewandt wird und bei der nicht immer klar war, was Ergebnis und was Interpretation ist. Aus der Pollenanalyse geht die Geschichte der Vegetation und der Ökosysteme hervor, aber nicht automatisch die Klimageschichte. Sie ist nur über eine Interpretation aus der Vegetationsgeschichte ableitbar, weitere Interpretationen zeigen die Korrelationen mit Landnutzungssystemen des Menschen.

Pollen analysis: methods, results, hypotheses

Pollen analysis, vegetation history, climate history, land use, ecosystems

A b s t r a c t : A botanical method is presented, which is applied since more than 100 years. Dealing with pollen analysis it was and is not always clearly distinguished between results and interpretation. The history of vegetation and ecosystems results from pollen diagrams but not automatically the climate history, which is an interpretation as the correlation of vegetation history and land use systems.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	132
2	Geschichte der Pollenanalyse als Methode	132
3	Grundzüge einer (natur-)wissenschaftlichen Argumentation	133
4	Methode der Pollenanalyse	133
4.1	Das Pollenkorn	133
4.2	Wachsende Sedimente	136
4.3	Die Arbeitsschritte der Pollenanalyse	139
5	Ergebnis der Pollenanalyse	141
6	Zusammenfassende Aspekte: Das Zustandekommen eines Pollendiagrammes	142
7	Interpretation des Pollendiagramms	145
8	Schluss	147
9	Literatur	148

1 Einleitung

Die Pollenanalyse ist eine biologische Untersuchungsmethode, bei der man sich zunutze macht, dass die mikroskopisch kleinen Pollenkörner von verschiedenen Pflanzen unterschiedlich aussehen. Viele von ihnen werden massenhaft produziert. In mehr oder weniger gleichmäßig wachsenden Sedimenten werden sie zeitlich stratifiziert abgelagert und sie bleiben unter Sauerstoffabschluss praktisch unbegrenzt haltbar. Man kann sie einem Moor oder einem Seesediment in einem Profil entnehmen und kann nach einem chemischen Aufschluss von Bodenproben die Abfolge und Geschichte der Vegetation über die Pollenanalyse untersuchen. Daraus kann man die Vegetationsgeschichte erschließen und mehr oder weniger gut Hypothesen zur Klima- und Landnutzungsgeschichte formulieren.

2 Geschichte der Pollenanalyse als Methode

Pollenanalytische Untersuchungen werden seit über 100 Jahren betrieben; der schwedische Geologe Lennart VON POST publizierte 1916 erste Pollendiagramme. Von Post entstammte einer ursprünglich deutschen Adelsfamilie; man kann immer wieder feststellen, dass auf dem Gebiet der Botanik oder auch der Quartärgeologie eine sehr gute skandinavisch-deutsche Kooperation bestand. Der deutsche Biologe und Moorforscher Carl Albert Weber wandte die Methode wohl erstmals in Deutschland an; aus ihrer Genese heraus war die Pollenanalyse aber von Anfang an geologisch geprägt. In den folgenden Jahrzehnten wurde vor allem in Deutschland ein stratigraphisches Konzept der Vegetationsgeschichte entwickelt, das die Basis für das zweibändige Werk „Waldgeschichte Mitteleuropas“ von Franz FIRBAS (1949, 1952) bildete. Schon von Anfang an wurde die aus Pollendiagrammen entwickelte Stratigraphie für eine klimageschichtliche Interpretation verwendet, in den letzten Jahrzehnten trat als weitere wichtige interdisziplinäre Kooperation diejenige zwischen Archäologie und Pollenanalyse hinzu. Denn FIRBAS (1937) war es erstmals gelungen, Pollenkörner von Getreide zu identifizieren, so dass man Siedlungsphasen bäuerlicher Kulturen in Pollendiagrammen nachweisen konnte, aber auch – was zunächst weniger beachtet wurde – den Beginn der grundsätzlichen Umgestaltung von Waldregionen in Landschaften, in denen nach Rodungen Flächen agrarisch genutzt wurden. Die Pollenanalyse ist damit hochgradig interdisziplinär geprägt, was sie sehr interessant macht, was aber immer wieder auch ihre methodischen Grundlagen verschleiern kann. Es soll hier deswegen zunächst dargestellt werden, wie eine naturwissenschaftliche Argumentation zustande kommt. Gerade bei der Pollenanalyse ist immer wieder nicht klar, was bei ihr Ergebnis, was Interpretation, Hypothesenbildung oder Diskussion ist.

3 Grundzüge einer (natur-)wissenschaftlichen Argumentation

Vor allem in einer naturwissenschaftlichen Argumentation muss klar unterschieden werden zwischen einer Forschungsfrage, die eingangs einer Untersuchung zu stellen ist, der klaren Darstellung der Methode(n), den Ergebnissen oder Resultaten und Hypothesen oder Interpretationen, die Teile einer Diskussion sind. Ergebnisse müssen getrennt von den Diskussionen über sie dargestellt werden. Und es muss dann abschließend geklärt werden, ob die Methoden geeignet waren, um Ergebnisse zu erzielen, die adäquate Diskussionen anregen. Nur dann kann die eingangs gestellte Forschungsfrage am Schluss der Arbeit befriedigend beantwortet werden. Diese Diskussion muss sich durch einen Artikel oder Essay hindurchziehen, wie er in wissenschaftlichen Journalen verlangt wird. Dort wird eine Gliederung in die Teile Introduction (mit zugrundeliegender Forschungsfrage), Material(s) and Method(s), Results, Discussion, Conclusion (mit Antwort auf die zugrundeliegende Forschungsfrage) stets angestrebt. Die Forschungsfrage kann bei der Arbeit an einem Projekt und während des Schreibens eines Aufsatzes immer wieder leicht angepasst werden, damit im Schlussteil der Arbeit eine gute Antwort auf sie gegeben werden kann.

Es ist vor allem bei interdisziplinären Arbeiten nicht einfach, zwischen Fakten oder Ergebnissen und Interpretation oder Hypothesen zu unterscheiden. Häufig werden nämlich Hypothesen aus der einen Disziplin in einer anderen für unumstößliche Ergebnisse gehalten. Namentlich stehen naturwissenschaftliche Untersuchungen immer unter dem „Verdacht“, die harten Fakten zu liefern; dabei gibt es bei ihnen klare Abgrenzungen zwischen Ergebnissen und Interpretationen. Dies müsste in einer geistesgeschichtlich oder von den sogenannten „Humanities“ geprägten Archäologie stärker beachtet werden. Auf der anderen Seite hat auch eine archäologische oder philologische Disziplin ihre harten Fakten, was dann den Naturwissenschaftlern ungenügend bekannt ist.

4 Methode der Pollenanalyse

4.1 Das Pollenkorn

Der Pollen ist die Gesamtheit der Pollenkörner. Deswegen gibt es zum Wort Pollen keinen Plural; „die Pollen“ gibt es nicht, aber „die Pollenkörner“. Pollenkörner sind die männlichen Geschlechtszellen von Samenpflanzen. Sie entstehen an den Staubblättern, von denen sie zu den weiblichen Eizellen im Fruchtknoten gelangen, und zwar entweder durch Tiere (Insekten) oder den Wind. Durch die Vereinigung von männlicher und weiblicher Geschlechtszelle entsteht eine Zygote, aus der sich ein Same bzw. eine Frucht entwickeln kann. Das genetische Material ist im Pollenkorn von einer mehrschichtigen Außenwand umgeben, die aus soge-

nannten Sporopolleninen besteht, polymeren und sehr stabilen Substanzen. Während die im Pollenkorn enthaltene Nukleinsäure nur wenige Stunden aktiv bleibt, ist die Außenwand des Kornes schier unbegrenzt haltbar, besonders wenn sie in ein saures und sauerstoffreiches Milieu gerät.



Abbildung 1 (links): Pollenkorn der Birke (*Betula* sp.), Größe ca. 30 µm; Foto: H. Küster.
Figure 1 (left): Pollen grain of birch (*Betula* sp.), diameter ca. 30 µm; photo: H. Küster.

Abbildung 2 (rechts): Pollenkorn der Fichte (*Picea abies*), Größe: etwa 100 µm; Foto: H. Küster.
Figure 2 (rechts): Pollen grain of spruce (*Picea abies*), diameter ca. 100 µm; photo: H. Küster.



Abbildung 3: Blühendes Gras: Aufrechte Trespe (*Bromus erectus*); Foto: H. Küster.
Figure 3: Flowering grass: Erect brome (*Bromus erectus*); photo: H. Küster.



Abbildung 4: Pollen der Fichte wird freigesetzt; Foto: H. Küster.

Figure 4: Pollen of spruce is released; photo: H. Küster.

Die Oberflächen der Pollenkornaußenwände unterscheiden sich mehr oder weniger signifikant, so dass sie bei 400- bis 1000facher Vergrößerung unter dem Lichtmikroskop bestimmbar sind, also Pflanzenarten, -gattungen oder -familien zugeordnet werden können. Sie unterscheiden sich zunächst einmal in der Art der Ausgestaltung der sogenannten Aperturen oder Öffnungen, durch die der Pollenschlauch auswachsen kann. Manche Körner haben nur einzelne runde Poren, andere drei oder sechs oder noch mehr Poren. Andere Pollenkörner besitzen längliche Aperturen, die man als Falten oder besser als Schlitze bezeichnen kann.

Unterschieden werden können außerdem die Oberflächen der Pollenkörner: Es gibt Punkte, Stacheln, Streifen, Netze (Abb. 1, 2).

Manche Pollenkörner können einer einzelnen Pflanzenart zugeordnet werden. Das gilt vor allem für etliche unserer einheimischen Waldbäume Fichte, Tanne, Kiefer, Buche, Esche, Hasel. Bei anderen gelingt eine Bestimmung der Gattung, etwa bei Eiche, Ulme, Birke, bei anderen gelangt man nur bis zu einer Einordnung in die Pflanzenfamilie, z. B. bei den Chenopodiaceae (Gänsefußgewächse) oder den Cyperaceae (Sauergräser).

Pollenkörner werden je nach Pflanzenart in unterschiedlichen Mengen produziert. Vom Wind bestäubte Pflanzen bringen mehr Pollenkörner hervor als Pflanzen, bei denen die Bestäubung durch Insekten erfolgt. Denn die Wahrscheinlichkeit ist wesentlich größer, dass ein Pollenkorn von Insekten an seinen Bestimmungsort gebracht wird, den Griffel des Fruchtknotens einer anderen Blüte der gleichen Art, als wenn der Pollen vom Wind verbreitet wird, der den Blütenstaub zufällig deponiert (Abb. 3, 4).

4.2 Wachsende Sedimente

Pollenkörner können an vielen Orten dauerhaft erhalten bleiben, nicht nur in Seesedimenten und Mooren, sondern beispielsweise auch im Kontakt mit einigen Metallen oder Metallsalzen. In jedem Fall bleiben die Körner nur dort konserviert, wo sie nicht von Bakterien zersetzt werden können.



Abbildung 5: Ablagerung von Pollen im feuchten Sediment; Foto: H. Küster.
Figure 5: Pollen deposition in wet sediment; photo: H. Küster.

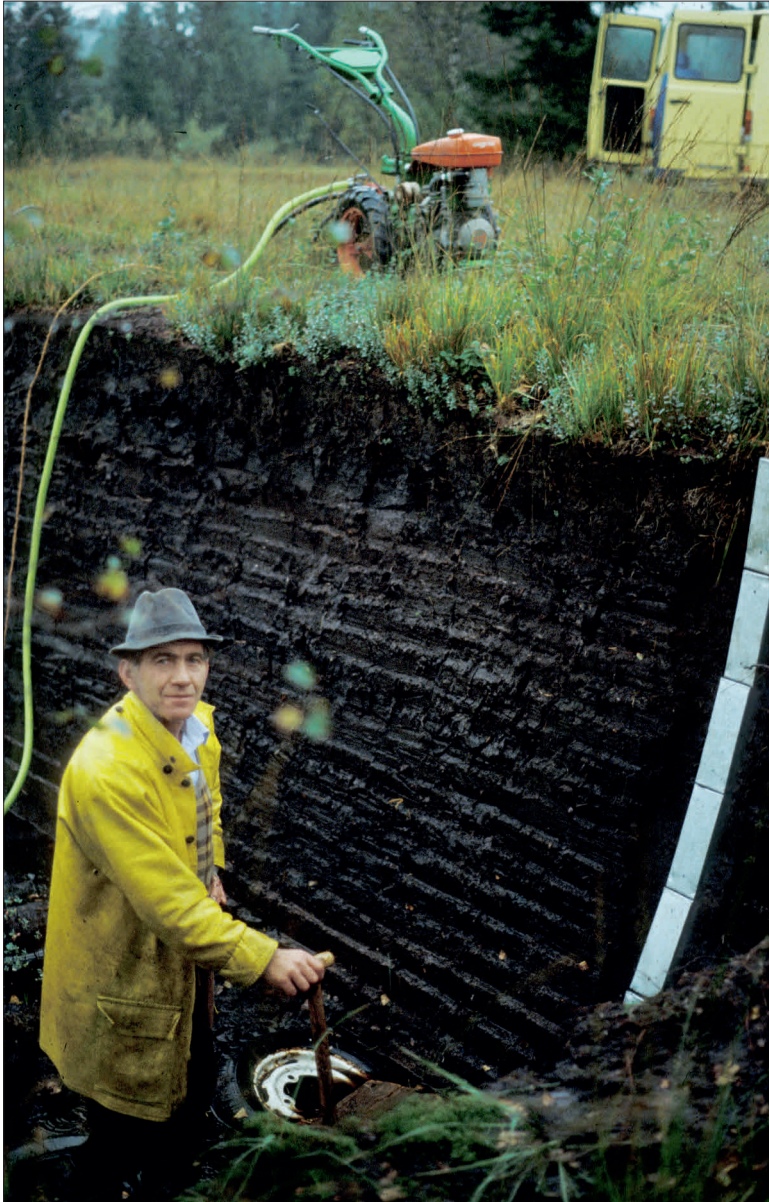


Abbildung 6: Torfprofil in einem Hochmoor, aus dem Proben entnommen werden (jeder Kasten hat eine Länge von 30 cm); Foto: H. Küster.

Figure 6: Peat section in a raised bog. Samples were taken in 30 cm long boxes; photo: H. Küster.

Bei einer Ablagerung der Pollenkörner in Mooren und Seesedimenten (Abb. 5) ist aber eine andere Tatsache außerordentlich günstig. Torf, das Sediment, aus dem ein Moor besteht, wächst jährlich um Bruchteile von Millimetern nach oben. Der Torf wird mächtiger, weil das organische Sediment im dauernd feuchten, sauerstofffreien Milieu nicht von Mikroorganismen zersetzt werden kann. Die vom Wind herbeigewehten Pollenkörner werden im Torf eingelagert und bleiben mit dem Sediment erhalten. Im Lauf von Jahrtausenden werden Torfablagerungen mehrere Meter mächtig (Abb. 6). Man kann dann von oben nach unten in einem Torf ein Profil gewinnen, in dem die Pollenkörner nach Schichten abgelagert vorgefunden werden; unten im Torf sind die älteren, oben die jüngeren Schichten. Und daraus lässt sich ableiten, welche Pollenkörner im Wandel der Jahrtausende abgelagert wurden. Daraus lässt sich wiederum schließen, welche Vegetation in der Umgebung eines Moores zu bestimmten Zeiten vorgeherrscht hat und wie der Wandel dieser Vegetation abgelaufen ist.

Ein entsprechendes wachsendes Sediment entsteht an der Basis von Stillgewässern oder Seen, wo sich aus einem Gemisch anorganischer und organischer Substanz eine Mudde bildet. Sie kann Kalk enthalten und wird dann als Seekreide bezeichnet. In manchen Seen bilden sich im Wechsel der Jahreszeiten unterschiedlich gefärbte Schichten aus. Sommerschichten sind dunkler, weil dann der Humusgehalt größer ist, Winterschichten heller, weil dann der Kalk im kalten Wasser ausfällt. In solchen Bändertonen mit ihrer Warvenschichtung lässt sich das Alter eines Seesedimentes durch Abzählen der Schichten ermitteln.

Im Torfsediment kann man eine andere Methode der Altersbestimmung der Ablagerungen hervorragend nutzen. Denn das organische Sediment besteht weitgehend aus Kohlenstoff und damit auch zu einem gewissen Teil aus radioaktivem ^{14}C . Das zerfällt mit einer Halbwertszeit von 5730 ± 40 Jahren. Das heißt, grob gesagt, ein kohlenstoffhaltiges Sediment mit der halben ^{14}C -Aktivität ist ungefähr 5730 Jahre alt. Genau auf ein Jahr legen lässt sich eine ^{14}C -Datierung nie. Denn gemessen werden nicht Jahre, sondern Anzahlen von Zerfällen des radioaktiven Kohlenstoff-Isotops. Ablagerungen mit höherer Aktivität, die sich mit einer Zähl-einrichtung ermitteln lässt, sind jünger, solche mit geringerer Aktivität haben ein höheres Alter.

In Kombination mit zahlreichen Radiocarbonatierungen an einem Profil lässt sich ermitteln, ob eine Sedimentablagerung im Moor kontinuierlich vor sich ging oder ob es Schichtlücken gab, in denen kein Sediment wuchs oder bereits vorher gewachsenes Sediment wieder abgetragen wurde. Bei Durchführung sehr zahlreicher Radiocarbonatierungen bemerkt man auch, ob das Torfwachstum schneller oder langsamer verlief. Auf jeden Fall kann man nicht davon ausgehen, dass der Zuwachs an Sediment stets gleichmäßig, sondern manchmal schneller, manchmal langsamer vor sich gegangen ist.

4.3 Die Arbeitsschritte der Pollenanalyse

Will man die Geschichte der Vegetation ermitteln, ist dies also nur in der Umgebung eines Moores oder eines Sees mit wachsendem Sediment möglich. Dort



Abbildung 7: Probenahme in einem Moor mit einem Torfbohrer; Foto: H. Küster.
Figure 7: Sampling peat with a peat corer; photo: H. Küster.

wird ein Profil entnommen, was entweder an einer Stichwand (z. B. an einem ehemaligen Torfstich, siehe Abb. 6) möglich ist, oder, indem man mit einem Sedimentbohrer das Sedimentprofil von oben nach unten einem Sedimentpaket entnimmt (Abb. 7). Dabei wird in der Regel ein halbmeterlanges Sedimentstück nach dem anderen an die Oberfläche gefördert.

Im Labor werden die Sedimentstücke in Torfscheiben von beispielsweise 1 cm Dicke zerschnitten. Die Einzelproben werden dann einem Bodenaufschluss unterzogen, wobei möglichst alle Sedimente entfernt werden, die die Pollenkörner umgeben. Kalk-Ablagerungen entfernt man mit Salzsäure. Humose Bestandteile werden anschließend mit Kali- oder Natronlauge zerstört. Wenn Ton und Sand in den Ablagerungen vorhanden sind, kann das Sediment auch noch mit Flusssäure behandelt werden. Mit einem Gemisch aus Schwefelsäure und Essigester kann man die Pollenkörner leicht anfärben und damit besser sichtbar machen. Der Bodenaufschluss ist langwierig, denn nach dem Einsatz einer Chemikalie muss die Sedimentprobe mehrfach mit Wasser oder Eisessig (vor dem Einsatz der Schwefelsäure, um die Probe wasserfrei zu bekommen) gespült und zentrifugiert werden. Am Ende wird der Rest, der überwiegend aus Pollenkörnern besteht, in Glycerin überführt.

Das Erstaunliche ist, dass mit allen diesen Chemikalien, die in konzentrierter Form und auch heiß zum Einsatz kommen, die Sedimente zwar weitgehend zerstört werden, nicht aber die Pollenkörner. Sie bleiben erhalten und sind nach dem Bodenaufschluss unter dem Mikroskop leichter zu erkennen.



Abbildung 8: Zählen einer Pollenprobe unter dem Mikroskop; Foto: H. Küster.
Figure: Pollen counting with a microscope; photo: H. Küster.

Ein kleiner Teil der Probe wird dann auf einen Objektträger gegeben und mit einem Deckglas bedeckt. Dann kann die Probe mikroskopisch betrachtet werden. Man muss das gesamte Präparat gleichmäßig bei 400facher Vergrößerung durchmustern, um alle Pollenkörner zu identifizieren und zu zählen. Um auch seltenere Pollentypen zu erfassen, kann man 1000 Pollenkörner pro Probe zählen oder auch noch mehr (Abb. 8).

Man muss zahlreiche Proben analysieren, bis man ein gesamtes Profil untersucht hat. Von allen Proben werden dann beispielsweise die Prozentwerte für jeden einzelnen Pollentyp berechnet. Alle Proben werden dann in einem Pollendiagramm gemeinsam präsentiert, in dem mehrere Spalten enthalten sind, für jede Pflanzenart eine. Da erkennt man dann, wie sich die Häufigkeit jeder einzelnen Pflanzenart im Lauf der Zeit verändert hat.

5 Ergebnis der Pollenanalyse

Ein solches Pollendiagramm ist das zentrale Ergebnis einer pollenanalytischen Untersuchung. Man erkennt den Vegetationswandel in den vergangenen Jahrtausenden, was nicht nur ein Ergebnis zur Geschichte ist und zeigt, wie die heutige Ve-

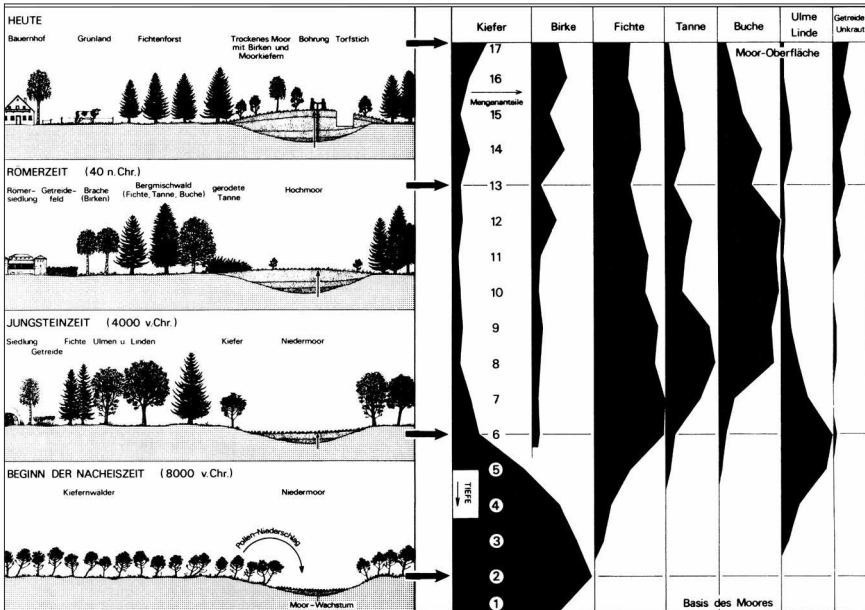


Abbildung 9: Vereinfachtes Pollendiagramm aus Südbayern (aus KÜSTER 1984).

Figure 9: Simplified pollen diagram from Southern Bavaria (from KÜSTER 1984).

getation zustande kam. Sondern es bietet sich hier die Möglichkeit zu erkennen, wie ein Vegetationswandel überhaupt funktioniert, welche Wälder sich zu anderen wandeln, welche Zusammenhänge dabei deutlich werden. Denn Ökosysteme dürfen nicht als statische Gebilde verstanden werden, und niemand hat je bewiesen, dass sie in einem ökologischen Gleichgewicht stehen. Dass dem so ist, ist sogar definitiv falsch, denn wir wissen, dass im Lauf der Erdgeschichte immer wieder Typen von Lebewesen entstanden sind, die dann wieder verschwanden, dass sich dann wieder neue Typen entwickelten. Die Evolutionslehre geht von einem beständigen Wandel von Typen (Gattungen, Arten, Sorten) aus, warum sollte dann das Ökosystem insgesamt immer gleich bleiben oder sich in einem ökologischen Gleichgewicht befinden? Dies lässt sich mit einem Pollendiagramm eindrucksvoll widerlegen, denn es zeigt den Wandel von Vegetation und auch von Ökosystemen, von denen Vegetation ein sehr wichtiger Bestandteil ist. Natur ist deswegen keineswegs nur von Konstanten oder immer wiederkehrenden Kreisläufen geprägt, sondern auch von irreversiblen Veränderungen, die sich dem Pollendiagramm entnehmen lassen (Abb. 9).

6 Zusammenfassende Aspekte: Das Zustandekommen eines Pollendiagrammes

Zusammenfassend lässt sich das Zustandekommen eines Pollendiagramms also folgendermaßen beschreiben. Auf der Abbildung 9 wird links die Entwicklung der Vegetation gezeigt, und zwar in einem Beispiel aus dem Alpenvorland (KÜSTER 1984). Auf der linken Seite ist die Entwicklung der Vegetation im Lauf der Zeit zu sehen. Auf einen Kiefernwald, in dem einige Birken wuchsen, folgte ein Laubwaldstadium, in dem zahlreiche Ulmen (wohl Bergulmen) wuchsen, außerdem Linden, Eichen und Fichten. Zu dieser Zeit kann man auch den ersten Ackerbau nachweisen; es wurde Getreide angebaut, und deshalb kann man indirekt auch die Existenz von bäuerlichen Siedlungen voraussetzen. Dann kamen Tannen und Buchen auf, es wurde mehr Getreide angebaut, und Hainbuchen wurden in den Wäldern häufiger. Tannen und Buchen wurden allmählich seltener; Getreidefelder wurden größer, besonders in der Römerzeit. In jüngerer Zeit wurden Getreidebau und Landwirtschaft allgemein noch wichtiger, Tannen und Buchen wurden noch seltener.

Während dieser Entwicklung der Wälder entstand der Torf eines Moores in der Nähe. Das Moor wurde immer mächtiger, in jede Schicht wurde der Pollen aus der Umgebung eingetragen. In neuester Zeit wurde der Torf abgetragen, um Brennmaterial oder Düngetorf für den Garten zu gewinnen, und man entnahm durch Bohrung ein Profil durch die Schichten des Torfes, um den Gehalt an Pollenkörnern darin zu ermitteln.

Die auf der linken Seite dargestellten Entwicklungen sind hypothetisch; niemand hat sie dokumentiert. Rechts aber befindet sich das Pollendiagramm, das den Vegetationswandel beschreibt, das also das Ergebnis der pollenanalytischen Untersuchung ist. Es zeigt hier die zusammengefassten und vereinfachten Entwicklungen im bayerischen Alpenvorland.

Als grundsätzliches, in der Ökologie aber viel zu wenig beachtetes Ergebnis zeigt das Pollendiagramm, dass es keine zwei Schichten gibt, in denen die gleichen Prozentwerte der Pollenverteilung auftreten. Es gibt auch keine zyklischen Entwicklungen, die sich wiederholen. Sondern angezeigt ist stets der irreversible Wandel der Ökosysteme, die sich ständig in Veränderung befinden. Aus ¹⁴C-Datierungen, die hier nicht abgedruckt sind, wissen wir, dass in dem Pollendiagramm die Entwicklungen von etwas mehr als 10.000 Jahren wiedergegeben sind. In dieser Zeit überzogen zunächst Wälder aus Kiefern und Birken ein Offenland, das zum Ende der Eiszeit bestanden hatte. Kiefern breiteten sich rasch aus, denn ihre Früchte und Samen wurden schnell über große Distanzen vom Wind verbreitet, und sie können wachsen, wenn die klimatischen Bedingungen für die Ausbreitung von Wald gegeben waren. Das war vor 10.000 Jahren der Fall.

Später breiteten sich verschiedene Laubbäume aus, Ulmen und Linden, anderswo auch Eichen, und früh schon wurde die Fichte häufiger. Andere im Gebiet heute häufige Baumarten kamen erst später dazu, die Tanne und die Buche. Dabei handelt es sich um Bäume, die schwere Früchte besitzen, teilweise von Tieren verbreitet werden und sich nicht so rasch ausbreiten können wie die Kiefer. Sie geben aber viel Schatten, den Kiefern nicht ertragen können, weswegen diese Bäume in den Wäldern mit der Zeit seltener wurden. In jüngeren Schichten des Torfes breiteten sie sich wieder aus, ebenso die Birke, weil sie die trockengelegte Oberfläche des Moores besiedeln konnten.

Im Pollendiagramm angezeigt sind auch die Pollenkörner von Getreide oder von diversem Unkraut, das sich pollenanalytisch nachweisen lässt (etwa Spitzwegerich, Kornblume, Knöterich, Ampfer). Pollenkörner von Getreide sind besonders groß, und sie weisen weitere morphologische Eigenheiten auf. Ihre Anwesenheit zeigt Getreidebau an, wobei außerdem zu bedenken ist, dass es sich dabei nicht um einheimische Pflanzen handelt; sie stammen aus Vorderasien, wurden dort erstmals kultiviert und dann mit der Innovation des Ackerbaus nach Europa gebracht. Um Ackerbau betreiben zu können, mussten Wälder gerodet werden. Mit dem ersten Nachweis des Getreidebaus ist deswegen auch nachgewiesen, dass die Umgestaltung eines Waldlandes in eine manchenorts gerodete und für den Getreidebau gestaltete bäuerliche Landschaft begonnen hatte.

Ein anderes Pollendiagramm, das immer wieder als Lehrbuchbeispiel genommen wird, stammt vom Luttersee im Unter-Eichsfeld und wurde erstmals von STEINBERG (1944) publiziert, dann nahm es FIRBAS (1949) in seine Übersichts-darstellung der Waldgeschichte Mitteleuropas auf. BEUG (1992) legte eine Neubearbeitung des Profils vor. Das Diagramm wurde für diese Publikation umge-

zeichnet: Es wurde eine Balkendiagramm-Darstellung gewählt, die die Dynamik vielleicht weniger deutlich präsentiert, aber nicht suggeriert, dass die zwischen zwei Punkten gelegene Kurve zwischen ihnen linear verläuft (KÜSTER 2018, Abb. 10). Das Diagramm wurde südlich vom Harz in einer Löss-Region gewonnen. Maßstab ist nicht die Tiefenangabe des Sediments, sondern eine ungefähre Zeitskala; pro Jahrtausend werden zwei Schichten angegeben.

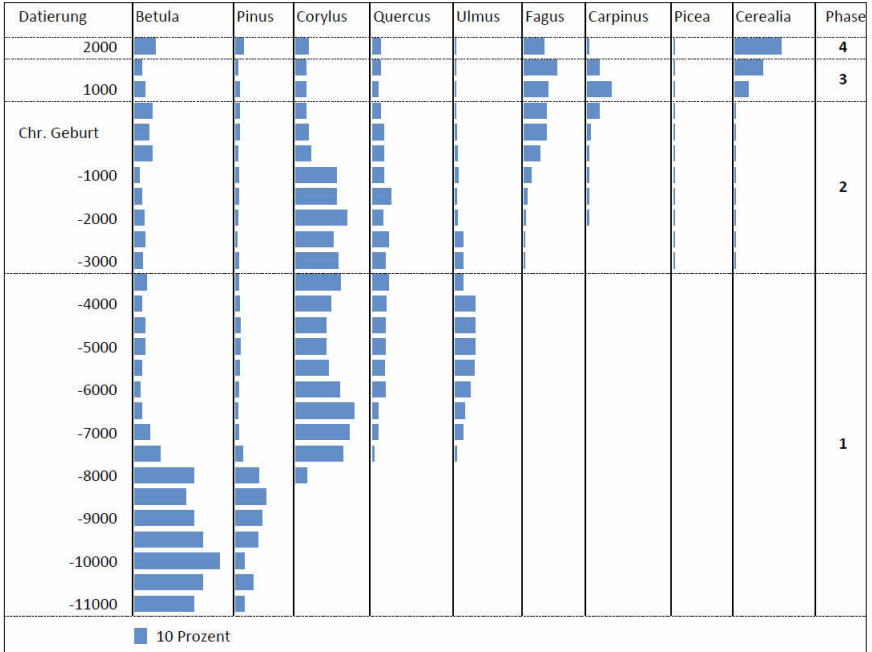


Abbildung 10: Vereinfachtes Pollendiagramm vom Luttersee im Unter-Eichsfeld (nach STEINBERG, FIRBAS & BEUG in KÜSTER 2018).

Figure 10: Simplified pollen diagram from Luttersee in Unter-Eichsfeld (according to STEINBERG, FIRBAS & BEUG in KÜSTER 2018).

Die ältesten Schichten zeigen ein Überwiegen von Birke (*Betula*) und Kiefer (*Pinus*) an, wobei nicht wie im Alpenvorland die Kiefer dominant war, sondern die Birke. Dann folgte eine Phase, in der die Hasel (*Corylus*), dann auch andere Laubgehölze häufig waren, vor allem Ulmen (*Ulmus*) und Eichen (*Quercus*). Später breiteten sich Buchen (*Fagus*) und Hainbuchen (*Carpinus*) aus. Auch hier erkennt man den Zeitpunkt, zu dem die Umgestaltung der Landschaft von einem reinen Waldland zu einer Region mit bäuerlicher Prägung einsetzte, und zwar an Getreidepollen-Funden (*Cerealia*). Erst sehr spät wurde die Fichte (*Picea*) in der Region nachweisbar. Die Pollenkörner der Fichte mögen vom nahen Harz herbeigeweht worden sein.

Es zeigt sich eine gewisse Übereinstimmung beider Diagramme. Eine „Grundfolge der Waldentwicklung Mitteleuropas“ ist zu erkennen, in der Kiefern oder Birken zunächst dominierten. Dann breiteten sich die Hasel und etwas später andere Laubgehölze aus. Schließlich wurden die Wälder schattiger, indem Buchen und manchmal Tannen und/oder Fichten häufiger wurden. Die Bedeutung der Buche nahm später wieder ab. Die Gemeinsamkeiten zwischen den Diagrammen sind aber überbewertet worden. Denn es gibt Gegenden, in denen mehr Kiefern oder mehr Birken vorkamen. Die Ausbreitung der Hasel war unterschiedlich stark ausgeprägt. Es gab je nach Region unterschiedliche Laubbäume, die sich im Anschluss ausbreiteten. Im Alpenvorland kam es zu einer Dominanz von Ulmen, andernorts von Eichen; es gibt auch Gebiete, in denen Linden dominierten. Die Tanne wanderte von Südwesten her und dann aus dem Alpenraum nach Süddeutschland ein, die Fichte bereits früher aus dem Südosten und Osten. Die Buchenausbreitung zog sich über Jahrtausende hin; in Süddeutschland kam die Buche früher zu Bedeutung als im Norden Deutschlands (KÜSTER 1996).

7 Interpretation des Pollendiagramms

Diese Sachverhalte gilt es zu beachten, wenn anschließend das Pollendiagramm interpretiert wird. Dabei kann niemals nur ein Diagramm beachtet werden, wie es am Anfang der vegetationsgeschichtlichen Forschung vielleicht, aber heute keineswegs mehr möglich war und ist. Zunächst schien es auf der Hand zu liegen, dass die Ausbreitung der Baumarten vom Klima gesteuert wurde, und man hat das Pollendiagramm in erster Linie klimageschichtlich interpretiert. Dies wurde dadurch unterstrichen, dass man die einzelnen Phasen des Diagrammes mit Namen belegte, die eine klimageschichtliche Interpretation nahelegten. Die Phase der dominierenden Kiefern und Birken wurde als Präboreal bezeichnet. Die damals häufigen Bäume wuchsen auch in einem kalten und trockenen Klima. Es folgte das Boreal, in dem ebenfalls ein kühles Klima herrschen sollte, obwohl die zu der Zeit häufige Hasel eigentlich kein typisches Gewächs kalter Klimate ist. Ein wintermildes Klima mit dem „Wärmeoptimum“ soll im Atlantikum vorgeherrscht haben, als Eichen, Ulmen, Linden und Eschen in Mitteleuropa dominierten. Eine leichte Abkühlung soll ins Subboreal überführt haben, als die Buche häufiger wurde. Darauf folgte das Subatlantikum mit wieder wärmeren Temperaturen, die bis dicht an die Gegenwart heranführen.

Obwohl die heutigen Vorstellungen vom Ablauf der Klimageschichte teilweise völlig anders sind (z. B. SCHÖNWIESE 1995), indem man von einem „postglazialen Wärmeoptimum“ im Atlantikum nicht mehr ausgeht, dann keine generelle Abkühlung mehr sieht, sondern bekanntlich von kühlen Phasen im Mittelalter ausgeht und einer anschließenden Erwärmung, bleibt ein Konsens darüber bestehen, dass Pollenanalysen unmittelbar zu klimageschichtlichen Aussagen führen sollen.

Das hängt vielleicht mit der Einführung einer Biostratigraphie zusammen, die das Postglazial, die Nacheiszeit, gliedert in die Phasen Präboreal – Boreal – Atlantikum – Subboreal – Subatlantikum. Diese Phasen kann man aber nicht mit den Dominanzen einzelner Baumarten gleichsetzen, denn diese breiteten sich sukzessive von Süden nach Norden aus und deren Pollentypen sind keine Leitfossilien, mit denen sich geologische Phasen erkennen lassen.

Natürlich begünstigte ein wärmeres oder kühleres Klima bestimmte Pflanzenarten, aber gerade die in Mitteleuropa vorkommenden Baumarten können durchaus unter verschiedenen klimatischen Bedingungen gedeihen. Die Buche zum Beispiel wächst genauso im Apennin, in den Pyrenäen und auf dem Balkan wie im südlichen Skandinavien, und viele Kräuter, die für Buchenwälder typisch sind, kommen in allen diesen Gegenden vor.

Auf jeden Fall sind alle Erwägungen über klimatische Entwicklungen als treibende Kräfte hinter den Entwicklungen in Pollendiagrammen Interpretationen und keine Ergebnisse, denn Bäume reagieren nicht zwingend überregional auf Klimaschwankungen durch Häufiger- oder Seltenerwerden. Und dass dies der Fall war, wird durch Pollendiagramme belegt, die zwar eine Grundfolge in der Waldentwicklung zeigen, aber sich dennoch im Detail unterscheiden.

Eine andere Art und Weise, die im Pollendiagramm erkennbare Dynamik zu erklären, ist ebenfalls eine Interpretation und kein Ergebnis. Es zeigen sich aber gute Korrelationen zwischen Landnutzungssystemen und Baumarten, deren Ausbreitung oder Seltenerwerden durch sie begünstigt wurden. Für die Nacheiszeit ist besonders charakteristisch, dass Menschen unterschiedliche Beziehungen zu ihrer Umwelt einnahmen. Das ist in weiten Teilen Europas deutlich feststellbar. Am Ende der letzten Eiszeit und am Beginn der Nacheiszeit lebten Menschen ausschließlich als Jäger und Sammler in weiten Teilen der Welt. Davon ging nur ein geringer Einfluss auf die Landschaft aus, und es lebten auch nur sehr wenige Menschen auf der Erde. Die Klimaverbesserung nach der Eiszeit führte zur Ausbreitung von Wäldern. Dies war sehr ungünstig für die Jäger, denn deren Beutetiere, zu denen unter anderem Rentiere und Wildpferde gehörten, konnten nicht in Wäldern leben und wanderten in andere Gegenden ab, in denen noch keine Bäume vorhanden waren. Einige Jäger folgten ihnen, andere blieben in der nun bewaldeten Region. Sie verlegten sich auf Fisch- und Vogelfang. Dies ist an den verwendeten Werkzeugen zu erkennen. Jagdwaffen der späten Altsteinzeit verschwanden, stattdessen wurden sogenannte Mikrolithen verwendet, die charakteristisch für die Mittlere Steinzeit sind. Alle diese Entwicklungen spielten sich in einer Zeit ab, die im Pollendiagramm vom Luttersee (Abb. 10) in Phase 1 gestellt wurden.

Später begannen die Menschen, Pflanzen absichtlich auszubringen, die nahrhaft waren und die sie deswegen vermehrten (KÜSTER 2013). Dazu gehörten die Getreidepflanzen im Nahen Osten und vielleicht auch die Hasel in Mitteleuropa, deren mehr oder weniger massenhafte Verbreitung in vielen Pollendiagrammen

angezeigt ist (z. B. REGNELL 2012). Der Anbau von Getreide und anderen Kulturpflanzen setzte sich allgemein durch. Um Korn auszubringen, mussten in weiten Teilen Europas Wälder gerodet werden. Jahrtausendlang wurden in weiten Teilen Europas Siedlungen nicht auf Dauer bewohnt. Nach einigen Jahrzehnten wurden sie mitsamt ihren Wirtschaftsflächen aufgegeben und andernorts neu gegründet. Auf den ehemaligen Siedlungsflächen entstand Wald neu in einer sogenannten Sekundärsukzession. Sie läuft auf Flächen ab, auf denen bereits ein Waldboden vorhanden ist, aber sich ein neuer Wald bildet. Dieser Wald muss nicht so aussehen wie derjenige, der vorher beseitigt wurde. Tatsächlich bekam die Buche in Mitteleuropa größere Bedeutung in den Wäldern, nachdem sie sich über eine Sekundärsukzession ausbreiten konnte (KÜSTER 1997), ebenso die Fichte im Westalpenraum (MARKGRAF 1970) und in Skandinavien (MOE 1970) sowie die Hainbuche im östlichen Mitteleuropa (RALSKA-JASIEWICZ 1964). Im Pollendiagramm vom Luttersee fanden diese Entwicklungen in Phase 2 statt.

In einem weiteren Landnutzungssystem, das in der Römerzeit und im Mittelalter etabliert wurde, blieben Siedlungen und Wirtschaftsflächen kontinuierlich erhalten (Phase 3 im Pollendiagramm vom Luttersee). Es liefen keine Sekundärsukzessionen mehr ab. Die intensivere Waldnutzung führte zu einer Benachteiligung der Buche. Durch Niederwaldwirtschaft wurden ausschlagfreudige Baumarten begünstigt. Dadurch kam es zur Ausbreitung von Eiche und Hainbuche. Später wurde mit Fichten aufgeforstet. In Phase 4 im Pollendiagramm vom Luttersee ist nur der Anfang dieser Entwicklung zu erkennen. Die eigentliche Fichtenausbreitung durch Aufforstung ist im Diagramm nicht mehr erfasst.

Dies lässt sich alles in den Pollendiagrammen reflektiert finden, weshalb wohl zumindest in den letzten Jahrtausenden die Entwicklungen in den Pollenablagerungen stärker durch Landnutzungsänderungen angestoßen wurden als durch Klimaschwankungen.

8 Schluss

Eines muss aber klar sein: Auch dies ist eine Interpretation von Pollendiagrammen, kein Ergebnis der Analysen. Ergebnisse der Pollenanalysen sind vor allem diejenigen, die sich auf die Waldgeschichte beziehen oder der Beweis, dass sich Vegetation ständig wandelt, was bedeutet, dass es kein ökologisches oder biologisches Gleichgewicht gibt, sondern stets auch irreversible Entwicklungen.

Dies ist das wesentliche und wichtigste Resultat pollenanalytischer Untersuchungen. Die gesamte Tragweite hiervon ist wohl noch gar nicht in seiner vollen Bedeutung erfasst worden.

9 Literatur

- BEUG, H.-J. (1992): Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen über die Besiedlung im Unteren Eichsfeld, Landkreis Göttingen, vom frühen Neolithikum bis zum Mittelalter. – Neue Ausgr. Forsch. Nds., **20**: 261-339.
- FIRBAS, F. (1937): Der pollenanalytische Nachweis des Getreidebaues. – Zs. f. Bot., **31**: 447-478.
- FIRBAS, F. (1949): Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen, Band 1: Allgemeine Waldgeschichte. – 480 S., 163 Abb.; Jena (Gustav Fischer).
- FIRBAS, F. (1952): Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen, Band 2: Waldgeschichte der einzelnen Landschaften. – 256 S., 18 Abb.; Jena (Gustav Fischer).
- KÜSTER, H. (1984): Botanische Untersuchungen zur Umweltgeschichte. – Universitas, **39** (7): 739-748.
- KÜSTER, H. (1996): Auswirkungen von Klimaschwankungen und menschlicher Landschaftsnutzung auf die Arealverschiebung von Pflanzen und die Ausbildung mitteleuropäischer Wälder. – Forstwiss. Cbl., **115**: 301-320.
- KÜSTER, H. (1997): The role of farming in the postglacial expansion of beech and hornbeam in the oak woodlands of central Europe. – The Holocene, **7** (2): 239-242.
- KÜSTER, H. (2013): Am Anfang war das Korn. Eine andere Geschichte der Menschheit. – 298 S., 60 Abb.; München (C. H. Beck).
- KÜSTER, H. (2018): Landnutzungssysteme und ihre Landschaften. – In: KÜSTER, H. & FISCHER, N. (Hrsg.): Niedersachsen. Bausteine einer Landeskunde. – 17-55; Kiel, Hamburg (Wachholtz).
- MARKGRAF, V. (1970): Palaeohistory of the spruce in Switzerland. – Nature, **228**: 249-251.
- MOE, D. (1970): The post-glacial immigration of *Picea abies* into Fennoscandia. – Bot. Notiser, **123**: 61-66.
- POST, L. v. (1916): Einige südschwedische Quellmoore. – Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala, **15**: 219-277.
- REGNELL, M. (2012): Plant subsistence and environment at the Mesolithic site Tägerup, southern Sweden: new insights on the "Nut Age". – Veg. Hist. Archaeobot., **21** (1): 1-16.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (1995): Klimaänderungen. – Daten, Analyse, Prognosen. – 244 S., 119 Abb.; Berlin, Heidelberg (Springer).
- STEINBERG, K. (1944): Zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte des Untereichsfeldes. – Hercynia, **3**: 529-587.

PROF. DR. HANSJÖRG KÜSTER
 Leibniz Universität Hannover
 Institut für Geobotanik
 Nienburger Straße 17
 30167 Hannover
 kuester@geobotanik.uni-hannover.de

Manuskripteingang: 21. Juli 2021

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde](#)

Jahr/Year: 2021

Band/Volume: [142](#)

Autor(en)/Author(s): Küster Hansjörg

Artikel/Article: [Die Pollenanalyse: Methoden, Ergebnisse, Hypothesen 131-148](#)