

TELMA	Band 38	Seite 55 - 78	12 Abb., 1 Tab.	Hannover, November 2008
-------	---------	---------------	-----------------	-------------------------

Ergebnisse und Potenzial dendroökologischer Untersuchungen subfossiler Moorkiefern Nordwestdeutschlands

Results and potential of dendroecological investigations on subfossil
bog-pines from Northwest Germany

ANDREAS BAUEROCHSE, GERFRIED CASPERS, JAN ECKSTEIN
und HANNS HUBERT LEUSCHNER

Zusammenfassung

Subfossile Kiefern werden in vielen Mooren Nordwestdeutschlands gefunden. Durch die Transgression der Moore wurden Kiefern an der Basis der Torfe eingebettet und befinden sich oft am Übergang von Niedermoor- zu Hochmoortorfen. Stubbenhorizonte innerhalb der Torfkörper dokumentieren Bewaldungsphasen der Moore.

Durch dendrochronologische Untersuchungen wurden subfossile Kiefern von 40 Fundorten datiert und erstmalig eine Kiefernchronologie für Nordwestdeutschland aufgebaut. Die untersuchten Kiefernholzbelegen zu bestimmten Zeitabschnitten gehäufte Absterbe- oder Keimungsphasen sowie signifikante Änderungen der Jahrringbreiten der Hölzer aus verschiedenen Mooren. Teilweise zeichnen sich auch bei den früher bearbeiteten subfossilen Eichen zeitparallel entsprechende Phasen ab, so dass diese Signale, klimatisch verursacht, als Abbild von Vernässungsphasen angesehen werden.

Abstract

Subfossil pines are found in many peat bogs in north-west Germany. Peat bog transgression led to the embedding of pines at the base of the peat bogs where they are often found at the transition between low-moor and high-moor peat. Tree stump horizons within the body of the peat are evidence of phases of forestation of the peat bogs.

Dendrochronological analysis has been used to date the subfossil pines from 40 localities and establish a pine chronology for north-west Germany for the first time. The pine wood looked at indicates periods of concentrated dying out or germination, as well as significant changes in the width of the annual growth rings in the wood from a range of peat bogs. Similar phases at analogous times have previously been observed in part in early work on subfossil oaks. These phases are therefore interpreted as climatic signals reflecting water logging phases.

1. Einleitung

Mit dem Meeresspiegelanstieg der Nordsee im Atlantikum änderte sich auch das Klima in Nordwestdeutschland. Das bis dahin im Vergleich zu heute deutlich kontinentalere Klima wurde ozeanischer und feuchter. Die seit dem Spätglazial in Senken und Mulden und entlang von Bach- und Flussläufen entstandenen Moore transgredierte und es bildeten sich teilweise großflächige Niedermoorgebiete. Daneben entstanden erste regenwasserabhängige Moore, die in der Folge große Teile des heutigen Niedersachsens überdeckt haben (Abb. 1; PETZELBERGER et al. 1999, BEHRE 2004).

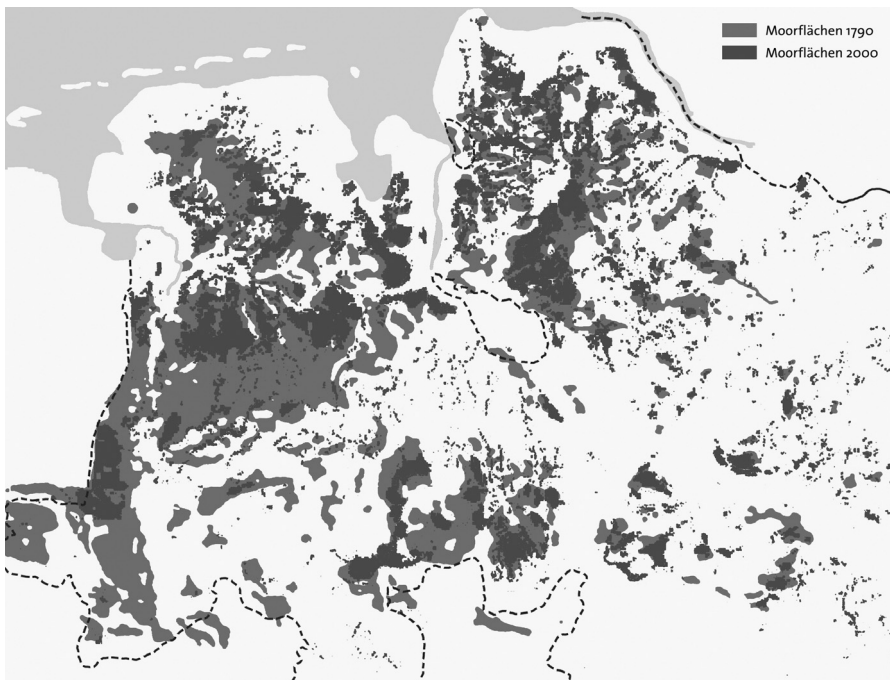


Abb. 1: Verbreitung der Moore in Niedersachsen (nach OVERBECK 1975 und NIEDERSÄCHSISCHEM LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG 2000, unveröff.)
Peat bog distribution in Lower Saxony (after OVERBECK 1975 and NIEDERSÄCHSISCHEM LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG 2000, unpubl.)

In den Torfen wurden organische Reste über Jahrtausende konserviert, weshalb Moore zu den wichtigsten Umwelt- und Kulturarchiven weltweit zählen (RYDIN & JAGLUM 2006, BAUEROCHSE & HABMANN 2003). Mit der Kultivierung der Moore im Verlauf der letzten Jahrhunderte ist ein fortschreitender Verlust an Mooren verbunden. Der entwässerte Torf wird an seiner Oberfläche mikrobiell abgebaut, und durch den industriellen Torfabbau verlieren die betroffenen Moore alljährlich große Torfmengen und damit ihren Wert als

Archive. Gleichzeitig werden jedoch in den niedersächsischen Mooren gerade durch die industrielle Torfgewinnung in großem Stil subfossile, in den Torf eingelagerte Bäume freigelegt. Unter weitgehend anaeroben Bedingungen haben sie Jahrtausende überdauert und zeugen heute von ehemaligen Bewaldungsphasen der Moore. Für die Dendroökologie besitzen diese Bäume einen großen Stellenwert, da sie nicht nur maßgeblich zur Erstellung der Jahrringkalender beitragen, sondern darüber hinaus als Umweltarchiv von unschätzbarem Wert sind. Während es in der Vergangenheit vor allem subfossile Eichen waren, denen das Interesse galt (LEUSCHNER et al. 2002), richtet sich der Fokus der hier vorgestellten Untersuchungen auf in Mooren eingelagerte subfossile Kiefern.

Die Dendrochronologie ist ein jahrgenaues Datierungsverfahren, das auf der Ringbreitenmuster-Ähnlichkeit zeitgleich gewachsener Bäume beruht. Durch die Untersuchung tausender archäologischer, bauhistorischer und in Mooren und Kiesgruben eingelagerter Hölzer sind – ausgehend von heutigen Bäumen mit rezentem Fälljahr – Jahrtausende lange regionale Durchschnitts-Wachstumskurven (Chronologien) aufgebaut worden. Die Jahrringbreiten-Folgen von Hölzern unbekanntes Alters lassen sich als zeitlich einmalig vorkommendes Muster anhand dieser Chronologien datieren. Erforderlich ist dazu eine sowohl statistisch als auch im optischen Kurvenvergleich eindeutig sichere Übereinstimmung. Die Methodik ist in Publikationen (SCHWEINGRUBER 1983, LEUSCHNER 1994) eingehend beschrieben.

Die Eichen treten eingelagert sowohl in Niedermoortorfen als auch an der Basis wurzelreicher Hochmoore auf. Die Stubbenhorizonte teilweise dichter Kiefernwälder finden sich darüber hinaus auch im Niedermoor-Hochmoor Übergangsbereich. Bei ihnen handelt es sich um die Reste ehemaliger Waldbestände, die im Zuge der sich ausdehnenden Hochmoore „erstickt“ wurden. Neben diesen Vorkommen finden sich, wenngleich auch in wesentlich geringerem Umfang, in den Hochmoorkörpern eingelagerte Kiefern.

Trotz ausgeprägter zwischenzeitlicher Kiefernbebewaldung der Moore und der Fülle des Fundmaterials hat es in Deutschland bislang keine systematischen jahrringanalytischen Untersuchungen dieser Horizonte gegeben. Lediglich ca. 150 Proben von 5 Standorten wurden bearbeitet (LEUSCHNER, unpubl.): Die Kiefernhälzer waren überwiegend ringarm und ließen sich nur in Einzelfällen untereinander synchronisieren. Absolutdatierungen mit Hilfe der norddeutschen Eichenchronologie gelangen nicht, obwohl dendrochronologische Verfahren, die zum einen jahrgenaue Datierungen liefern können, zum anderen im Bereich der Dendroökologie Baumringe sowie die Anlage von Wurzelsystemen als eigenes Umweltarchiv nutzen, hierfür besonders geeignet erscheinen.

Betrachtet man die Kiefernverkommen unter ökologischen Gesichtspunkten, so zeigt es sich, dass das Auftreten und Absterben der Kiefern auf Moorstandorten aller Wahrscheinlichkeit nach mit Umweltveränderungen in Verbindung gebracht werden muss. Nach ELLENBERG (1995) hat die Kiefer eine sehr breite ökologische Amplitude vom extrem

trockenen bis zum sehr nassen und sauren Bereich. Bestandsbildend kann sie sich aber nur auf nährstoffarmen trockenen Sanden oder auf nassen und sauren Moor-Standorten gegen andere Baumarten durchsetzen (ZOLLER 1981, SCHÜTT & STIMM 2006). Daraus ergibt sich eine auf derartigen Standorten gute Indikatorfunktion der Art gegenüber standörtlichen Veränderungen.

In Niedersachsen ist die Ausgangssituation für Dendro-Untersuchungen von Moorkiefern sehr gut. Von der ostfriesischen Küste bis in die Lüneburger Heide vorkommende Moore (Abb. 1) mit großen, teilweise noch in situ befindlichen subfossilen Kiefern und Eichen liefern ideale Voraussetzungen. Basierend auf der Eichenchronologie (LSBOC Lower Saxony Bog Oak Chronology), die auf über 2000 „Mooreichen“ - Funden von ca. 140 Fundorten aufgebaut ist (LEUSCHNER et al. 2002), konnte in einem europaweiten Vergleich nachgewiesen werden, dass sowohl die Populationsdynamik (Zeitstellung und Verjüngungs- / Absterbephasen der Eichenhorizonte) als auch die Jahrringbreitenschwankungen weitgehend klimatisch-hydrologisch gesteuert werden. Die LSBOC bildet damit eine unabdingbare Voraussetzung für die Bearbeitung des subfossilen Kiefernmaterials.

Erst in den Jahren 2002/2003 gelang im Zuge einer breit angelegten Untersuchung von Kiefern aus dem Campemoor (südwestliche Dümmerniederung) die dendrochronologische Datierung nicht nur der Moorkiefern, sondern auch eines dort im Neolithikum aus Kiefern angelegten Moorweges (BAUEROCHSE et al. 2006, BAUEROCHSE & METZLER 2001, METZLER 2003). Daneben waren auch Untersuchungen an Kiefern aus dem Gifhorner Moor anhand von 70 Proben erfolgreich.

Die dabei gesammelten Erfahrungen zeigten, dass erst bei der Untersuchung vieler Hölzer je Einzelstandort sich die Serien untereinander durch gegenseitige Bestätigung und Absicherung zunächst relativ als „schwimmende Jahrringchronologien“ einordnen lassen. Nachfolgend wurden aus synchronen Baum-Einzelreihen sogenannte Mittelkurven (Durchschnitts-Zuwachskurven) gebildet, die sich bei ausreichender Länge und Belegung Fundort übergreifend mit anderen Kiefern-Mittelkurven datieren lassen. Auch waren erste absolute Datierungen mit Hilfe der Eichenchronologie möglich. Diese ersten Ergebnisse bildeten die Grundlage für ein durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördertes Vorhaben zur systematischen Untersuchung von Moorkiefern aus NW-Deutschland. Im Zentrum der Untersuchungen steht die Erarbeitung dendroökologischer Befunde zur Moorentwicklung sowie der klimatisch gesteuerten Bewaldung der Moore. Im Vergleich zu den subfossilen Eichenvorkommen auf Moorstandorten ermöglichen die Kiefern detaillierte Aussagen zu den Veränderungen der Moorhydrologie.

2. Material und Methoden

2.1 Fundorte

Das Kiefernmaterial stammt aus dem industriellen Torfabbau, wobei der überwiegende Teil von Fundorten entlang einem NW-SE verlaufenden Transekt zwischen dem Bourtan-ger Moor mit auch heute deutlich maritim geprägtem Klima (800 mm Niederschlag / Jahr) und dem Gifhorner Moor (630 mm Niederschlag / Jahr) im Übergang zum kontinentalen Klimabereich stammt (Abb. 2; MÜLLER-WESTERMEIER 1996).

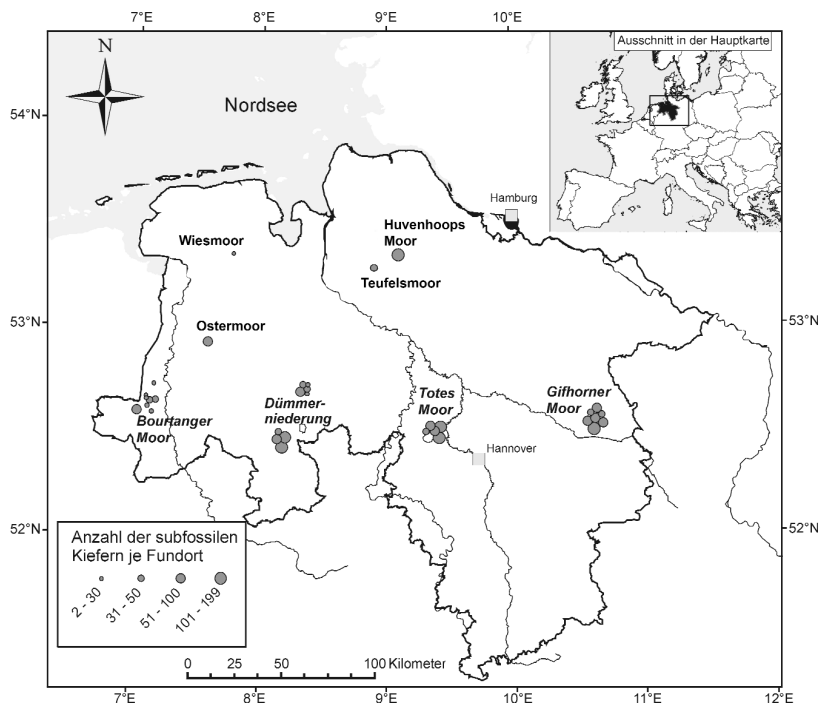


Abb. 2: Fundorte der untersuchten subfossilen Kiefern in Niedersachsen
Localities of the analysed subfossil pines in Lower Saxony

2.2 Probenahme, Probenpräparation und Messung der Jahrringbreiten

Der Umfang und die Auswahl von Probenmaterial für die Jahrringanalysen (Gewinnung einer ca. 5 cm dicken Stammscheibe mit der Kettensäge) haben zum Ziel, die jeweils vorkommenden Wuchsform- und Erhaltungstypen repräsentativ und - bei ausreichendem Probenmaterial - mit mindestens 30-50 Hölzern je Standort zu erfassen. Zudem wird bei jedem Standort (Torfabbaufäche) eine auch räumlich repräsentative Streuung der Funde

angestrebt. Fundorte subfossiler Kiefern, die mehr als 200 m auseinander liegen, wurden als „Teil-Fundorte“ innerhalb eines Moorgebietes angesehen. Die Stelle der Probenentnahme (Stubben, Stammabschnitt) richtet sich nach der Baumerhaltung. Im Idealfall wird eine Beprobung in etwa 0,5-1 m oberhalb des Wurzeltellers angestrebt, da in diesem Stammbereich keine Wurzelanläufe die Jahrringstruktur stören und da hier vermutlich lediglich wenige, nur im darunter liegenden Stammteil vorhandene Jahrringe bis zur Keimung fehlen. In einer Vielzahl der Fälle stehen jedoch nur noch Stubben zur Verfügung, so dass in diesen Fällen der unterste Stammteil, der Bereich zwischen den Seitenwurzeln oder die Wurzeln selbst Verwendung finden.

Bei der Probenentnahme werden im Gelände neben den oben beschriebenen Merkmalen (Wurzelform, erhaltene Stammlänge), die Lage der Probe (*in / ex situ*), der Erhalt der Waldkante, Wunden, Brandmerkmale und sonstige Besonderheiten sowie Angaben zu ihren metrischen Maßen und die geographischen Fundort-Koordinaten (GPS, Messgenauigkeit +/- 5 m) protokolliert. Alle beprobten Bäume werden fotografiert.

Im Labor werden die Stammscheiben mit einer Kreissäge auf eine Stärke von ca. 3 cm glatt zugeschnitten und anschließend zur Konservierung und zur Festigung angerotteter Holzpartien tiefgefroren. Entlang von ein bis mehreren radialen Strecken wird dann die Querschnittsfläche mit einem Skalpell geglättet (Abb. 3). Danach wird in die offenporige Querschnittsfläche Kreide eingerieben, so dass die Zellstruktur durch den Kontrast der dunklen Zellwände zu den weißen Zellräumen (Lumen) optimal zu erkennen ist (ISELI & SCHWEIN-



Abb. 3: Vorbereitung einer subfossilen Kiefernzscheibe für die Untersuchungen
Preparing a subfossil pine disc for analysis

GRUBER 1989, LEUSCHNER & SCHWEINGRUBER 1996). Nicht nur die Jahrringgrenzen, sondern auch holzanatomische Besonderheiten treten so klar hervor (Abb. 4). Die Ringbreiten werden unter dem Auflichtmikroskop mit Hilfe einer speziellen Anlage gemessen (Schrittmotor-betriebener Gleitschlitten mit digitaler Erfassung der Messstrecke, Messgenauigkeit: 1/100 mm; ANIOL 1983). Wunden, Wachstumsreaktionen auf Schrägstellung der Bäume (sog. Reaktionsholz; Abb. 5f), Brandspuren (Abb. 6) oder Frostringe werden bereits bei der Messung mit erfasst, als Merkmal codiert und zusammen mit den Ringbreiten abgespeichert.

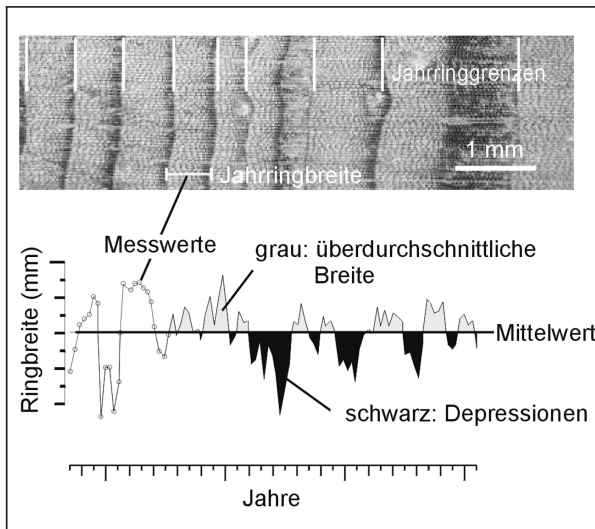


Abb. 4: Jahrringbreitenmessung und Kurvendarstellung
Annual ring width measurement and plotting

2.3 Fund- und Erhaltungsbedingungen

Die Mehrzahl der Hölzer sind beim Torfabbau aus ihrem natürlichen Zusammenhang herausgerissene *ex situ* Funde. Bei den meisten Fundorten belegen jedoch einige in Gräben angeschnittene oder in der Fläche freigelegte Kiefern ihre Position innerhalb des Torfkörpers. Derartige Beobachtungen sowie die Aussagen der Torfarbeiter und eine Vielzahl von *in situ* Vorkommen belegen, dass baumreiche Stubbenhorizonte und somit dichte Kiefernbestände in der Regel an der Basis des Hochmoortorfes im Übergangsbereich vom Nieder- zum Hochmoor bzw. direkt auf dem Mineralboden unter wurzelechten Hochmooren vorkommen (Abb. 5g). Daneben treten – vereinzelt und zumeist „kummerwüchsig“ – Kiefernstubben und -stämme „schwimmend“ im Hochmoortorf auf (Abb. 5e).

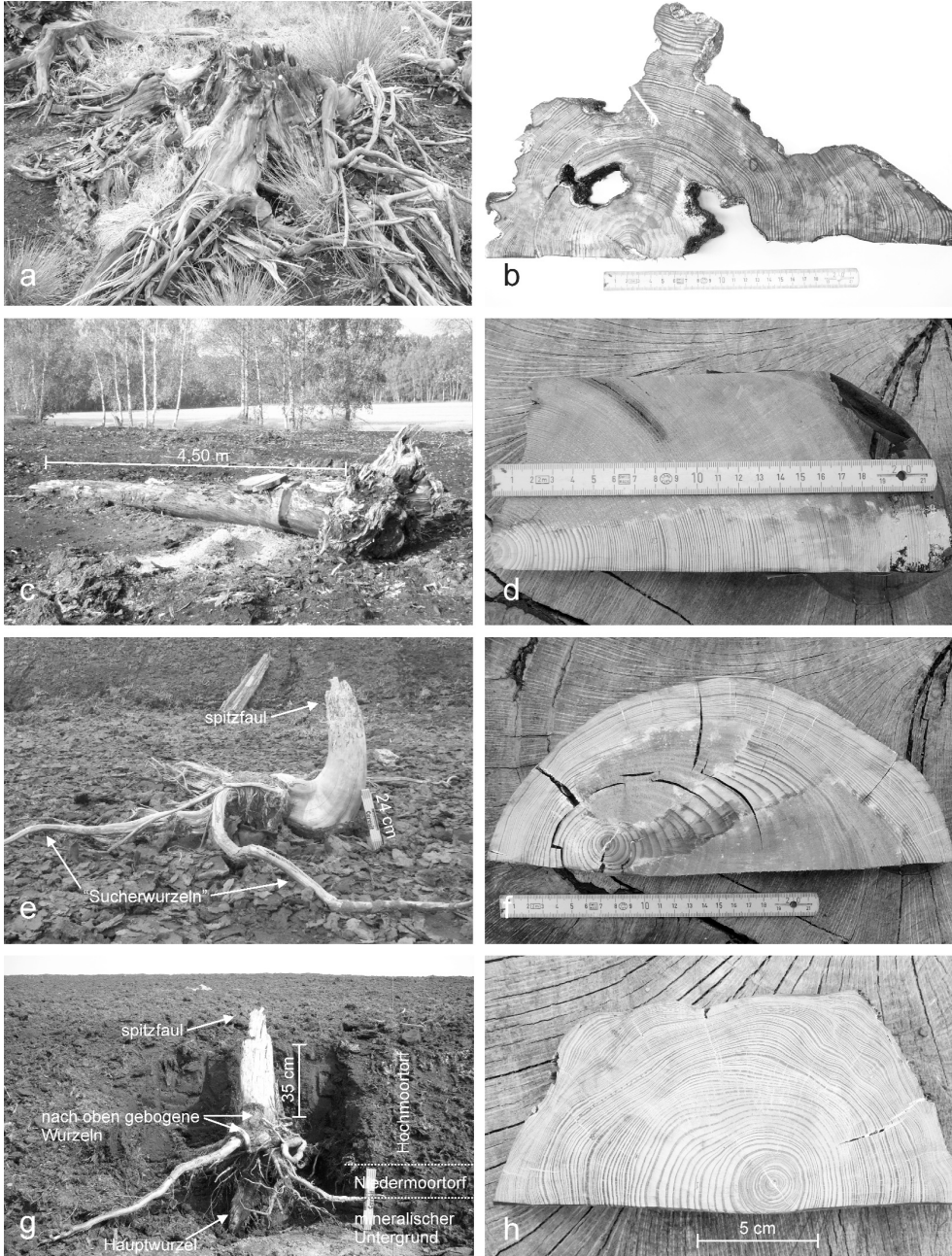


Abb. 5: Typische Stamm- und Wurzelformen mit den dazu gehörigen Stammscheiben subfossiler Moor-Kiefern und ihre Interpretation in Bezug auf ehemalige Wachstums- und Konservierungsbedingungen

- Abb. 5: (a-b) Stubben mit außenseitig sowie innen tiefreichend verrottetem Stamm („Kronenverwitterung“). Die Konservierung erfolgte ohne Einfluss eines aufwachsenden Hochmoores. Der asymmetrische Wuchs und die hohe Sensitivität der Jahrringfolgen weisen auf ein Wachstum auf leicht instabilem Grund (Niedermoorortf) mit ausgeprägtem Wechsel der hydrologischen Bedingungen. Die breiten marknahen Ringe weisen auf ein Aufwachsen auf einer nährstoffreichen Freifläche.
- (c-d) Windgeworfene, große Kiefer mit tief reichendem Wurzelsystem von einem vermutlich relativ stabilen Untergrund (gerader Stammwuchs). Das Jahrringmuster des 220-jährigen Baums ist eng und ausgeglichen (hohe Bestandesdichte, mäßiges Nährstoffangebot, langfristig ausgeglichene hydrologische Bedingungen).
- (e-f) Typischer Fund mit Hinweisen auf Aufwachsen und Konservierung im wachsenden Hochmoor (zunächst horizontales Wachstum mit darauf folgender starker Krümmung, exzentrisches Jahrringmuster, spitzfaule Verrottung in beträchtlicher Höhe). Lange, dünne und glatte Wurzeln deuten auf nährstoffarme Bedingungen im Akrotelm („Sucherwurzeln“).
- (g-h) Diese Kiefer mit tief bis in den mineralischen Untergrund reichender Hauptwurzel und etagenförmigen, teilweise nach oben gerichteten Seitenwurzeln belegt einen deutlichen Anstieg des Wasserspiegels während des Baumlebens. Die sehr gute Stammerhaltung mit Borke bis in 35 cm Höhe ist auf das schnelle Überwachsen mit Torfmoosen zurückzuführen und belegt einen raschen Anstieg des Grund- und Moorwasserspiegels. Das unregelmäßige Jahrringbild mit Reaktionsholz in allen Richtungen deutet auf einen instabilen Untergrund.
- Typical trunk and root shapes with the associated trunk discs from subfossil peat bog pines, and their interpretation with respect to former growth and conservation conditions.
- (a-b) Stump with externally and deep internally rotted trunk („crown weathering“). Conservation took place without any influence from a developing high-moor. The asymmetrical growth and the high sensitivity of the annual ring sequence indicate growth on a slightly unstable substrate (fen peat) with major fluctuations in hydrological conditions. The wide rings near the core suggest growth on a nutrient rich open area.
- (c-d) Windthrown large pines with deep root systems probably from a relatively stable substrate (straight trunk). The annual ring pattern of the 220-year-old tree is tight and regular (high vegetation density, moderate nutrient availability, sustained regular hydrological conditions).
- (e-f) Typical find with signs of growth and conservation in a growing raised bog (initial horizontal growth followed by strong curvature, eccentric annual ring pattern, tip rot to a significant height). Long, thin and smooth roots indicate nutrient poor conditions in the akrotelm („exploration roots“).
- (g-h) This pine with a tap root penetrating deep into the mineral substratum, and storeyed partially upward pointing lateral roots, indicates a major rise in the water table during the life of the tree. The very good preservation of the trunk with bark up to a height of 35 cm is attributable to rapid blanketing by peat mosses, and suggests a rapid rise in the groundwater and peat bog water levels during the life of the tree. The irregular annual ring pattern with reaction wood on all sides indicates an unstable substrate.

Wesentliches Indiz für die moorgenetische Zuordnung sind die vorgefundenen Stamm- und Wurzelformen sowie die Morphologie und der Erhaltungszustand der Baumreste. Generell ist davon auszugehen, dass nur Holz erhalten ist, das relativ schnell vor der Zersetzung durch Mikroorganismen oder Pilze bzw. durch Insektenfraß unter Luftabschluss und den konservierenden Einfluss der Torfmoose geraten ist. Das kann durch Einsinken umstürzender Stämme in den feuchten Untergrund, durch einen Anstieg des Wasserspie-

gels oder durch das beschleunigte Aufwachsen der Torfmoose erfolgen. Typisch für den letztgenannten Fall sind die schon von HAYEN (1960) beschriebenen Kiefernstubben mit spitz abgefaulten Stammresten, was durch kontinuierlich am verrottenden Stamm in die Höhe wachsenden Torfmoose erklärt werden kann. Nach unseren Beobachtungen sind solche Stubben bis wenige Zentimeter unterhalb des spitzfaulen Bereichs einschließlich der Feinwurzeln und der Borke vorzüglich erhalten (Abb. 5e, 5g).



Abb. 6: Stammscheibe einer subfossilen Kiefer mit drei Brandwunden (Durch das Feuer stirbt das Kambium teilweise ab. Diese Bereiche werden in den Folgejahren von den Rändern her wieder überwältigt. Typisch ist oftmals die Zunahme der Jahrringbreiten nach einem Brand infolge verbesserter Wachstumsbedingungen; nährstoffreiche Asche und Auflichtung)

Trunk disc of a subfossil pine with three fire scars (Fire causes partial necrotisation of the cambium. These zones are then covered over again in subsequent years by growth from outside to inside. A typical feature often observed after a fire is an increase in the width of the annual rings resulting from an improvement in the growth conditions; nutrient-rich ash and thinning out of the trees)

Neben den spitzfaulen Baumresten im Bereich des Hochmoorkörpers (Abb. 7a) finden sich häufig angerottete Hölzer mit gezacktem Außenrand („Kronenform“). Ihr Vorkommen ist auf den Bereich des Niedermoors, bzw. den Übergang vom Nieder- zum Hochmoortorf (Abb. 5a, Abb. 7b) beschränkt; zumindest erfolgte die Verrottung vor dem Aufwachsen des Hochmoortorfes.



Abb. 7: Im Zuge von Ausgrabungen freigelegte subfossile Kiefernhorizonte im Toten Moor (Pfeil markiert die Nordrichtung)

a) Im Hochmoor aufgewachsene und konservierte Kiefern mit „spitzfaul“ verrotteten Stammenden an den Stubben.

b) Im Übergang vom Nieder- zum Hochmoorstadium aufgewachsene Kiefern. Im Bildvordergrund links ist ein Stubben zu erkennen, dessen „kronenförmige“ Verwitterungsform ein Indiz für eine längerfristig stabile Mooroberfläche ist, während die „spitzfaulen“ Verwitterungsformen der darüber gewachsenen Bäume eine Verrottung im Hochmoortorf belegen.

Subfossil pine layer exposed in the Toten Moor by excavation work (arrow points to the north)

a) Pine that grew and was conserved in a high-moor showing tip rot at the end of the stump.

b) Pine that grew at the transition between fen and raised bog phases. The stump in the left foreground of the photograph shows „crown-like“ weathering features indicating a peat bog surface that remained stable for a long period. The „tip rot“ weathering of the trees that grew on top indicate rotting within the raised bog peat.

2.4 Ausgrabungen subfossiler Kiefernwaldhorizonte

Zur *in situ*-Erfassung der Bestandsdichte, der Verteilung der Bäume innerhalb des Torfkörpers sowie der Wurzelsysteme erfolgten im Toten Moor bei Neustadt am Rübenberge (Region Hannover) auf einer Fläche von etwa 100 m² exemplarisch Ausgrabungen. Dabei wurde der Torfkörper, beginnend im Weißtorf, über eine Mächtigkeit von etwa 1,5 m bis hinein in den Niedermoortorf in dünnen, soweit möglich sich an natürlichen Schichten orientierenden Lagen abgetragen. Die Baumstubben, Wurzeln und Stämme wurden eingemessen und fotografiert. Zusätzlich erfolgte eine zweimalige Aufnahme der Fläche mittels 3D-Laserscan (Leica HDS 3000 Scanner; Abb. 8). Dieses Verfahren bietet die Möglichkeit einer maßstabgetreuen und verzerrungsfreien 3D-Abbildung und erlaubt auch nach der Ausgrabung Vermessungen der erfassten Objekte (vgl. LUHMANN 2003).

Bei den Ausgrabungen wurden sowohl Bäume ehemaliger Hochmoor-Kiefernbestände erfasst, also solche, deren Wurzelsystem ausschließlich im Hochmoortorf entwickelt waren, als auch Bäume, die in dem darunter befindlichen Niedermoortorf wurzelten bzw. teilweise Kontakt zum mineralischen Untergrund besessen haben (Abb. 9).

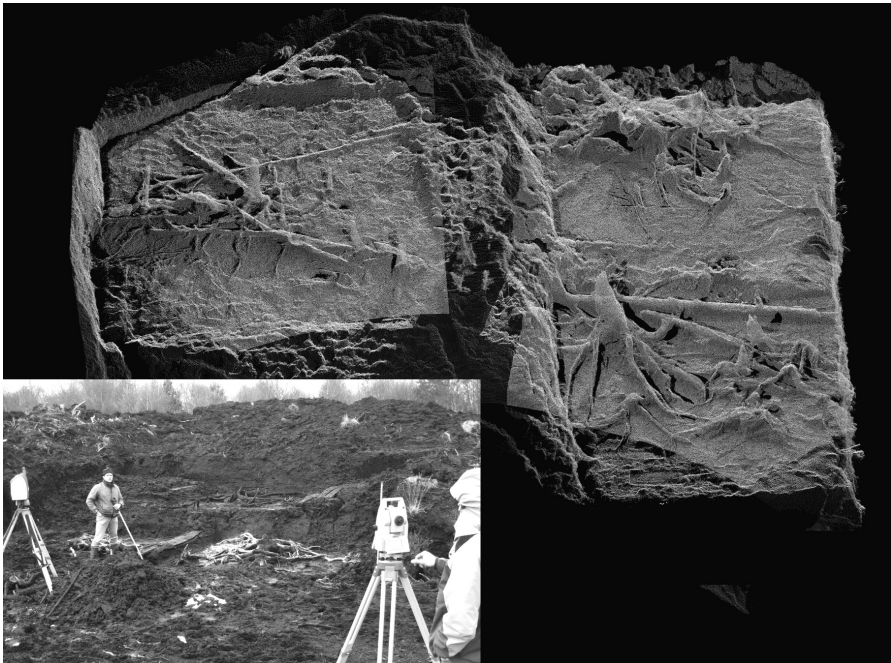


Abb. 8: Laserscan subfossiler Kiefernhorizonte im Toten Moor. Der Scan zeigt eine verzerrungsfreie und maßstabgetreue Abbildung der Bäume
 Laser scan of a subfossil pine layer in the Toten Moor. The scan is an undistorted true-scale depiction of the trees

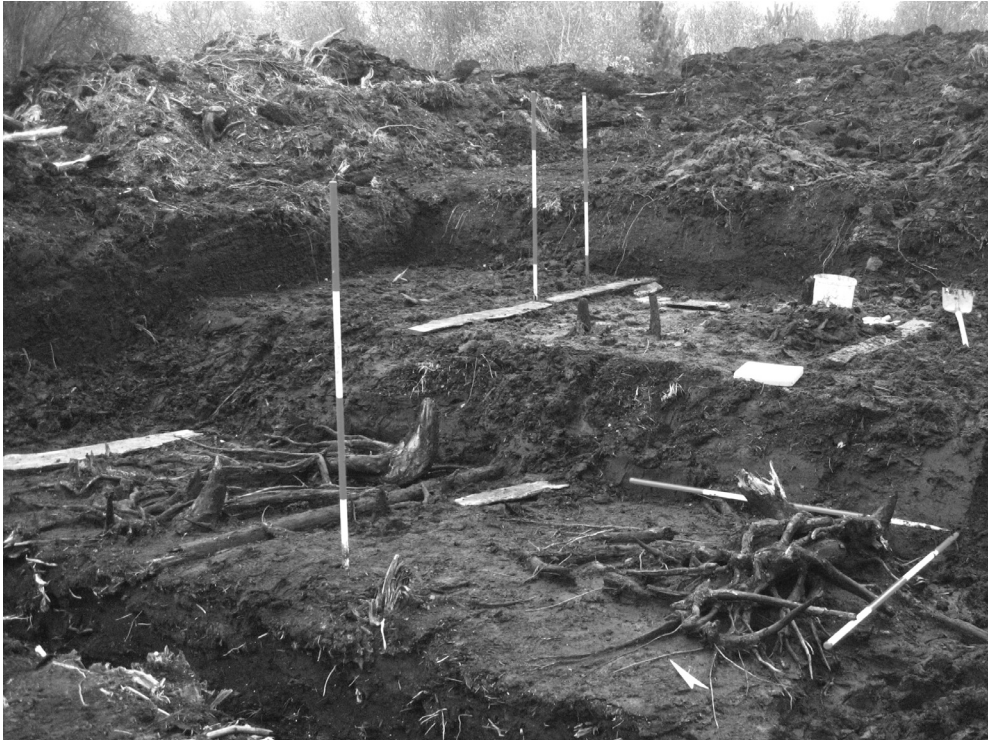


Abb. 9: Ausgrabungen subfossiler Kiefern im Toten Moor
Excavated subfossil pines in the Toten Moor

3. Ergebnisse

3.1 Wurzelformen und Stubbenerhaltung als Indikator hydrologischer Bedingungen und Änderungen

Die Tiefe der Durchwurzelung und die Verteilung der Wurzelmasse innerhalb des Torfkörpers ist ein Abbild der Dynamik des ehemaligen Moorwasserspiegels, wobei die Durchwurzelungstiefe in etwa den Akrotelm zur Zeit des jeweiligen Baumaufkommens markiert. Langfristige Veränderungen des Moorwasserspiegels dokumentieren sich dabei in charakteristischen Wuchsformen der Wurzeln, wie stockwerkartig ausgebildete Wurzelsysteme oder nach oben gerichtete Wurzeln (Abb. 10; LEUSCHNER et al. 2007, ECKSTEIN et al. 2008). Insbesondere für auf Hochmoorstandorten aufgewachsene Kiefern ist ein nach oben ausgerichtetes Wachstum der Wurzeln häufig, während die im zentralen Bereich des Wurzeltellers ansonsten typische Pfahlwurzel nur rudimentär oder gar nicht ausgebildet ist (Abb. 5e ; HAYEN 1960, KOKKONEN 1923, LANDGRAF 2006).

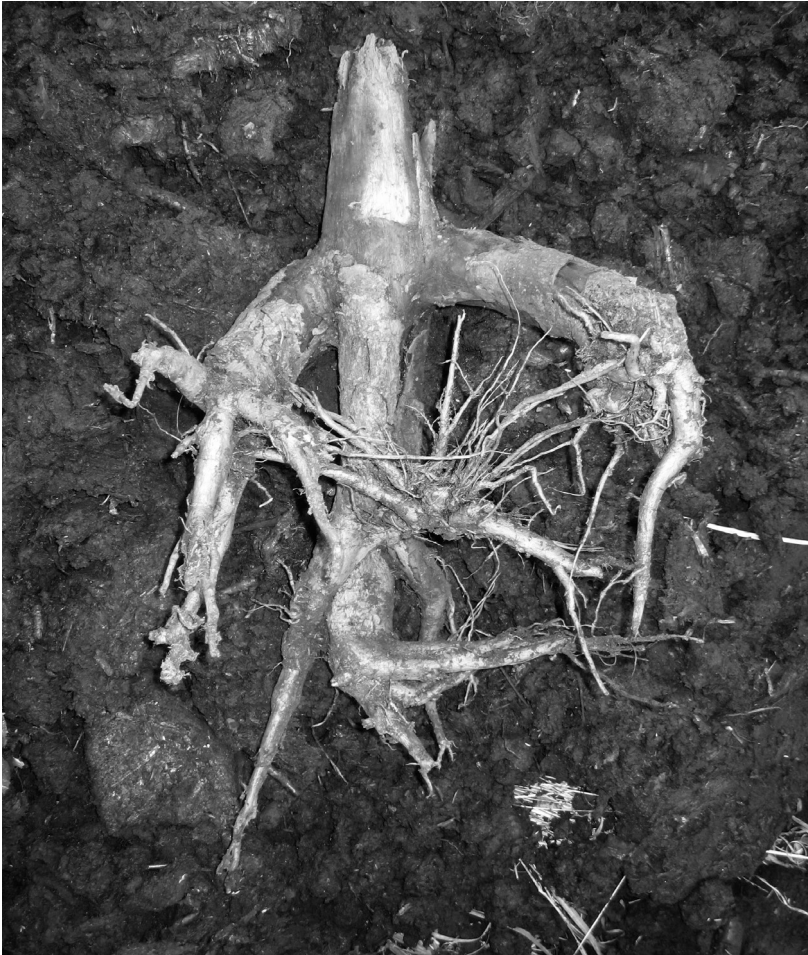


Abb. 10: Stockwerkartig angelegte Wurzeln einer im Hochmoor aufgewachsenen subfossilen Kiefer
Storeyed roots in a subfossil pine which grew in a raised bog

Darüber hinaus finden sich aber auch Stubben, die neben den oben beschriebenen Wurzelformen mehrere Dezimeter tief reichende Pfahlwurzeln aufweisen (Abb. 5g). Bei ihnen handelt es sich häufig um Kiefern, die auf Mineralböden aufgewachsen sind und von transgredierendem Hochmoor überwachsen wurden oder um solche, die auf flachgründigem Niedermoor, oftmals mit Kontakt zum mineralischen Untergrund gestockt haben. Diese Heterogenität der Wurzelsysteme zeugt von erheblichen Änderungen des Wasserspiegels, die mit Hilfe von Dendro-Datierungen zeitlich gefasst werden können. So lassen sich die Anlage- und „Nutzungszeiträume“ der Wurzeln innerhalb der Lebenszeit des Baumes zuordnen und damit die standörtlichen Veränderungen detailliert rekonstruieren (LEUSCHNER et al. 2007).

Eine exakte stratigraphische Zuordnung des Keimungshorizontes innerhalb des Torfkörpers ist oftmals erschwert bzw. nicht möglich, da insbesondere die Wurzeln der ehemals auf Niedermoor wurzelnden Bäume z. T. weit in den Torf hinabreichen und die Höhenlage des Keimlings nicht mehr lokalisiert werden kann. In einigen Fällen belegt aber die Erhaltung der spitzfaul verrotteten oberen Stammteile im Hochmoortorf (Abb. 5f), dass dessen Akkumulation noch vor der Verrottung der Baumreste eingesetzt haben muss. In zwei Fällen (Campemoor; LEUSCHNER et al. 2007 und Totes Moor; ECKSTEIN et al. 2008) bestätigen Profilaufnahmen und Pollenanalysen die zeitgleiche massive Ausbreitung von Torfmoosen und das Absterben der Kiefern (BAUEROCHSE 2003).

Kronenförmig verrottete Stubben, wie sie charakteristisch für subfossile Kiefern aus Niedermooren bzw. dem Übergangshorizont vom Nieder- zum Hochmoortorf sind, deuten hingegen auf Zersetzung über einen längeren Zeitraum stabilen Mooroberfläche mit stagnierendem Moorwachstum hin (Abb.5a).

3.2 Datierungen

Bisher wurden 1702 Kiefern von 40 Standorten untersucht. Von diesen konnten 696 dendrochronologisch datiert werden. 192 weitere Kiefern sind relativ zueinander in mehreren sog. „schwimmenden“ Chronologien datiert. Um erste Hinweise auf die Zeitstellung der dendrochronologisch noch nicht fassbaren Kiefern-Horizonte zu erhalten, wurden 34 Hölzer ¹⁴C-datiert. Tabelle 1 gibt eine Übersicht der Ergebnisse der Dendro-Untersuchungen für die Hauptfundorte. In Abbildung 11 ist die zeitliche Verteilung der Kiefern-Einzelbaum-Lebensspannen des absolut datierten Kiefern-Materials sowie die Zeitstellung der ¹⁴C-datierten Mittelkurven dargestellt. Zum Vergleich sind auch die Mooreichenfunde mit angeführt (s.a. LEUSCHNER et al. 2002).

3.3 Populationsdynamik

Die subfossilen Kiefern zeigen nur ein bis zwei relativ kurze, 100-250 Jahre dauernde Bewaldungsphasen mit scharf begrenzten Keimungs- und Absterbeperioden (Abb. 11a). Eine Ausnahme bildet das Material aus dem Toten Moor (TOMO). In diesem Gebiet, das durch ein ausgeprägtes Relief des mineralischen Untergrundes, bestehend aus Dünen und Abflussrinnen (MERKT 1979, TÜXEN 1979) charakterisiert ist, decken die Kiefern nach derzeitigem Kenntnisstand einen Zeitraum von 3400 Jahren ab und spiegeln damit die zeitliche und räumliche Entwicklung der Moorlandschaft wider.

Entsprechend der dendrochronologischen und -ökologischen Befunde lässt sich hier, wie auch bei anderen Fundorten eine dichte Kiefernbevwaldung nur für einen relativ kurzen Übergangszeitraum zu Beginn der Hochmoorentwicklung rekonstruieren. In einem zeitlich-räumlichen Vergleich der Entwicklung der Moore in Niedersachsen fällt auf, dass die in den östlichen Landesteilen gelegenen Moore (TOMO und GIMO) die längsten Bewal-

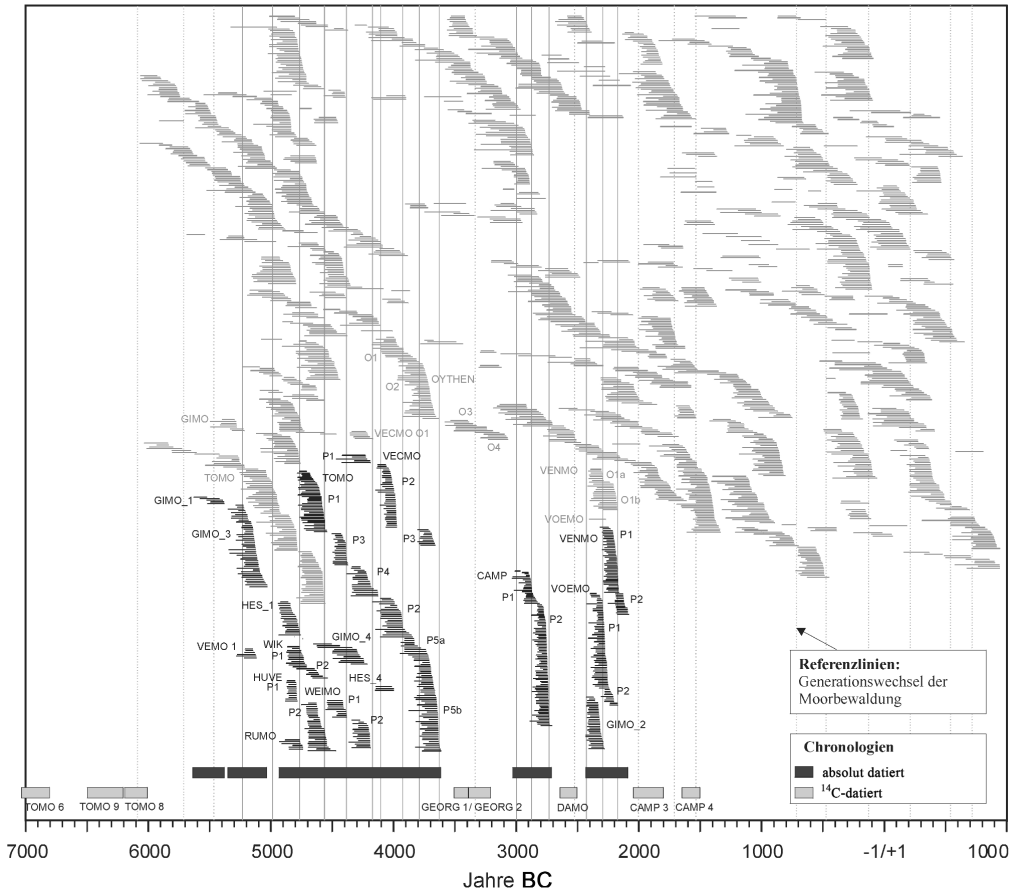


Abb. 11: Lebensspannen subfossiler Kiefern (schwarz) und Eichen (grau) aus niedersächsischen Mooren (Die Strichmuster, in denen die Lebensspannen der einzelnen Bäume abgebildet sind, sind nach dem Absterbedatum in Fundort-Gruppen gestaffelt. Diese „Fundortwolken“ spiegeln das zeitliche Verteilungsmuster der subfossilen Waldhorizonte wider. Die Herkunft der Kiefern sowie der mit ihnen im Fundzusammenhang stehenden Eichen ist mit einem Namenskürzel angegeben (P = Kiefer, O = Eiche). Mehrere Waldhorizonte an einem Fundort sind mit unterschiedlichen Nummer benannt (Tab. 1). Der untere Teil der Abbildung gibt die Zeitstellungen der dendrochronologisch datierten (schwarz) bzw. der ^{14}C -datierten (grau) Kiefernchronologien an.)

Lifespans of subfossil pines (black) and oaks (grey) from peat bogs in Lower Saxony (The pattern of marks depicting the lifespans of each of the trees are arranged in locality groups according to the time of death. These „locality clusters“ reflect the distribution patterns over time of the subfossil forest layers. The origin of the pines and oaks from the same locality are identified by abbreviations (P = pine, O = oak). Where there are several forest horizons at one locality, they are marked with different numbers (cf. Tab. 1). The lower part of the diagram shows the ages of the dendrochronologically dated (black) or ^{14}C dated (grey) pine chronologies.)

Tab. 1: Moorkiefern-Fundorte mit geographischen Koordinaten, z.T. unter Einbeziehung mehrerer lokaler Teilfundorte sowie Angaben zur Gesamtanzahl der Proben mit absolut / relativ datierten Hölzern
 Peat bog pine localities with geographical coordinates, e.g. incorporating several sublocalities, and also showing the total number of samples with absolute / relative dated wood

Fundort-Kürzel	Fundort	Anzahl Teil-Fundorte	Geograph. Koordinaten		Moorgebiet	Anzahl Proben		
			Länge	Breite		gesamt	absolut datiert	relativ datiert
RUMO	Rühler Moor	2	52,65	7,10	Bourtanger Moor	37	9	3
HES	Hesepor Moor	3	52,64	7,12	Bourtanger Moor	83	22	7
VEMO	Versener Moor	1	52,72	7,16	Bourtanger Moor	15	6	-
GEORG	Georgsdorfer Moor	1	52,60	10,66	Bourtanger Moor	130	-	46
WIK	Wiesmoor	1	53,35	7,77	Wiesmoor	41	26	-
VOEMO	Vördener Moor	1	52,46	8,14	Dümmerniederung	77	62	6
VENN	Venner Moor	1	52,44	8,17	Dümmerniederung	90	64	9
CAMP	Campemoor	4	52,47	8,21	Dümmerniederung	255	106	35
VECHMO	Vechtaer Moor	3	52,70	8,33	Dümmerniederung	65	50	-
HUVE	Huvenhoops Moor	1	53,36	9,09	Teufelsmoor	106	35	-
TOMO	Totes Moor	5	52,51	9,37	Totes Moor	417	183	45
GIMO	Gifhorner Moor	11	52,53	10,63	Gifhorner Moor	347	102	51
WEIMO	Weißes Moor	1	52,60	10,66	Gifhorner Moor	39	31	-
Summe		35				1702	696	192

dungsphasen aufweisen. Als Ursache hierfür kann möglicherweise das im Vergleich zu den westlichen Gebieten subkontinentale Klima gelten, das eine rasche Entwicklung der Hochmoore verhindert hat. Ferner zeichnet sich bei den älteren Bewaldungsstadien eine im Vergleich zu den jüngeren Waldphasen generell längere Bestockungsdauer ab. Auch hier können die klimatischen Bedingungen als ursächlich betrachtet werden, wenngleich auch Beeinflussungen durch nährstoffreiches Bodenwasser am Beginn der Hochmoorentstehung nicht gänzlich auszuschließen sind.

Die Referenzlinien in Abbildung 11 zeigen deutliche Parallelen der Keimungs- und Absterbephasen von Kiefern und Eichen. Wenngleich das Probenmaterial von teilweise unterschiedlichen Standorten stammt – so handelt es sich bei den Eichen vornehmlich um Material aus vermoorten Flussauen und Küsten-Niederungsmooren, während die Kiefern in heutigen Hochmoor-Gebieten wuchsen – legt diese Abbildung klimatische Ursachen als populationsdynamisch kausal wirkend nahe. Bislang liegen hierzu erste Auswertungen für die Kiefernhorizonte TOMO P1 und TOMO P5 vor. Erstgenannter weist eine exakt gleiche Zeitstellung wie ein etwa 700 m entfernt vorgefundener TOMO-Eichenhorizont auf (BAUEROCHSE et al. 2006). TOMO P5 zeigt klare Übereinstimmungen mit Eichenfunden aus dem Oyther Moor bei Vechta (ECKSTEIN et al. 2008). Die Synchronität von Keimungs- und Absterbephasen und Dekaden andauernder Wachstumsdepressionen der Bäume deutet hier, wie auch schon bei dem Kiefernmaterial aus dem Campemoor (LEUSCHNER et al. 2007), auf Vernässungsphasen als Ursache hin.

3.4 Keimungs- und Absterbephasen

Bei der Interpretation der zeitlichen Dynamik der einzelnen Kiefernhorizonte stellt sich die Frage, welche Umweltänderungen ihre zeitliche Begrenzung zum Älteren (Keimungsphasen) und zum Jüngeren (Absterbephasen) verursacht haben. Die in vielen Fällen eindeutige Folge von Verjüngungsphasen im direkten Anschluss an Absterbephasen der Vorgänger-Generation lässt auf gemeinsame, relativ kurzfristige Stress-Situationen schließen. Hierfür spricht, dass Kiefernbestände generell in ihrer Entstehung und Regeneration auf Störungen angewiesen sind, da die Kiefer sehr lichtbedürftig ist und in geschlossenen Beständen oder in dichterem Strauchvegetation nicht aufkommen kann. Massensterben als Folge von Insektenkalamitäten können aufgrund der Ähnlichkeiten mit der Eichen-Populationsdynamik weitgehend ausgeschlossen werden, da beide Arten von unterschiedlichen Schädlingen befallen werden. Als mögliche Störungen bleiben somit zum einen „katastrophale“ Naturereignisse wie Feuer, Sturm, Überflutungen oder Trockenheit. Im Fall solcher Naturereignisse wäre ein einjährig-punktuellem Beginn der Absterbephasen zu erwarten, dem dann in den nachfolgenden Jahren das Absterben geschwächter Bäume folgen kann. Ein solcher zeitlicher Verlauf liegt bei dem untersuchten Material jedoch nicht vor. In Einzelfällen mögen singuläre „Katastrophen“ zwar eine Rolle gespielt haben, waren jedoch vermutlich nicht die Hauptursache für die Kiefernwald-Generationswechsel auf den Mooren. Es ist daher eher von klimainduzierten standörtlichen Veränderungen auszugehen, in deren Folge ältere Vegetationsbestände weitgehend abgestorben sind (Vernässung) oder in Trockenphasen Kiefern ein Aufwachsen auf freien Hochmoorflächen ermöglicht wurde.

Diese Entwicklung soll anhand des Zeitabschnitts um 4400 BC verdeutlicht werden, da hier mit den Horizonten WEIMO P1 und P2 und TOMO 3 sowohl eine klare Gliederung in zwei Phasen besteht, als auch eine den gesamten Zeitabschnitt überbrückende Bewaldungsphase auftritt (GIMO_4 und VECMO). Insgesamt ist das einbezogene Material sehr heterogen. Die älteren Kiefern aus dem Vechtaer Moor (VECMO P1) entstammen einem sehr offenen Bestand, dessen Stubben unter einem darüber befindlichen dichten jüngeren Kiefern-Stubbenhorizont (VECMO P2, P3) erhalten sind (Abb. 11). Es sind relativ mächtige Stubben mit Stammansatz-Durchmessern von ca. 40 cm, die auf mehreren Dezimeter mächtigen Niedermoortorfen stocken. Die Verrottung der Bäume direkt über dem Wurzelansatz und die schlechte Erhaltung der Außenkanten sprechen gegen eine schnelle Einbettung der Bäume im anaeroben Milieu (Abb. 5a, 5b). Die hohe Sensitivität der Jahrringfolgen und die häufigen Reaktionsholz-Partien der Kiefern deuten gleichzeitig auf einen sehr nassen, instabilen Untergrund. Die Eichen (VECMO O1) stockten am Rand des Fundgebietes auf einem geringmächtigen Niedermoortorf bzw. direkt auf dem mineralischen Untergrund.

Die Kiefern aus der Fundgruppe GIMO_4 sind mächtige, überwiegend windgeworfene Stämme (Abb. 5c). Die vollrunde, vorzügliche Erhaltung deutet auf eine Konservierung durch ein zur damaligen Zeit verhältnismäßig rasch aufgewachsenes Hochmoor. Das ausgeglichene und feinringige Wachstum, das diese Bäume zeigen, kommt bei den subfossilen Moorkiefern in dieser Form nur bei den beiden östlichen Fundorten im Toten Moor und im Gifhorner Moor vor (Abb. 5d). Möglicherweise sind hier durch einen im Vergleich zu den mehr ozeanisch beeinflussten Mooren im Westen, langsamer aufwachsenden *Sphagnum*-Rasen kurzfristige hydrologische Änderungen in ihren Auswirkungen auf das Baumwachstum gedämpft worden. Auch die Kiefern des Fundortes WEIMO (P1 und P2), überwiegend spitzfaule Stubben mit recht langen Stammresten, sind nach ihrer Wurzel- und Stammform eindeutig auf Hochmoor gewachsen. Ihr sehr sensitives Jahrringmuster mit häufigen Reaktionsholz-Partien weist jedoch auf wesentlich nassere Standortbedingungen, als bei den GIMO_4-Kiefern hin.

Das Probenmaterial TOMO P3 und P4 besteht zu etwa ein Drittel aus windgeworfenen Stämmen; bei den anderen Proben handelt es sich um spitzfaule Stubben. Die Hölzer sind zum überwiegenden Teil im Hochmoor konserviert. Ein Teil der windgeworfenen Bäume war aber wohl bereits lange abgestorben, bevor sie vom Wind umgeworfen wurden. Bei ihnen war ohne Bevorzugung einer Stammseite der äußere Splintholzanteil allseitig verrottet. Diese Erhaltung spricht für einen Abbau am noch stehenden Stamm, da bei lebenden vom Wind geworfenen Stämmen Unterschiede in der Erhaltung zwischen der im Moor eingelagerten und der zunächst noch aus dem Moor herausragenden Oberseite bestehen.

In Abbildung 12 ist eine repräsentative Auswahl von Jahrringfolgen der Bäume aus dem Vechtaer Moor, Gifhorner Moor und dem Weißen Moor dargestellt. Es handelt sich um Indexdaten, bei denen der langfristige vom Baumalter bedingte Trend von breiten markanten Jahrringen zu im Alter schmalen Zuwächsen herausgerechnet wurde. Die spezielle, besonders für Moormaterial mit langfristigen abrupten Wachstumswechseln geeignete V-Kern-Indexierungsmethode wurde von RIEMER (1994) entwickelt und ist bei LEUSCHNER et al. (2002) beschrieben. Wachstums-Depressionsphasen sind bei der Darstellung durch Schwärzung hervorgehoben. Exakte zeitliche Übereinstimmungen sind durch Referenzlinien markiert, die zugehörigen Depressionsphasen mit den Buchstaben A bis F gekennzeichnet. Ein Teil der Jahreszuwachskurven zeigt jedoch in den ausgewiesenen Depressionsphasen eindeutig gegenläufige Tendenzen mit überdurchschnittlichen Jahreszuwächsen. Diese konträre Entwicklung kann mit standortbedingt unterschiedlichen Auswirkungen eines steigenden Moorwasserspiegels erklärt werden. Während insbesondere bei rasch erfolgenden hydrologischen Veränderungen die in tieferen Schichten wurzelnden Bäume bei einem ansteigenden Wasserspiegel frühzeitig in ihrer Vitalität beeinträchtigt werden (bis hin zum Absterben), bleiben die im Oberflächenrelief des Moores auf höher gelegenen Standorten stockenden Bäume zunächst unbeeinflusst oder sind nur im unteren Wurzelraum betroffen. Den höher stockenden Bäumen verbleibt somit mehr

Zeit neue, höher angelegte Wurzelsysteme auszubilden und sich den veränderten Standortbedingungen anzupassen (Abb. 7b, 10). So ist z.B. beim Probenmaterial GIMO_4 ein klarer Trend der Stärke der Depressionsphasen vor deren Absterben zu erkennen, der als Spiegel der Vernässungsdynamik gewertet wird (Abb. 12).

Einen weiteren Aspekt bei der Interpretation abrupter langfristiger Zuwachsänderungen stellt die Änderung der Bestandesdichte dar. Da sich Auflichtung auf die Konkurrenz auswirkt, profitieren überlebende Bäume vom erhöhten Licht- und Nährstoffangebot, was ebenfalls zu stärkerem Jahreszuwachs führt.

Die in Abbildung 12 ausgewiesenen Wachstumsdepressionen verdeutlichen die Zusammenhänge zwischen Depressions-, Absterbe- und Keimungsphasen, wobei die Depressionsphasen als Phasen zunehmender Vernässungen interpretiert werden:

- A) Das Ende der Phase A entspricht einer Keimungsphase bei allen drei Standorten. Vermutlich handelt es sich um ein Zusammenspiel von einer vernässungsbedingten Auflichtung und dem Aufkommen der Kiefernverjüngung in der folgenden Phase ab 4463 BC.
- B) Der Beginn und das Ende dieser Depression fällt exakt mit der Häufung von Absterbeereignissen zum Ende der Kiefernhorizonte TOMO P4 / WEIMO P2 zusammen.
- C) Diese kurze, nur 10 Jahre anhaltende Vernässung bedingt das Ende der Kiefernbe-waldung im Toten Moor und im Weißen Moor.
- D) Erst nach dieser ebenfalls kurzen Vernässung beginnt bis auf wenige Vorläufer der nächste Kiefernhorizont TOMO P4 / WEIMP P2 sowie das Aufkommen der Eichen im Veichtaer Moor. Einer der Vorläufer ist als letzte Kurve der WEIMO-Kurvenschar gezeigt, die ebenfalls extrem schlechte Wachstumsbedingungen in der Jugend anzeigt.
- E) Eine Häufung von Absterbeereignissen bei der WEIMO-Fundgruppe fällt in diese Vernässungsphase.
- F) Den Abschluß des jüngeren Kiefernhorizontes bildet die mit dem ersten Absterbeer-eignis der Fundgruppe WEIMO synchron einsetzende Depression F, die hier für über 20 Jahre belegt ist.

Die Stressimpulse, die zu den Depressionsphasen geführt haben, sind in den Kiefernbeständen verschiedener Moore unabhängig von der Sukzession, die meist vom Niedermoor zum Hochmoor führt, wirksam geworden. Das heißt, dass die Kiefern sowohl in Niedermoo-ren als auch in Hochmooren von denselben Veränderungen – klimatisch gesteuerten Vernässungen – betroffen waren. Auch kurzfristige, nur wenige Jahre bis Jahrzehnte dau-ernde Vernässungsphasen beeinflussen längerfristig die Populationsdynamik der auf Grenzstandorten stockenden Moorbewaldung bis hin zum Absterben der Bäume.

Mit den weiteren Untersuchungen subfossiler Kiefern sollen die noch bestehenden Lücken der Kiefernchronologie geschlossen und die vorliegenden Ergebnisse weiter un-

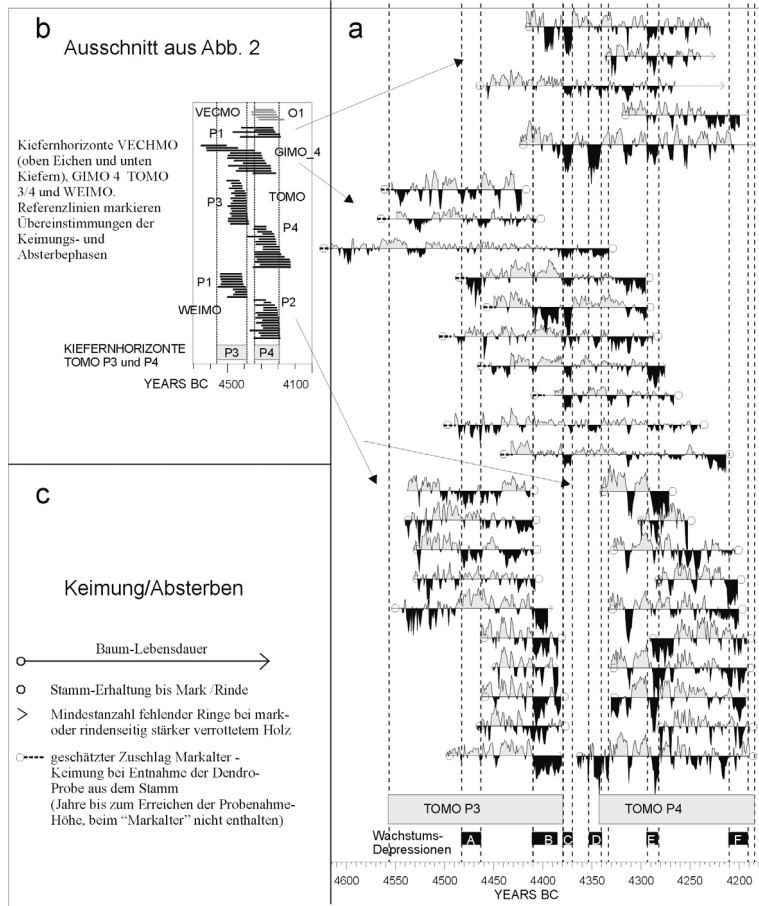


Abb. 12: Keimungs- und Absterbephasen sowie Jahringkurven ausgewählter Baumvorkommen für den Zeitbereich um 4400 BC

Germination and dying phases, as well as annual ring plots from selected trees for the period around 4400 BC

termuert werden. Es ist zu erwarten, dass sich noch in anderen Zeitabschnitten synchrone Depressions-, Keimungs- und Absterbephasen herauskristallisieren werden. Möglicherweise lassen sich darüber hinaus Rückkopplungseffekte über die Evapotranspiration zwischen (Hoch-) Moorentwicklung und Kiefernbeständen erkennen. Wie die bisherigen Ergebnisse zeigen, ist die Einbeziehung der Stamm- und Wurzelbildung in die dendroökologische Auswertung der Jahringmusterformen eine wesentliche Voraussetzung für die Rekonstruktion der komplexen ehemaligen Umweltveränderungen. Hier zeichnet sich, hinsichtlich des Verständnisses der Auswirkungen paläoklimatischer Veränderungen und deren Rekonstruktion, ein viel versprechender Ansatz ab, der bei den zukünftigen Arbeiten weiter verfolgt und intensiviert werden wird.

4. Danksagung

Das Forschungsvorhaben wird mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG LE 1805/2-1) gefördert. Wir danken der DFG für die Förderung. Darüber hinaus danken wir der Fa. Laserscan Berlin für die kooperative Zusammenarbeit und Unterstützung bei der Dokumentation der subfossilen Kiefernstubben sowie dem ¹⁴C-Labor des Instituts für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben für die Datierung von 34 Hölzern.

5. Literaturverzeichnis

- ANIOL, R. W. (1983): Tree-ring analysis using CATRAS. - *Dendrochronologia* **1**: 45-53.
- BAUEROCHSE, A. (2003): Environmental change and its influence on trackway construction and settlement in the south-western Dümmer area. – In: BAUEROCHSE, A. & HABMANN, H. (eds.): Peatlands, Proceedings of the Peatland Conference 2002 in Hannover, Germany: 68-78; Rhaden/Westf. (Marie Leidorf).
- BAUEROCHSE, A. & HABMANN, H. (eds., 2003): Peatlands – archaeological sites, archives of nature, nature conservation, wise use. 240 p.; Rhaden (Leidorf).
- BAUEROCHSE, A. & METZLER, A. (2001): Landschaftswandel und Moorwegebau im Neolithikum in der südwestlichen Dümmer-Region. – *Telma* **31**: 105-133; Hannover.
- BAUEROCHSE, A., LEUSCHNER, B. & LEUSCHNER, H. H. (2006): Moorhölzer und Archäologie – umweltgeschichtliche und siedlungsarchäologische Befunde. – *Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen* **26**(2): 40-45.
- BEHRE, K.-E (2004): Coastal development, sea-level change and settlement history during the later Holocene in the Clay District of Lower Saxony (Niedersachsen), northern Germany. – *Quaternary International* **112**: 37-53.
- ECKSTEIN, J., LEUSCHNER, H. H. & BAUEROCHSE, A. (2008): Dendroecological studies on subfossil pine and oak from „Totes Moor“ near Hannover (Lower Saxony, Germany). – *TRACE* **6**: 70-76.
- ELLENBERG (1995): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. 5. Aufl., 1095 S.; Stuttgart (Ulmer).
- HAYEN, H. (1960): Erhaltungsformen der in den Mooren gefundenen Baumreste. – *Oldenburger Jahrbuch* **59**: 21-49, Taf. 9-12.
- ISELI, M. & SCHWEINGRUBER, F. H. (1989): Sichtbarmachen von Jahrringen für dendrochronologische Untersuchungen. – *Dendrochronologia* **3**: 8-13.
- KOKKONEN, P. (1923): Beobachtungen über das Wurzelsystem der Kiefer in Moorböden. – *Acta forestalia fennica* **25**: 1-21.
- LANDGRAF, L. (2006): Zur Ökologie der Wuchsformen von *Pinus sylvestris* L. im Moosfenn bei Potsdam. – *Telma* **36**: 95-120; Hannover.

- LEUSCHNER, H. H. (1994): Jahrringanalysen. In: HERRMANN, B. (Hrsg): Archäometrie. Naturwissenschaftliche Analysen von Sachüberresten: 121-136; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- LEUSCHNER, H. H., SASS-KLAASSEN, U., JANSMA, E., BAILLIE, M.G.L., & SPURK, M. (2002): Subfossil European bog oaks: population dynamics and long-term growth depressions as indicators of changes in the Holocene hydro-regime and climate. – *The Holocene* **12**(6): 695-706.
- LEUSCHNER, H.H. & SCHWEINGRUBER, F. H. (1996): Dendroökologische Klassifizierung und Auswertung häufig auftretender intraannueller holzanatomischer Merkmale bei Eichen und Kiefern. – *Dendrochronologia* **14**: 273-285.
- LEUSCHNER, H.H., BAUEROCHSE, A. & METZLER, A. (2007): Environmental change, bog history and human impact around 2900 B.C. in NW Germany - preliminary results from a dendroecological study of a sub-fossil pine woodland at Campemoor, Dümmer Basin. – *Vegetation History and Archaeobotany* **16**: 183-195.
- LUHMANN, T. (2003): Nahbereichsphotogrammetrie. Grundlagen, Methoden und Anwendungen. 2. Aufl.; 586 S.; Heidelberg (Wichmann)
- MERKT, J. (1979): Seeablagerungen. – In: VOSS, H.-H.: Geologische Karte von Niedersachsen. Erläuterungen zu Blatt Nr. 3522 Wunstorf: 43-48; Hannover.
- METZLER, A. (2003): Early Neolithic peatland sites around lake Dümmer. – In: BAUEROCHSE, A. & HABMANN, H. (eds.): Peatlands, Proceedings of the Peatland Conference 2002 in Hannover, Germany: 62-67; Rahden/Westf. (Marie Leidorf).
- MÜLLER-WESTERMEIER, G. (1996): Klimadaten von Deutschland. Zeitraum 1961-1990. - 431 S.; Offenbach.
- OVERBECK, F. (1975): Botanisch-geologische Moorkunde. – 719 S.; Neumünster (Wachholtz).
- PETZELBERGER, B. E. M.; BEHRE, K.-E. & GEYH, M. A. (1999): Beginn der Hochmoorentwicklung und Ausbreitung der Hochmoore in Nordwestdeutschland – erste Ergebnisse eines neuen Projektes. - *Telma* **29**: 21-38; Hannover.
- RIEMER, T. (1994). Über die Varianz von Jahrringbreiten. Statistischen Methoden für die Auswertung der jährlichen Dickenzuwächse von Bäumen unter sich ändernden Lebensbedingungen. - *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme der Universität Göttingen Reihe A*, 375 S.
- RYDIN, H. & JEGlum, J. (2006): *The Biology of Peatlands*. – 343 p.; New York (Oxford Univ. Press).
- SCHÜTT, P. & STIMM, B. (2006): *Pinus sylvestris* L., 1753. – In: SCHÜTT, P. (Hrsg.): *Enzyklopädie der Holzgewächse*. – 31 S; Landsberg am Lech (ecomед).
- SCHWEINGRUBER, F. H. (1983): Der Jahrring: Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. – 234 S.; Bern (Haupt).
- TÜXEN, J. (1979): Moorbildungen. – In: VOSS, H.-H.: Geologische Karte von Niedersachsen. Erläuterungen zu Blatt Nr. 3522 Wunstorf: 48-52; Hannover.
- ZOLLER, H. (1981): *Pinus sylvestris*. – In: MARKGRAF, F. (Hrsg.): *Illustrierte Flora von Mitteleuropa: Pteridophyta, Spermatophyta Bd. 1, Teil 2*: 87-98; Berlin (Parey).

Anschrift der Verfasser:

Dr. A. Bauerochse
Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege
Scharnhorststraße 1
D-30175 Hannover
E-Mail: andreas.bauerochse@nld.niedersachsen.de

Dr. G. Caspers
Stormstraße 8
D-31275 Lehrte
E-Mail: gerfried.caspers@lbeg.niedersachsen.de

Dr. H. H. Leuschner
Dipl.-Biol. J. Eckstein
Abteilung für Palynologie und Klimadynamik
Labor für Dendrochronologie und Dendroklimatologie
Von Sieboldstraße 3a
D-37075 Göttingen
E-Mail: hleusch@gwdg.de

Manuskript eingegangen am 5. September 2008