

Die Vegetationsentwicklung seit dem Höhepunkt der letzten Eiszeit

Dieter Anhof, Achim Bräuning, Burkhard Frenzel und Max Stumböck



Das Klima erscheint dem Menschen für die Spanne seines Lebens als eine dauerhafte Größe. Erst in jüngster Zeit, seitdem es gesichert ist, dass der Mensch vor allem durch die Verbrennung fossiler Energieträger die mengenmäßigen Anteile der in der Atmosphäre vorhandenen Gasbestandteile verändert, beginnen wir, uns um die zukünftige Klimaentwicklung zu sorgen. Aber

Glazialrelikt Zwergbirke: Das heutige Verbreitungsgebiet der Zwergbirke umfasst Skandinavien und kleine Areale in den Hochlagen der Alpen sowie vereinzelt Vorkommen im Harz, in Bayerischen Wald und im Erzgebirge. Wie sich an Moorfunden nachweisen lässt, war dieser Zwergstrauch im Spätglazial (etwa 15.000-11.560 v.h.) in Europa flächendeckend verbreitet.

auch wenn das Klima konstant erscheinen mag, so zeigt ein Blick in die jüngste erdgeschichtliche Vergangenheit (Quartär), dass tatsächlich gravierende Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen zwischen Kaltzeiten (Glazialen, je 80-100.000 Jahre Dauer) und Warmzeiten (Interglazialen, ca. 10-15.000 Jahre Dauer) das Charakteristische dieser Epoche sind. Gegenwärtig befinden wir uns in einer Warmzeit (Holozän) **2**, die bereits seit 11.560 Jahren andauert. Aber noch vor etwa 22-20.000 Jahren, d.h. während der letzten Kaltzeit, die im Norden als Weichsel- und im Süden als Würmeiszeit bezeichnet wird (etwa 115.000-11.560 Jahre v.h.), war das Landschaftsbild Europas erheblich anders als heute. Im Folgenden soll die Entwicklung der europäischen Vegetation anhand wichtiger Zeitabschnitte dargestellt werden. Hierbei ist zu beachten, dass der Mensch während der letzten 7000 Jahre in zunehmendem Maße den Wandel von einer Natur- zu einer Kulturlandschaft verursacht hat.

Der Höhepunkt der letzten Kaltzeit

Vor 22-20.000 Jahren waren die Ausläufer des skandinavischen Eisschildes bis ins heutige Schleswig-Holstein, in den Süden Brandenburgs und bis nach Mittelpolen vorgerückt ❶. Der Weltmeerspiegel war infolge von Verdunstung und Eisbildung auf den Landmassen gegenüber heute um gut 100 m abgesenkt (► Beitrag Behre, Bd. 2, S. 76), so dass große Teile der Nordsee Festland waren. Die eisfreien Gebiete Schleswig-Holsteins sowie der heutigen deutschen und holländischen Nordseeküste und das nördliche Niedersachsen waren von einer Vegetation bedeckt, die der heutigen arktischen Tundra ähnelte, doch war sie sehr reich an Steppenelementen. Der gesamte Raum südlich davon bis zu den vergletscherten Alpen wies als Folge des kalttrockenen Klimas sehr verschiedene Typen einer waldlosen Steppentundra auf, in der mächtige Lagen von Lössstaub abgelagert wurden. Bevölkert wurden diese Landschaften von heute ausgestorbenen Großsäugern wie dem Mammut, dem Wollnashorn, dem Riesenhirsch und dem Höhlenbären. Auch die heute noch lebenden Arten Moschusochse und Rentier waren vertreten.

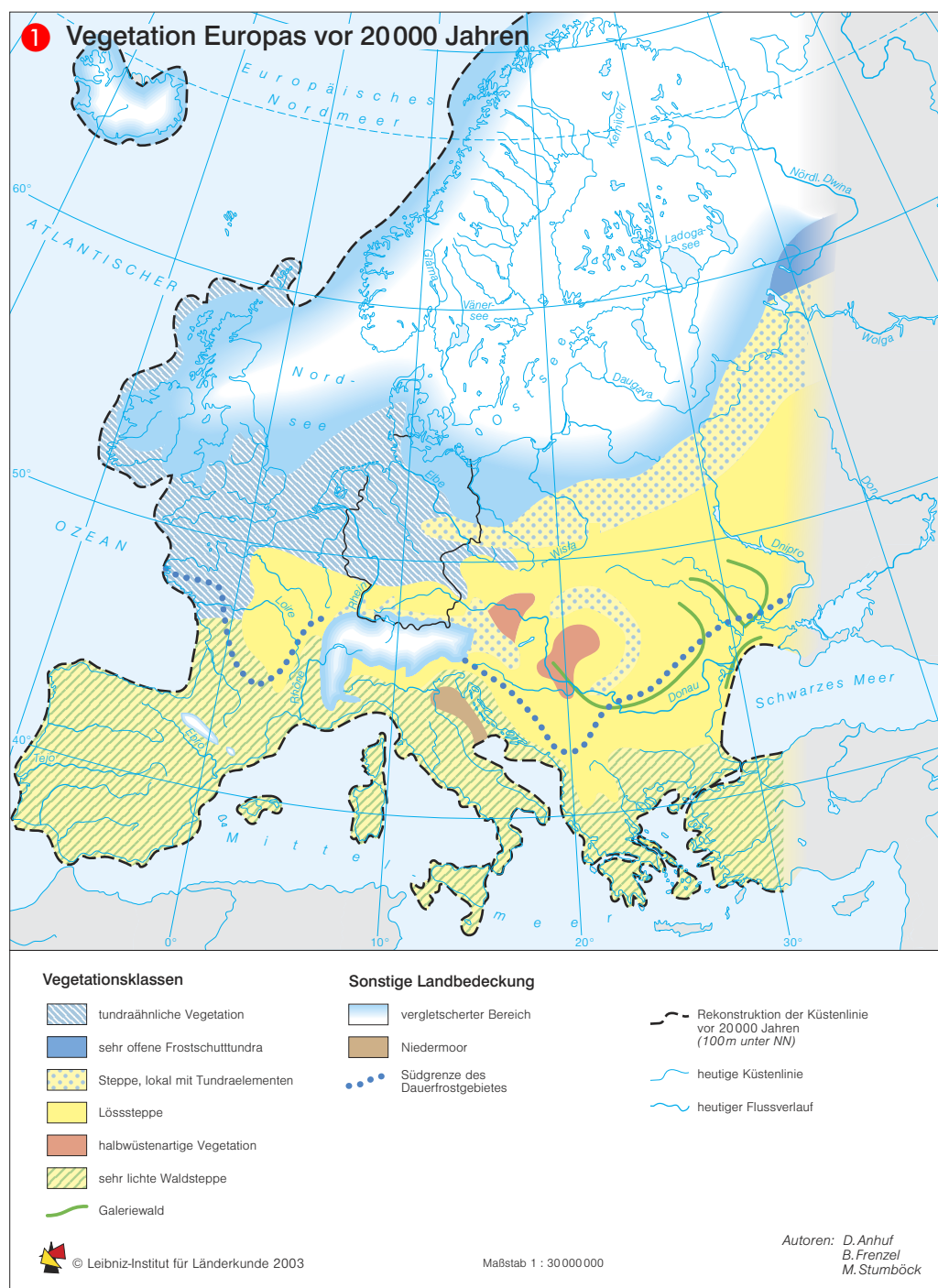
Das Spätglazial

Mit Beginn des Spätglazials um 17.000 v.h. beschleunigte sich der Rückzug der Eisschilde. Die lokalen Gletscher der europäischen Mittelgebirge (u.a. Schwarzwald, Bayerischer Wald und Harz) schmolzen schnell ab. Dieser Prozess verlief nicht kontinuierlich. Es kam

zu langen Stillstandsperioden und sogar zu einem temporären erneuten Vorrücken der Gletscher, letztmalig während der Jüngerer Tundrenzeit (2). Insgesamt war der Prozess jedoch unumkehrbar, denn durch die zeitliche Verlagerung des sonnennächsten Erdabstands auf den Sommer der Nordhalbkugel (heute 3. Januar) erhielt diese zu Beginn des Holozäns ca. 7% mehr Sonneneinstrahlung als heute (► [Beitrag Anhuf/Czeplak/Hoppmann, S. 40](#)). Im ausgehenden Spätglazial, etwa um 13.000-11.500 v.h., waren bereits große Teile Europas wieder bewaldet, wenn diese Wälder auch noch sehr licht waren. Infolge der Klimabesserung war die Tundravegetation in Schleswig-Holstein bis auf die heutige dänische Grenze zurückgewichen. Südlich davon beherrschten ► [boreale](#) Birken-Kiefernwälder weite Gebiete Mitteleuropas bis über die Mittelgebirgsschwelle hinaus. Weiter südlich bis an den Alpenrand dominierten Kiefernwälder, in die Birken eingestreut waren. Die sommergrünen, klimatisch anspruchsvollen Laubbäume wie Buche und Eiche waren zwar noch nicht nach Mitteleuropa eingewandert, doch hatte ihre Ausbreitung aus den zahlreichen ► [Refugien](#) Südeuropas bereits begonnen. Für diese Zeit, in der die Menschen nur in kleinen Gruppen als Jäger und Sammler umherzogen, die Großsäugetierfauna durch die Jagd allerdings

Was nutzt dem Menschen das Wissen von der Vegetationsgeschichte in der jüngsten erdgeschichtlichen Vergangenheit?

Wie erwähnt, sehen wir uns mit einem sich rasch ändernden Klima konfrontiert, dessen zukünftige Auswirkungen auf Natur und Mensch wenig bekannt sind. Um mögliche Konsequenzen solcher Veränderungen abschätzen zu können, bedient sich die Forschung globaler Zirkulationsmodelle, die die Prozesse in der Atmosphäre und in den Ozeanen computergestützt simulieren und damit zu prognostizieren helfen. Die Gültigkeit solcher Modelle muss anhand von Klima- und Vegetationsdaten aus Gegenwart und Vergangenheit überprüft werden. Das Klima der erdgeschichtlichen Vergangenheit muss indirekt aus Klimaarchiven erschlossen werden. Ein Weg dazu ist die Rekonstruktion der vormaligen Pflanzendecke, die über den Vergleich mit den heutigen Bedingungen Rückschlüsse auf das ehemalige Klima erlaubt, aber auch auf vom Klima induzierte, bzw. auf einwanderungsabhängige, biotische Prozesse. Ein Modell, das die Umweltbedingungen der Vergangenheit verlässlich simulieren kann, ist auch in der Lage, zukünftige Klima- und natürliche Landschaftsveränderungen annähernd vorherzusagen – eine wichtige Voraussetzung für Entscheidungen in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft.



2 Späteiszeitliche und holozäne Klimaentwicklung

Stratigraphie		Stadiale und Interstadiale	Jahre vor heute (v.h.), d.h. vor 1950 n. Chr. im wesentlichen ¹⁴ C-Daten	Kalenderdaten
Holozän		Subatlantikum	2500 - 0	2700 - 0
		Subboreal	5000 - 2500	5800 - 2700
		Atlantikum	8000 - 5000	9000 - 5800
		Boreal	9000 - 8000	10250 - 9000
		Präboreal	10000 - 9000	11560 - 10250
Weichsel-, Würmglazial	Spätglazial	Jüngere Tundrenzeit	11000 - 10000	13000 - 11560
		Alleröd-Interstadial	12000 - 11000	13800 - 13000
		Bölling-Interstadial	13000 - 12000	15600 - 13900
		Älteste Tundrenzeit	15000 - 13000	18000 - 15700
			seit 115000	seit 115000

© Leibniz-Institut für Länderkunde 2003

bereits zum Abzug veranlasst hatten, kann man einen Einfluss des Menschen auf die Vegetation noch weitgehend ausschließen.

Das mittlere Holozän

Gegen 11.560 v.h. setzte durch das vielseitige und rasche Einwandern der verschiedensten Pflanzenarten und das ständig wärmer und feuchter werdende Klima eine stürmische Vegetationsentwicklung ein. Im Atlantikum (ca. 9000-6000 v.h.) waren die Durchschnittstemperaturen sogar um 1-2 Grad höher als heute. Beherrschten zum Ende des Spätglazials noch boreale Waldsteppen Mitteleuropa, so wurden diese zunächst sehr schnell von Kiefern-Birkenwäldern, dann von der Hasel verdrängt. Durch die Einwanderung thermisch und hygisch anspruchsvoller Gehölze breiteten sich ab etwa 9000 v.h. dichte sommergrüne Mischwälder aus. Während der Mittleren Wärmezeit (Atlantikum), dominierten weithin Eichen-Linden-, an feuchteren Standorten Ulmen-Eschen-Bergahornwälder. Ab etwa 6800 v.h. wanderten in der Südhälfte Mitteleuropas Buchen und Tannen ein.

Die subalpinen Lagen des Alpenraumes wurden zu dieser Zeit von Nadelwäldern und Krummholzgebüsch beherrscht. Hier hatte sich die Waldgrenze schnell, doch oszillierend nach oben verschoben. Waren zu Beginn des Spätglazials die Wälder der zentralen Ostalpen auf Höhenlagen unter 1400 m beschränkt, so stieg die Waldgrenze im mittleren Holozän bis auf 2400 m an. Die bis dahin weit verbreiteten Kiefern und Lärchen wurden durch die um 8000

v.h. eingewanderte und sich aggressiv ausbreitende Fichte in die Waldgrenzregion verdrängt.

Im Gegensatz zur Buche kam die Fichte von der Balkanhalbinsel und aus Mittelfrussland, aber in weniger bedeutendem Maße auch aus offenbar weit verstreuten kleinen Refugien des westnorwegischen Küstenbereiches, die heute unter Wasser liegen. Überwiegend von Südosten kommend breitete sie sich insbesondere in die Gebirgslagen aus und ist von dort auch in weiter westlichen Gegenden heimisch geworden, wenn auch nur sehr langsam, weil dort zunächst die Hasel die Wälder dominierte.

Der wachsende Einfluss des Menschen

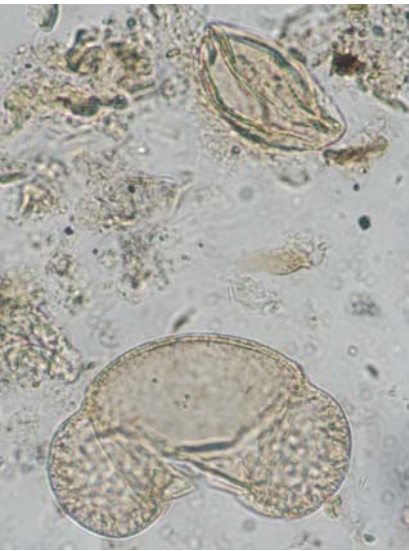
Das Holozän ist die Epoche, in der der Mensch begann, die Umwelt durch sein Handeln nachhaltig zu verändern. Der Übergang vom nomadischen Jäger- und Sammlertum zu einer Dauerbesiedlung mit Ackerbau und Tierhaltung setzte in Kleinasien schon vor 11.000 Jahren und in Südosteuropa um 9000 v.h. ein und verbreitete sich gegen 6800 bis 6600 v.h. schnell über das mittlere und westliche Europa. Begleitet war diese Entwicklung von einer Ausbreitung wichtiger Kulturpflanzen, die aus den Steppenregionen Vorderasiens stammen, wie z.B. einzelnen Weizenarten (Dinkel, Einkorn, Spelz), der Gerste, Erbsen, Bohnen und Lein. Aber auch zahlreiche „Unkräuter“, stammen aus dem Vorderen Orient. Bis zum Übergang der Kupferzeit (etwa 5000 v.h.) lagen die meisten bäuerlichen Siedlungen in den

Kiefernpollen durch Lichtmikroskop betrachtet

Lösslandschaften. Wälder wurden in immer stärkerem Maße für die Anlage von Äckern, Wiesen und Weiden gerodet. In dieser Zeit begann die Entstehung der atlantischen Heiden in Nordwestdeutschland und die der Steppenheiden des südlichen Mitteleuropas.

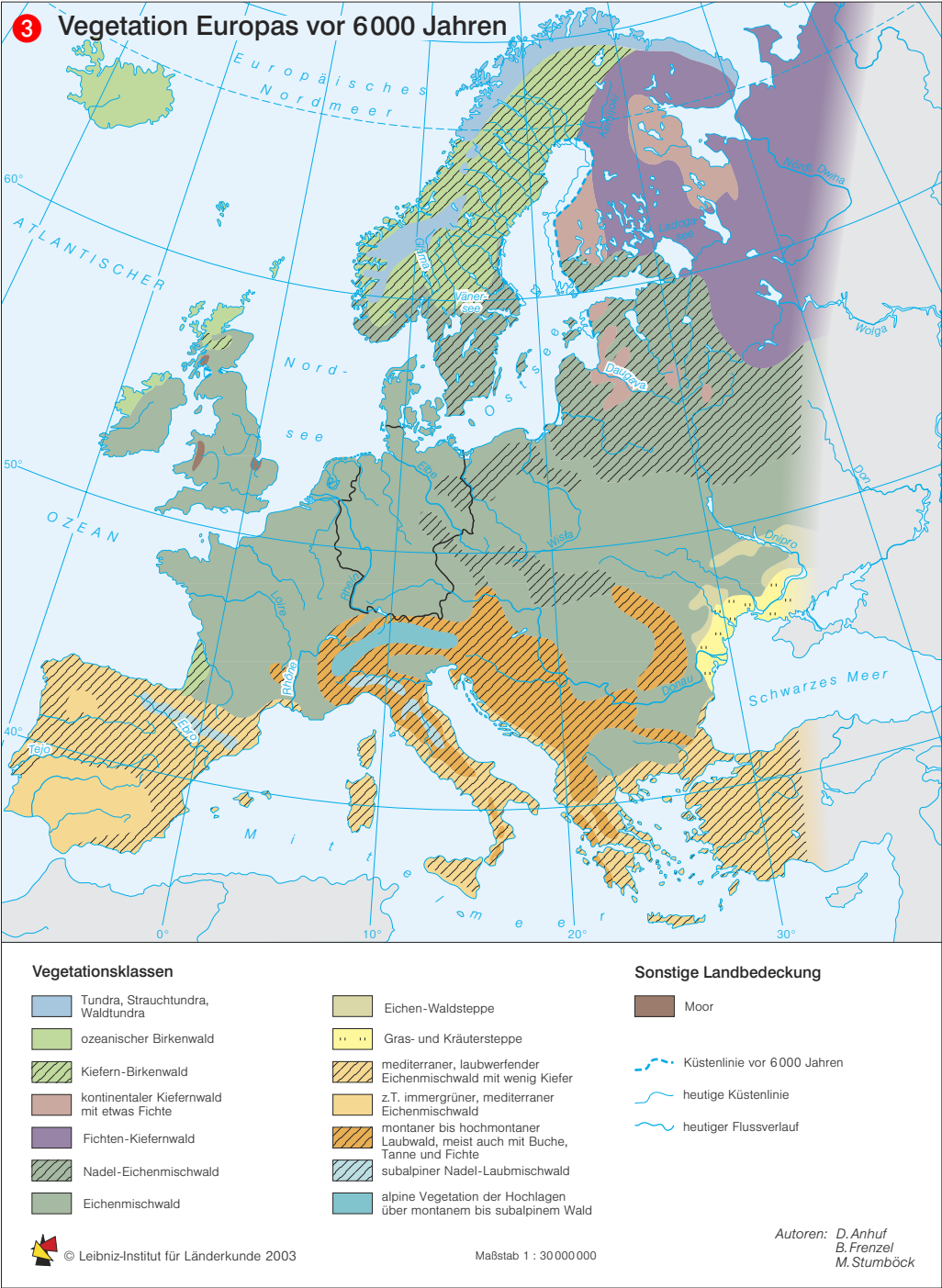
Einwanderung der Buche

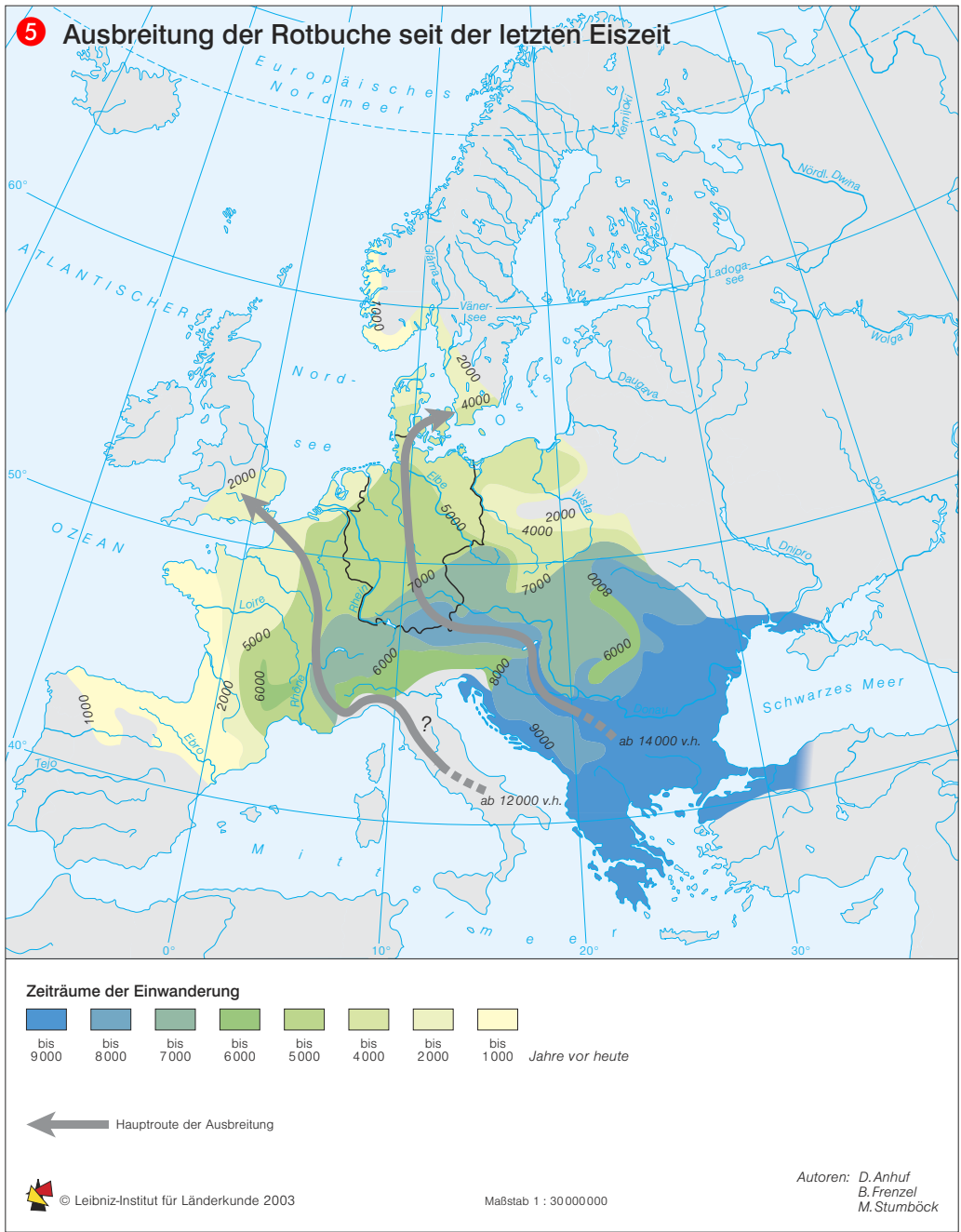
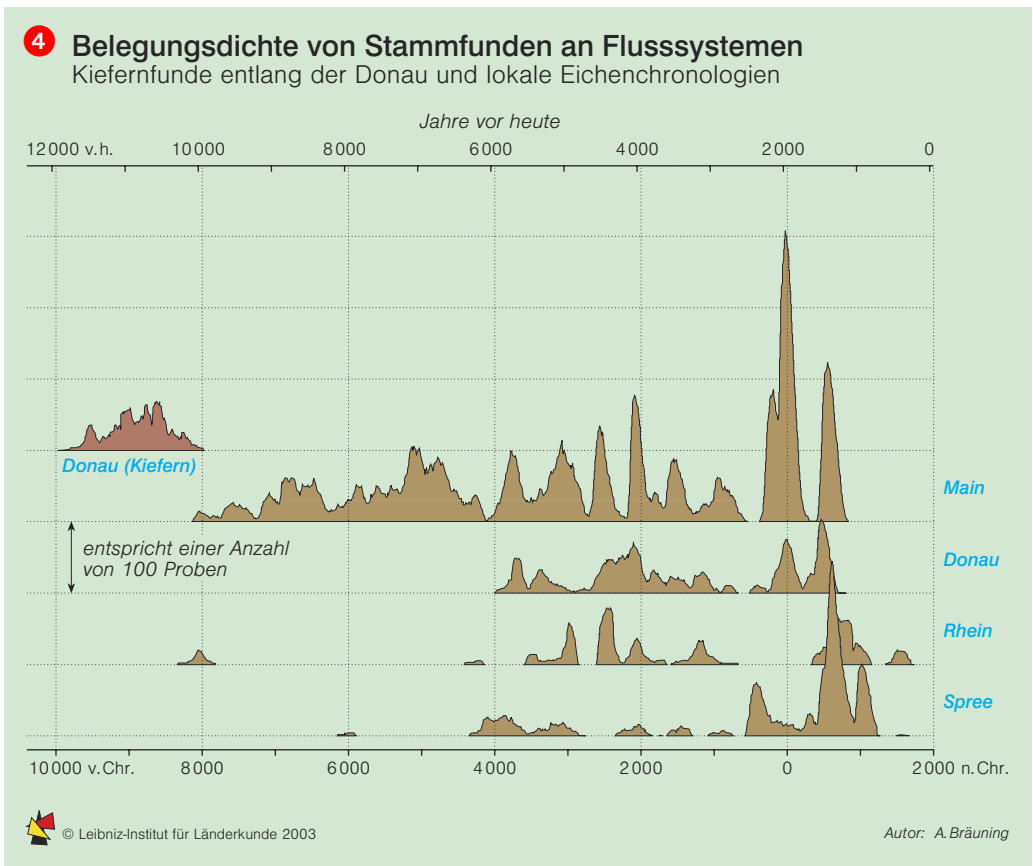
Einer unserer wichtigsten Waldbäume ist die Rotbuche, die etwa seit dem Hochmittelalter aus forstwirtschaftlichen Gründen großflächig durch die raschwüchsige Fichte ersetzt wurde. Die Refugialräume der Buche während der letzten Kaltzeit befanden sich in Süditalien und im östlichen Südeuropa. Die mit der spätglazialen Klimabesserung einsetzenden Wanderungsbewegungen erfolgten entlang zweier Hauptrouten. Die eine führte ab 12.000 v.h. über die Apenninenhalbinsel zu den Westalpen und über Frankreich bis ins südliche Großbritannien, die zweite verlief ab 14.000 v.h. über den Balkan und



Mitteleuropa bis nach Südschweden. Zwischen Einwanderung und Massenausbreitung verstrichen zwischen 500 und 2500 Jahre.

Seit vor etwa 4000 Jahren war der Mensch in der Lage, mittels des neu aufgefundenen Werkstoffs Bronze





Werkzeuge herzustellen, mit denen man leichter Wälder roden konnte als mit Steinbeilen oder den zu weichen Kupfergeräten. Dadurch änderte sich vielerorts die Zusammensetzung der Wälder: Eichen, Ulmen, Linden und Eschen wurden in großem Maß gefällt, so dass sich die [Schattholzart](#) Buche an vielen Stellen beträchtlich ausbreiten konnte, auch wenn ihr Holz gerne zur Herstellung von Holzkohle verwendet wurde.

Während der Bronzezeit wurden auch die alpinen Hochlagen verstärkt ge-

nutzt, denn die alpinen Matten oberhalb von 1800-2300 m bildeten hervorragende natürliche Viehweiden. Aber die Tiere weideten auch im Grenzbe- reich der Wälder, so dass die alpine Waldgrenze herabgedrückt und die Ausbreitung von Krummhölzern wie Lat- sche und Grünerle sowie der Alpenro- sen ([Foto](#)) gefördert wurde.

In Mitteleuropa setzte etwa um 2700 v.h. die Eisenzeit ein, die bis zum Be- ginn des römischen Kaiserreiches an- dauerte. Immer häufiger wurde Eisen für die Herstellung von technischen Gerä-

Die Ermittlung vorzeitlicher Vegetationsverhältnisse

Pollenanalyse

Die Pollenanalyse nutzt den Blütenstaub (Pollen) der Blütenpflanzen und die Spo- ren anderer bedecktsamiger Pflanzen. Jede Pflanze produziert diese unver- wechselbaren und extrem widerstands- fähigen Mikrofossilien in einer Größe von 1/100 bis 1/10 mm in großer Zahl. Damit können auch nach Jahrtausenden Pflan- zenfamilien, Gattungen und manchmal sogar Arten identifiziert und frühere Ve- getationsverhältnisse erschlossen wer- den. Bedingung ist allerdings, dass die durch Wind, Insekten oder Vögel verbrei- teten Pollen und Sporen unter Luftab- schluss in Seen oder Mooren abgelagert wurden.

Einer der häufigsten Pollentypen unserer Breiten ist der der Kiefer ([Foto](#)). Dieser Baum produziert pro Blüte durchschnitt- lich 160.000 Pollenkörner, die durch ihre seitlichen Auswölbungen erstaunlich gut flugfähig sind und manchmal über Hun- derte von Kilometern verfrachtet wer- den.

Radiokarbondatierung

Mit der Identifizierung der ehemaligen Vegetationszusammensetzung ist noch nichts über den Zeitabschnitt ausgesagt, in dem diese Vegetation vorhanden war. Zur Altersbestimmung bedient man sich entweder der Jahrringanalyse (Dendro- chronologie) oder jahreszeitlich geschich- teter Seeablagerungen (Warven) bzw. physikalischer Prozesse, wie z.B. der ^{14}C - oder Radiokarbondatierung. Radioaktives ^{14}C wird in der [Stratosphäre](#) durch en- ergiereiche Strahlung erzeugt und ge- langt in die gesamte Atmosphäre, wo es bei der [Fotosynthese](#) von Pflanzen und von Tieren aufgenommen wird. Nach dem Tod eines Organismus wird die in seinem biologischen Material enthaltene ^{14}C -Menge nur noch durch radioaktiven Zerfall bestimmt, dessen Halbwertszeit 5730 Jahre beträgt. Aus dem Restgehalt an ^{14}C in den Fossilien lässt sich somit das Alter bestimmen.

Das Radiokarbonalter entspricht nicht genau unseren Kalenderjahren, da der atmosphärische Gehalt an radioaktivem Kohlenstoff in der erdgeschichtlichen Vergangenheit geschwankt hat. Das ^{14}C - Alter muss also geeicht, d.h. kalibriert werden. Diese Kalibrierung des Radiokar- bonalters wird durch Jahrringchronologi- en ermöglicht. Je weiter man in die Ver- gangenheit zurückgeht, desto größer wird die Abweichung beider Altersanga- ben [7](#). Zu Beginn des Holozän vor ca. 11.500 Jahren beträgt der Unterschied zwischen den beiden Zeitskalen rund 1500 Jahre, um die ein ^{14}C -Datum korri- giert werden muss.

Dendrochronologie

Die Gunst oder Ungunst des Witterungs- verlaufes während eines Jahres zeichnet sich in breiten oder schmalen Jahrringen von Bäumen ab. Dadurch können die Zu- wachsmuster von Eichen (*Quercus robur* und *Quercus petraea*) aus dem Alpenvor- land, aus Niedersachsen und aus Irland synchronisiert und Hölzer unbekannten Alters datiert werden., können letztere datiert werde.

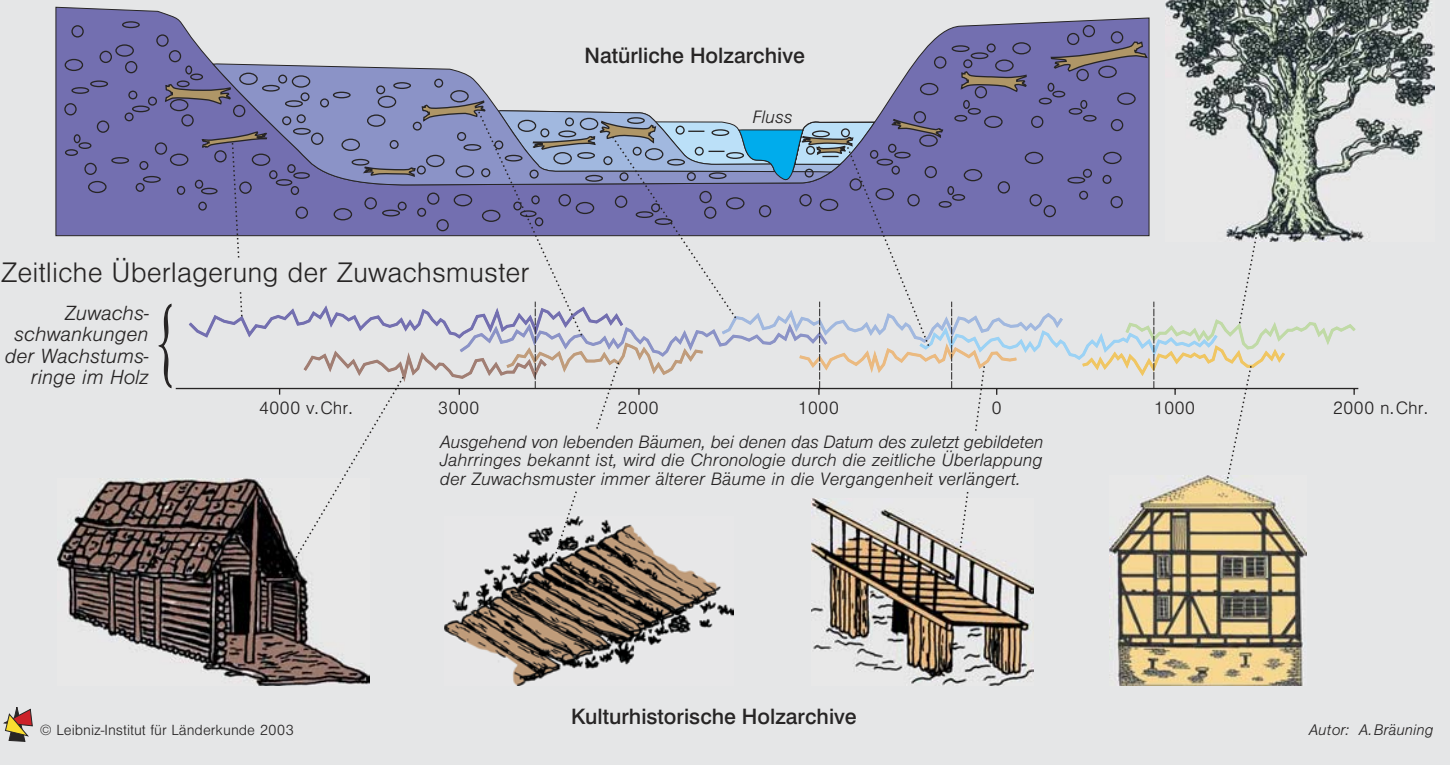
Durch die Datierung historischer Hölzer bekannten Alters mit subfossilen Höl- zern, etwa aus unterschiedlich alten Flussterrassen, konnte für Mitteleuropa eine mehr als 10.000 Jahre umfassende Eichenchronologie seit der Wiederein- wanderung des Baumes nach der letzten Kaltzeit erstellt werden [4](#). Aus noch äl- teren Zeiten sind meist nur Waldkiefern (*Pinus sylvestris*) zu finden, die bereits ca. 2000 Jahre früher wieder eingewandert waren. Die Ablagerung von Eichenstämmen während des Holozän erfolgte nicht kontinuierlich,vielmehr häufen sich Stammfunde in bestimmten Zeithorizon- ten [6](#). Hierin dokumentieren sich Ände- rungen des Abflussregimes, die z.T. auf Klimaänderungen, v.a. aber auf den frü- hen und starken Eingriff des Menschen in den Landschaftswasserhaushalt zu- rückzuführen sind.



Rostblättrige Alpenrose (*Rhododendron ferrugineum*)

6 Aufbau langer Jahrringserien

Beispiel: Süddeutsche Eichenchronologie



7 Abweichung des ¹⁴C-Alters von der kalendarischen Zeitskala



ten und Gegenständen des Alltags verwendet. Eisenerze konnten leichter als Bronze gewonnen werden, der Rohstoff war gleichmäßiger verteilt. Der Einsatz von Geräten, von Kalk und Dung führte zu einer Zunahme und Ausweitung der landwirtschaftlichen Produktion. Die Bevölkerung wuchs rasch. Es entstanden Mähwiesen und permanente Äcker. Die wichtigste technische Neuerung war sicherlich die Entwicklung besserer Pflüge, die eine Ausweitung der Land-

wirtschaft in ungünstigere und unfruchtbare Regionen ermöglichte als es die schon im Neolithikum genutzten Hakenpflüge vermochten. Die politischen Unruhen und Bevölkerungsbewegungen der Völkerwanderungszeit verursachten jedoch in vielen europäischen Landschaften einen starken Rückgang der gerodeten Flächen, teilweise auch eine Etablierung neuer Waldtypen, wie der Eichen-Hainbuchenwälder (►► [Beitrag Bohn/Welß, S. 84](#)).♦

8 Ausbreitung der Fichte seit der letzten Eiszeit

