

Zeugnisse früher Landpflanzen

Ein Fundbeitrag aus der Kontinentalen Tiefbohrung

Hans D. Pflug und Klaus F. Prössl

Das Kontinentale Tiefbohrprogramm, das größte Forschungsunternehmen der Bundesrepublik Deutschland im Bereich der Geowissenschaften, hat die Erkundung der tieferen Erdkruste zum Ziel. Über das Projekt ist an dieser Stelle bereits berichtet worden [1]. Zur Zeit wird die Hauptbohrung am vorgesehenen Standort bei Windischeschenbach in Nordbayern niedergebracht, nachdem man dort zuvor eine Pilotbohrung planmäßig abgeschlossen hatte. Die erbohrten Gesteinskerne werden mittlerweile in verschiedenen Laboratorien untersucht, unter anderem auch an der Universität Gießen. Für den Geologen bedeutet jede Tiefbohrung einen neuen Blick in die Vergangenheit der Erde. Wir berichten im folgenden über die Entdeckung fossiler Lebensreste in der Pilotbohrung und wollen dabei zeigen, wie sich diese in das bekannte Bild der Erd- und Lebensgeschichte einordnen lassen.

Die Pilotbohrung hat eine Gesteinsfolge von über 4000 Metern durchörtert. Unerwarteterweise hat sich gezeigt, daß der erbohrte Gesteinskomplex steil gestellt ist. Er gehört anscheinend zur Flanke einer großen Faltenstruktur in deren Kern später ein Granitstock Platz gegriffen hat (Abb. 1). Da die Sattelflanke tektonisch gestört ist, erscheinen dieselben Gesteinseinheiten wiederholt im Bohrprofil.

Funde und Vorkommen

Beim erbohrten Fundgestein handelt es sich um kohlenstoffhaltige Gneise, die offenbar aus kohligem Grauwacken und Tonschiefern hervorgegangen sind. Sedimente dieser Art sind im ursprünglichen Zustand oft reich an Fossilien, aber nach der Vergneisung bleibt davon nicht mehr viel übrig. Gebirgswärme und Gebirgsdruck haben das Gestein umkristallisiert und die Fossilstrukturen zerstört.

Neuere in unserem Labor durchgeführte Untersuchungen haben aber gezeigt, daß Mikrofossilien wie Sporen oder Planktonorganismen solche Umwandlungsprozesse überdauern können. Voraussetzung ist, daß die Partikel bei der Umkristallisation in ein aufwachsendes Kristallkorn eingeschlossen werden. In der hermetischen Versiegelung sind sie dann vor Zerstörung geschützt und können strukturbietend erhalten bleiben. Mit Hilfe bestimmter Techniken kann man die Strukturen im Mikroskop sichtbar machen.

Solche Mikrofossilien haben sich in verschiedenen Tiefenlagen der Bohrung gefunden, fast herunter bis zur Endteufe. Unser Fundmaterial umfaßt drei Hauptgruppen: Holzreste (Abb. 2), Sporen von Landpflanzen (Abb. 3) und Plankton-Organismen (Abb. 4). Wie die Un-

tersuchungen zeigen gehören die Fossilien ins Unterdevon, das heißt in die Zeit vor 410 bis 385 Millionen Jahren.

Wir haben nach vergleichbaren Funden in der näheren und weiteren Umgebung geforscht und sind dabei auf ähnliche Vorkommen im Rheinischen Schiefergebirge gestoßen, und zwar verschiedenenorts im Taunus, Hunsrück und Siegerland. Im Ergebnis zeichnen sich einige regionale Zusammenhänge ab. Anscheinend hat die Pilotbohrung in Nordbayern ein basales Krustenstockwerk erschlossen, das ähnlich auch im tektonischen Unterbau des Rheinischen Schiefergebirges zu finden sein müßte, dort allerdings erst in viel größerer Tiefe.

Das devonische Festland

Für die Geschichte des Lebens hat die Devonzeit besondere Bedeutung, denn damals begannen sich die ersten Landpflanzen auf den

Kontinenten auszubreiten. Das vollzog sich in einer für geologische Maßstäbe ungewöhnlichen Schnelligkeit. Immerhin war damals das Leben auf der Erde schon über drei Milliarden Jahre alt und über die ganze Zeit auf den

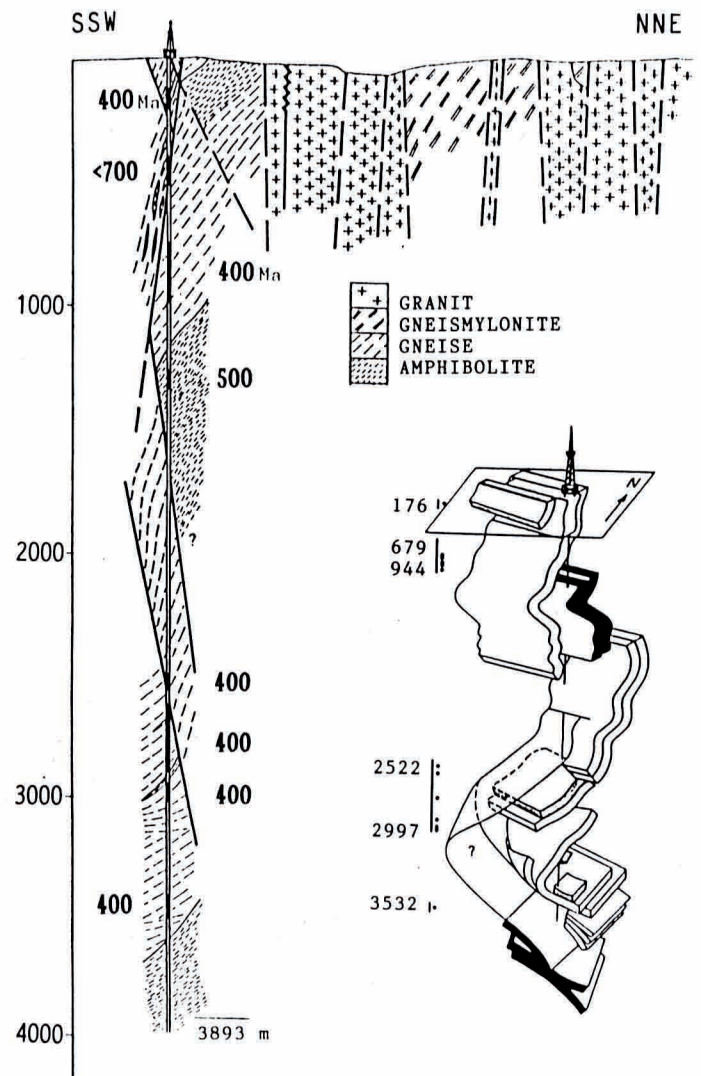


Abb. 1. Pilotloch der Kontinentalen Tiefbohrung mit ermitteltem Gebirgsprofil. Bild a: Raumbild nach Emmermann [1]. Links außen sind die Fossilfundpunkte und ihre Tiefenlagen in Metern abgetragen. Bild b: Gesteinseinheiten nach Stettner [2]. Die beigefügten fettgedruckten Zahlen links und rechts neben dem Profil geben die ermittelten Bildungsalter der Sedimente und Magmen in Millionen Jahren (Ma) an. Die Daten basieren teils auf radiometrischen Messungen [3], teils auf den Fossilfunden [4]. Links außen: Tiefenangaben in Metern.

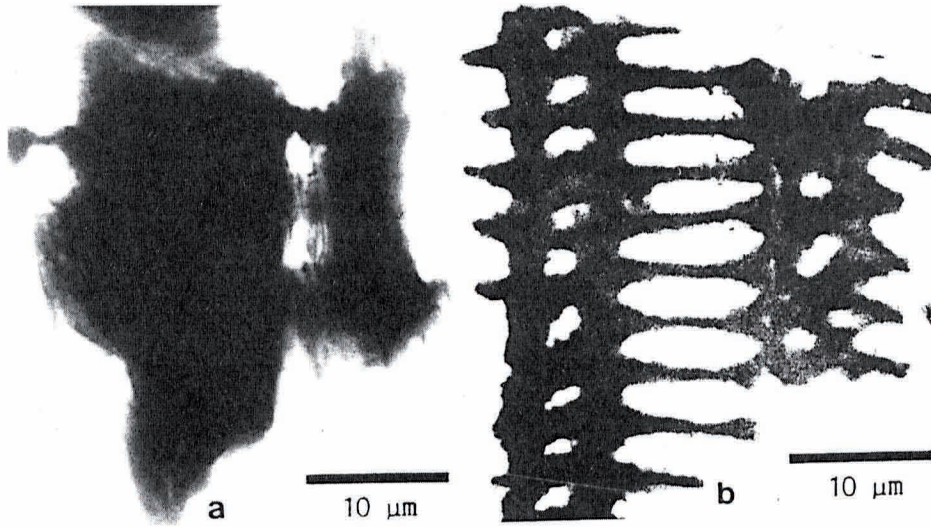


Abb. 2a: Fusinit (fossile Holzkohle) aus der Kontinentalen Tiefbohrung, Tiefe 900 m. Die Struktur stammt aus dem Holzkörper von *Psilophyton* sp., einer Gefäßpflanze des frühen Devon.
 Abb. 2b: Geweberest von *Psilophyton charientos* aus dem Unterdevon von Kanada [5].

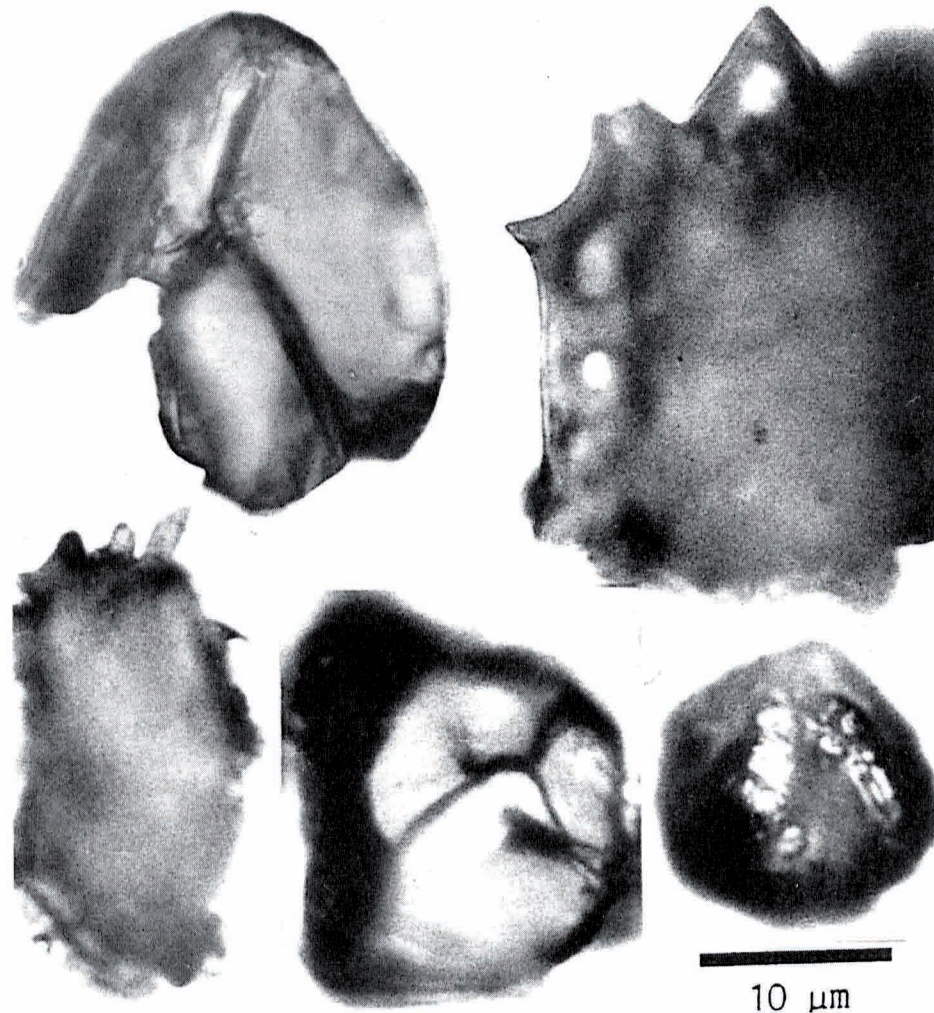


Abb. 3. Sporenfunde devonischer Landpflanzen aus der Pilotbohrung [4].

Lebensraum Ozean beschränkt geblieben. Erst kurz vor dem Devon erschienen erste Gefäßpflanzen auf den Festlandsrändern, zunächst mit nur zwei Gattungen. Aber am Ende des Unterdevon war die Zahl bereits auf über dreißig angewachsen und in den nachfolgenden 20 Millionen Jahren, also in einer für die Evolution relativ kurzen Zeitspanne, hatte sich aus den frühen Pionieren eine Nachkommenschaft von verwirrender Mannigfaltigkeit entwickelt, in der alle prinzipiellen Klassen unserer heutigen Landflora vertreten sind: Moose, Bärlappgewächse, Schachtelhalme, Farne und Samenpflanzen. Im Oberdevon waren Sümpfe und Moore schon mit artenreichen Baumwäldern besiedelt.



Abb. 4. *Quisquilites* sp. ein fossiler Plankton-Organismus aus der Pilotbohrung [4].

Das Tempo der Entwicklung ist insofern erstaunlich, als für die Umstellung vom Wasser aufs Landleben komplizierte Neuanlagen erforderlich sind. Hauptproblem für Photosynthese auf dem Trockenen ist der hohe Wasserverlust durch Verdunstung. Um ein Mol ($= 6 \times 10^{23}$ Moleküle) Kohlenstoff in Biomasse zu fixieren, muß die Landpflanze etwa 200 Mol Wasser in die Atmosphäre abgeben. Folglich wurden besondere Gewebe der Wasserleitung notwendig, die den Sproß von der Tiefe bis zur Spitze als Achsenstrang durchziehen. Holzgewebe gab dem Strang die erforderliche Standfestigkeit und Formbeständigkeit.

Verglichen mit den heutigen Pflanzen war das Wasserversorgungssystem der Unterdevonvorfahren noch primitiv und leistungsschwach. Dementsprechend blieb die Vegetation durchweg niederwüchsig, wurde selten mehr als einen Meter hoch (Abb. 5). Die Pflanzensprosse waren auch sonst noch ein-

fach gebaut, hatten keine Seitenverzweigung und keine echten Blätter. Sie hatten auch noch keine Wurzelorgane im heutigen Sinne und waren deshalb auf einen Lebensraum mit ständig hochstehendem Grundwasser angewiesen. Das waren vor allem die Sumpfniederungen entlang der Meeresküste und der Flußmündungen (Abb. 6).

Ein Vorteil des Landlebens gegenüber dem im Meer ist das höhere Angebot an Lichtenergie, wodurch sich die Biomasse-Produktion beträchtlich steigern läßt. Dementsprechend ging der Trend zu höheren Wuchsformen mit reicherer Verzweigung und Beblätterung, sowie einer leistungsfähigeren Wasserversorgung. Da mit dem Größenwachstum zugleich die Erdsprosse tiefer in den Boden eindringen, konnte die Pflanze tieferes Bodenwasser erreichen und sich von jahreszeitlichen Schwankungen des Grundwasserspiegels unabhängiger machen. Im Ergebnis wurden neue

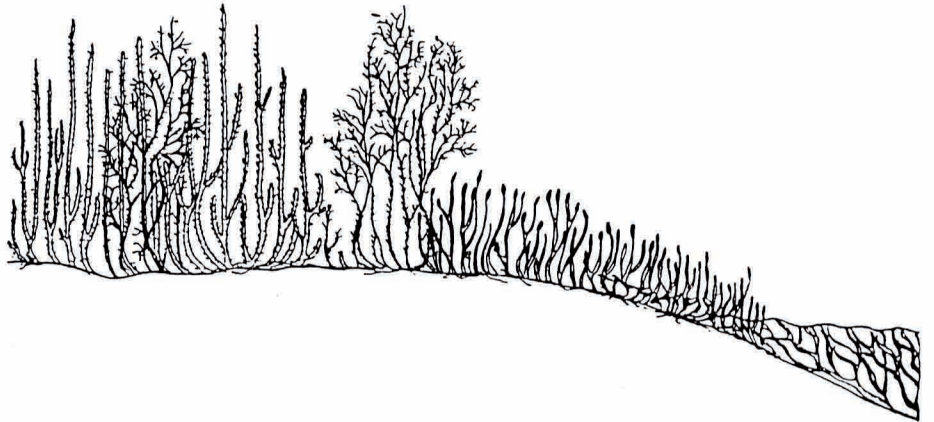


Abb. 6. Pflanzengesellschaft am Rande des rheinischen Unterdevon-Meeres nach einer Rekonstruktion von Schweitzer [6].

vor die Wasserversorgung. Die Wurzeln der Bärlappbäume waren, verglichen mit denen heutiger Holzgewächse, wenig leistungsfähig, Holzkörper und Leitbündel waren schwach ausgebildet. Zusätzlich machten sich wohl auch systemimmanente Nachteile bemerkbar. Ein Baum muß enorm viel Energie im Stamm investieren, weil die zum Aufbau erforderliche Biomasse exponentiell mit der Wuchshöhe zunimmt. Hinzu kommt, daß die Synthese des

Baumaterials Lignin viel mehr Energie erfordert als zum Beispiel Cellulose. Krautige Pflanzen und Stauden mit weniger Lignin können vergleichsweise schneller wachsen und damit früher vermehrungsreif werden. Bezeichnenderweise haben fast alle Vertreter des Steinkohlenwaldes – Bärlappgewächse, Schachtelhalme wie auch die meisten Farne – ihre Baumform später wieder aufgegeben und existieren als Kräuter und Stauden weiter.

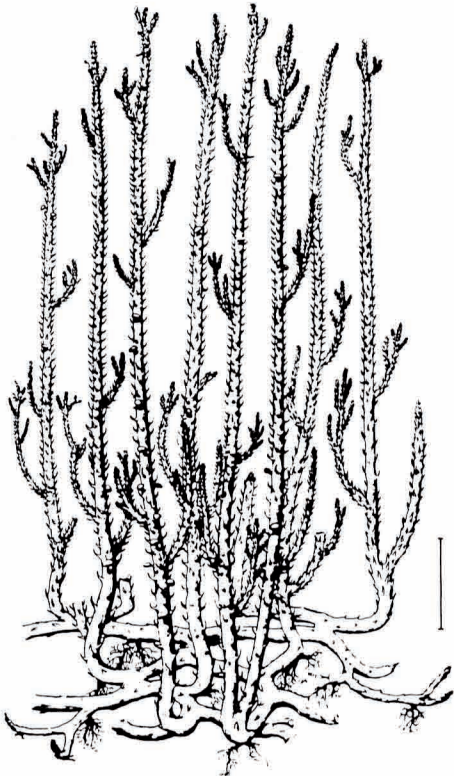


Abb. 5. *Drepanophycus spinaeformis* Göppert, eine Landpflanze des frühen Devon. Maßstab = 10 cm. Rekonstruktion von Schweitzer [6].

Lebensräume erschließbar, die den urtümlicheren Vertretern noch nicht zugänglich waren.

Vom Mitteldevon an beschleunigte sich die Entwicklung deutlich. Einige Pflanzen hatten bald Wuchshöhen von fünf Metern erreicht, die Bärlappbäume des Oberdevon wurden sogar über 20 Meter hoch. Danach verlangsamte sich das Größenwachstum wieder (Abb. 7). Hauptproblem blieb wohl nach wie

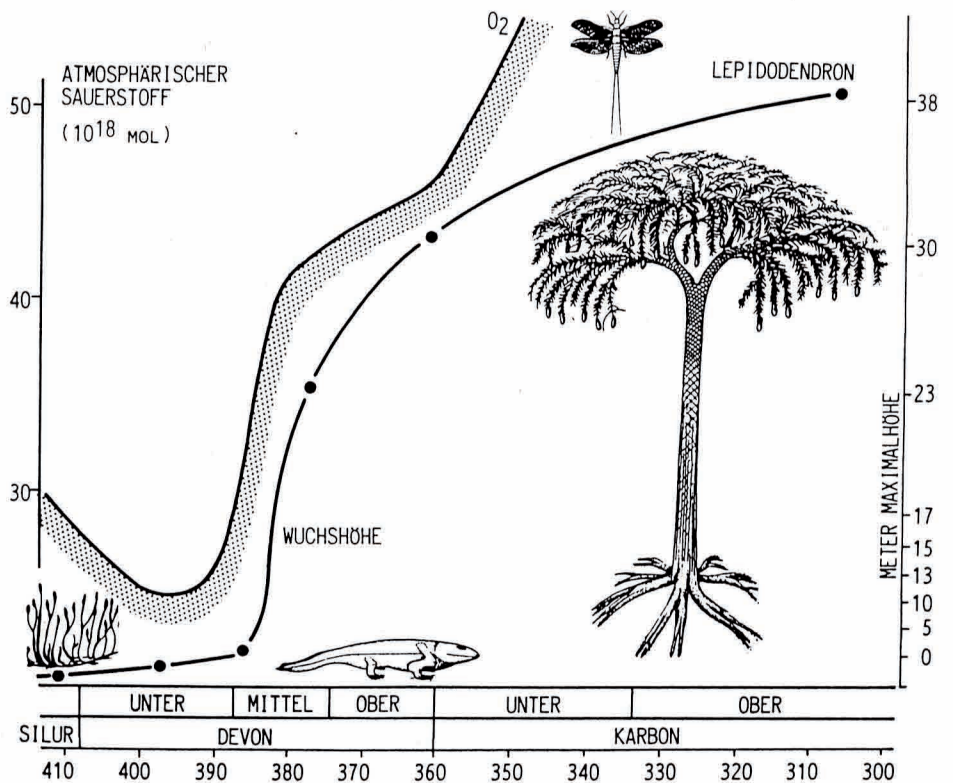


Abb. 7. Größenzunahme der Landpflanzen im Devon (strichpunktierte Kurve) und kalkulierter Anstieg des atmosphärischen Sauerstoffgehaltes (schattierte Kurve). Symbole von links nach rechts: Erscheinen der ersten Landpflanzen im Silur, der ersten vierfüßigen Landtiere im Oberdevon, der ersten geflügelten Insekten im Unterkarbon, höchster Bärlappbaum (*Lepidodendron sp.*) im Oberkarbon. Zusammengestellt nach verschiedenen Angaben [7].

Spuren vorzeitlicher Waldbrände

Eine bemerkenswerte Feststellung im Fossilbefund der Bohrung ist das Vorkommen fossiler Holzkohle (Abb. 2). Verkohltes Holz, vom Geologen als Fusinit bezeichnet, ist an chemischen und optischen Merkmalen leicht erkennbar und von anderen Fossilzuständen gut zu unterscheiden. Das Material ist besonders resistent gegen Gebirgswärme und kann sich deshalb strukturbietend im Gneis erhalten.

Fusinit deutet sich durchweg als Überrest vorzeitlicher Waldbrände. Die verkohlten Hölzer werden mit Oberflächenwässern ins Sediment verschwemmt und mit diesem überliefert.

Regelmäßig kommt Fusinit seit dem Oberdevon vor, also seit der Zeit der ersten Wälder. In Steinkohlenflözen der Karbonzeit finden sich häufig ausgedehnte Fusinit-Horizonte, die davon zeugen, daß die Sumpfwälder wieder-

holt flächenhaft und weiträumig niedergebrannt sind. Unser Befund aus der Bohrung stellt ein noch älteres Vorkommen dar. Danach kommt Fusinit schon im Unterdevon vor, und folglich dürfte das Brandproblem so alt sein wie die Landpflanze selbst.

Gewöhnlich werden Brände in der Natur durch Blitzschlag ausgelöst, seltener auch durch vulkanische Glutflüsse, Selbstentzündung gärender Biomasse oder Meteoriten-Einschläge. In Trockenzeiten findet der Brand leicht Nahrung und kann sich weit ausbreiten. Darauf mußten die Landpflanzen von Anfang an eingestellt sein, mit geeigneten Überlebensstrukturen und Überlebensstrategien. Für die Unterdevon-Pflanze dürfte das relativ einfach gewesen sein. Auch wenn die Luftspore vollständig niedergebrannt waren, konnten die Erdsprossen überdauern und danach neu austreiben (Abb. 5). Bezeichnenderweise haben alle bekannten Unterdevon-Pflanzen kriechende Erdsprosse entwickelt, oft in reicher Verzweigung und in weiter unterirdischer Ausdehnung.

Im nachfolgenden Oberdevon wurden Pflanzen mit Erdsprossen deutlich seltener. Bäume müssen andere Überlebensmechanismen gegen Feuer entwickeln.

Grundsätzlich ist der Baustoff Lignin schwerer entflammbar als Cellulose und verkohlt erst langsam, wenn Cellulose schon lichterloh brennt.

Bleibt die Unterhitze im Brandbereich mäßig, können sich in der Stammbasis Knospen lebend halten und nachfolgend austreiben. Borke und Rinde sind gute Wärmeisolatoren, da sie viel Lignin enthalten, oft mehr als der Holzkörper. Bezeichnenderweise hatten die Bäume des Steinkohlenwaldes durchweg eine mächtige Rindenschicht, häufig zehn bis 20mal dicker als der Holzkörper. In modernen Bäumen ist das Verhältnis umgekehrt, der Holzkörper ist mindestens viermal stärker als die Rinde.

Heutige Bäume haben eine gute Chance den Waldbrand mit ihrem Samen zu überdauern, besonders wenn dieser im Boden vergraben liegt. Manchmal wird der ruhende Samen erst durch Hitze zum Keimen angeregt, sodaß der junge Sprößling unmittelbar nach dem Brand zur Stelle ist. In anderen Fällen öffnet sich der Samenzapfen erst nach Wärmewirkung. Auf diese Weise kann Samenbildung also neben anderem auch brand-ökologische Funktionen haben. Einschlägige Beobachtungen darüber liegen unter anderem aus den Waldbrandgebieten Australiens und Amerikas vor [8]. Einiges dürfte im Erdaltertum ähnlich gewesen sein, denn schon im Oberdevon, also in der frühesten Waldvegetation der Erde, sind erste Samenpflanzen vertreten.

Natürliche Waldbrände sind nicht nur negativ zu sehen. Möglicherweise haben sie sogar eine regulierende Rolle gespielt, zum Beispiel in der Evolution der Pflanzenpopulationen. Freigebrannte Flächen werden für Neueinwanderer geöffnet, die dort fortgeschrittenere Lebensgemeinschaften aufbauen können. Wenn Flächenbrände heutzutage eine Existenzbedrohung der Wälder geworden sind, dann nur, weil die von Menschenhand gelegten Feuer viel häufiger vorkommen als die durch Blitzschlag oder andere natürliche Ursachen ausgelösten. Die hohe Frequenz kann das Regenerationsvermögen der Wälder überfordern.

Pflanzen und Atmosphäre

Der Befund aus der Tiefbohrung liefert auch Hinweise zur Chemie der vorzeitlichen Atmosphäre. Derzeitigen Kenntnissen zufolge war die Uratmosphäre am Anfang der Erde noch ohne Sauerstoff, und hat sich erst in der Folgezeit mit dem Gas angereichert. Vorliegende geochemische Kalkulationen besagen, daß der atmosphärische Sauerstoffgehalt zu Beginn des Unterdevon etwa die 15 Prozent-Grenze erreicht haben mußte. Interessanterweise entspricht das ungefähr dem Mindestgehalt, der nötig ist, damit Flächenbrände in der Natur überhaupt entstehen können. Insofern paßt die Rechnung gut zu den unterdevonischen Fusinit-Funden, den frühesten Vorkommen fossiler Holzkohle. Am Ende der Devonzeit soll der Luftsauerstoffgehalt dann schon auf über 20 Prozent angestiegen sein und wäre damit praktisch auf dem heutigen Niveau gewesen. Auch für diese Rechnung lassen sich Hinweise im Fossilbefund finden. So erscheinen im Oberdevon die ersten lungenatmenden Landtiere und kurz danach die ersten geflügelten Insekten. Diese brauchen für ihre Flugleistungen enorme Mengen Sauerstoff und sind deshalb auf eine Atmosphäre der heutigen Art angewiesen (Abb. 7).

Bestimmte Kalkulationen sagen für die ferne geologische Zukunft einen weiteren Anstieg

des Luftsauerstoff-Gehaltes voraus. Derartige Prognosen sind auf Zeiträume von 50 bis 100 Millionen Jahre angelegt und obwohl theoretisch begründbar, natürlich nur als Spekulation zu verstehen. Wenn die Aussage zutrifft, könnte die Situation für Holzgewächse kritisch werden, sobald der O₂-Gehalt die 27 Prozent-Marke überschreitet. Darüber hinaus neigt Holz zur Selbstentzündung und die Gefahr von Waldbränden ist immer und überall gegeben. Eine Waldvegetation im heutigen Sinne wäre dann kaum noch möglich, es sei denn, die Pflanzen hätten neue Mechanismen und Strategien entwickelt, um dieser Entwicklung zu begegnen oder ihr auszuweichen. Lebewesen haben diesbezüglich gewisse Einflußmöglichkeiten auf die Atmosphäre, denn fast der gesamte dort vorhandene Sauerstoff stammt aus der Photosynthese der Pflanzen und ergänzt sich laufend aus dieser Quelle. Andererseits begrenzt die Tierwelt den Sauerstoffgehalt ständig durch Atmung und Energieverbrauch. In dieser Weise stehen Atmosphäre und Biosphäre in gegenseitiger Wechselbeziehung. Ändert sich der Zustand der Atmosphäre, stellen sich die Existenzbedingungen für Lebewesen neu. Aber diese können mit regulierenden und stabilisierenden Wirkungen in die Atmosphäre eingreifen. Wie künftig der Mensch das System verändernd beeinflussen wird, ist eine andere Frage.

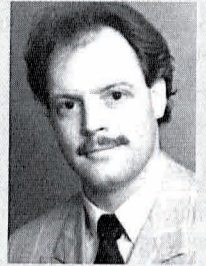
Literatur:

- [1] EMMERMANN, R. & LAUTERJUNG, J. (1989): Spiegel der Forschung 1-2/1989: 2-7. EMMERMANN, R. (1990): Spektrum der Wissenschaft Oktober 1990: 60-70.
 [2] STETTNER, G. (1989): KTB Report 89-3: 10-23; Hannover.
 [3] VON DRACH et al. (1990): KTB Report 90-4: 96-109; Hannover.
 [4] PELUG, H. D. & PRÖSSL, K. F. (1989): Naturwissenschaften 76: 565-567, sowie KTB Report, Hannover 1991 (im Druck).

- [5] GENDEL, P. G. (1979): Palaeontographica B 168: 81-99.
 [6] SCHWEITZER, H. J. (1987): Bonner Paläobot. Mitt., 13: 1-94.
 [7] ROBINSON, J. M. (1990): Geology 15: 607-610. BERNER, R. A. & CANFIELD, D. A. (1989): Amer. J. Sci. 289: 333-361. MOSBRUGGER, V. (1989): Biologie in unserer Zeit 19 (1): 1-8.
 [8] BRADSTOCK, R. (1981): Austral. Nat. Hist. 20: 223-226. MOORE P. D. (1978): Nature 272: 754. COPE, M. J. & CHALONER, W. G. (1985). – In: TIFFNEY, B. H. (ed.): Geological factors and the evolution of plants: 257-277; New Haven, Yale.

Zu den Autoren:

Prof. Dr. Dr. Ing. Hans D. Pflug ist Professor für Geologie und Paläontologie an der Universität Gießen. Er hat in Bonn Geologie studiert und dort im Jahre 1952 promoviert, danach an der Technischen Universität Aachen ein Bergbau-Studium absolviert und auch dieses mit Promotion abgeschlossen. Nach zweijähriger Assistenzzeit in Köln hat er sich 1958 in Gießen habilitiert. Anschließend war er über mehrere Jahre als Gastprofessor im Ausland tätig, in den USA, in Südafrika und in der Türkei. Seit 1965 lehrte er an der Universität Gießen in den Fächern Historische Geologie, Paläontologie und Umweltgeologie. Ende 1990 trat er in den Ruhestand. Seine Forschungsarbeiten betreffen Themen der Kohlengeologie, Fossilchemie und Stratigraphischen Geologie. Besonders interessiert ihn die urzeitliche Lebensgeschichte der Erde.



Dr. Klaus F. Prössl studierte Geologie an der Universität Gießen und promovierte 1989 mit einer Arbeit über Meeresplankton der Kreidezeit. Seit 1989 untersucht er pflanzliche Mikrofossilien in metamorphen Gesteinen. Von 1986 bis 1990 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Angewandte Geowissenschaften und hat in den Jahren 1985 bis 1990 an verschiedenen DFG-Projekten mitgearbeitet. Derzeit ist er Mitarbeiter im DFG-Schwerpunktprogramm „Globale und regionale Steuerungsprozesse biogener Sedimentation“.