

- HADERER F-O (1998) Übertiefte Fährten von *Chirotherium*. Fossilien 15, 169f.
 JOHNSON EW et al., Geol. Mag. 131, 1994, 395-406.
 JUNKER R (2002) Erste Landpflanzen und molekulare Uhren. Stud. Int. J. 9, 42-43.
 RETALLACK GJ & FEAKES CR (1987) Trace fossil evidence for Late Ordovician animals on land. Science 235, 61-63.

- SCHMIDT H (1959) Die Cornberger Fährten im Rahmen der Vierfüßer-Entwicklung. Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., 28, 1-137.
 SEILACHER A (1995) Fossile Kunst. Korb.
 SEILACHER A (1997) Warum fossile Fährten oft nur bergauf gehen. Fossilien 14, 372-375.

Erste Landpflanzen und molekulare Uhren

Schon länger ist bekannt, daß es eine Diskrepanz zwischen dem Zeitpunkt der ersten fossilen Überlieferung der Tierstämme und den evolutionstheoretisch anhand des Konzepts molekularer Uhren ermittelten Entstehungszeitpunkten gibt. Je nach Untersuchung ist diese Diskrepanz unterschiedlich, tendenziell aber sehr hoch. In der letzten Ausgabe von *Stadium Integrale Journal* wurde darüber berichtet (JUNKER 2001). Untersuchungen mit Hilfe molekularer Uhren zeigen nun, daß eine ähnliche Situation auch für das Auftreten der Landpflanzen und Pilze vorliegt. Nach molekularen Daten sollten die Landpflanzen weit über 200 Millionen Jahre früher entstanden sein, als nach dem Fossilbericht bislang dokumentiert ist.

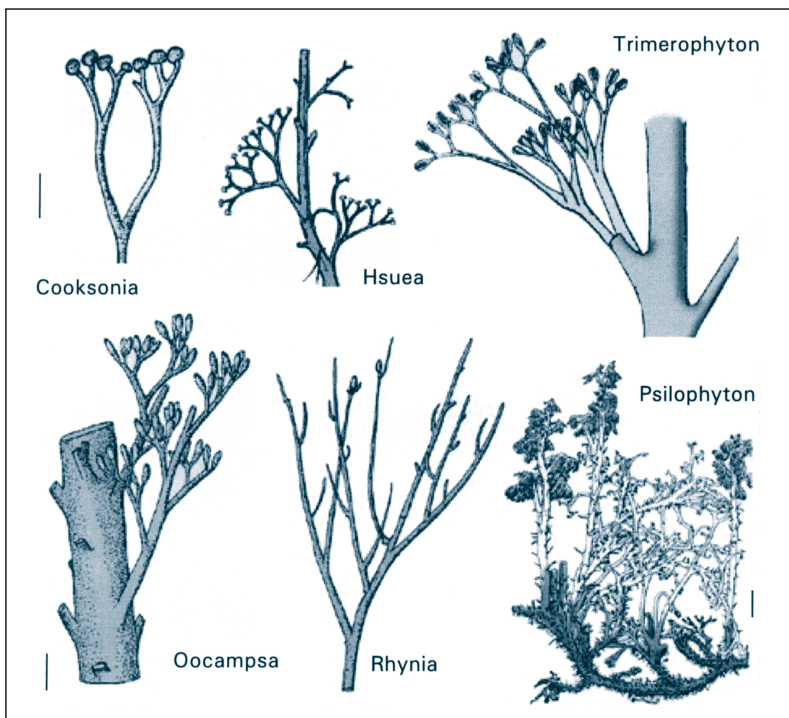
In den vergangenen Jahrzehnten waren immer wieder neue „Altersrekorde“ fossil überlieferter Landpflanzen aufgestellt worden. Lange Zeit galt das Unterdevon als der Beginn der Eroberung des Landes durch Gefäßpflanzen, mittlerweile gelten Nachweise von Pflanzen mit einem Leitgefäßsys-

tem ab dem Mittelsilur als gesichert, moosartige Pflanzen und Pilze sind bereits aus dem Ordovizium (480 bzw. 460 Millionen Jahre) bekannt. Ältere Nachweise anhand von Sporen (bis hinunter zum Kambrium) waren und sind aus verschiedenen Gründen umstritten, vor allem, weil die Zuordnung zu den systematischen Taxa oft unsicher ist.

Eine amerikanische Forschergruppe um S. Blair HEDGES von der Pennsylvanian State University ermittelte nun in einer umfangreichen Studie die Trennungszeitpunkte verschiedener Gruppen von grünen Pflanzen und Pilzen (HECKMAN et al. 2001) anhand von Aminosäuresequenzen von 119 Proteinen. Die Ergebnisse wurden mit Daten von molekularen Uhren aus der Tierwelt abgeglichen, um Fehlerquellen zu verringern. Die Trennung der der Gefäßpflanzen von den Moosen liegt demnach ca. 700 Millionen Jahre zurück. Die Aufspaltung verschiedener Pilzgruppen erfolgte um bis zu mehrere Hundert Millionen Jahre früher. Der Ursprung symbiontisch lebender Pilze (in Flechten oder Mykorrhizen) wird nach diesen Untersuchungen auf ca. 800 Millionen Jahre datiert.

Wie beim plötzlichen Erscheinen der Tierwelt stellt sich auch hier die Frage nach den Gründen des Fehlens einer fossilen Überlieferung. Die ältesten bekannten fossilen Pilze sind erst aus dem Ordovizium bekannt, bemerkenswerterweise handelt es sich dabei um Pilze, die heute aus Mykorrhizen (Pilzwurzeln, Symbiosen aus Wurzeln höherer Pflanzen und einem Pilz) bekannt sind (REDECKER et al. 2000). Das Fehlen älterer fossiler Nachweise wird üblicherweise auf die schlechte Erhaltungsfähigkeit zurückgeführt, was aber für einen so enormen Zeitraum nicht plausibel erscheint. Dies gilt erst recht für die Situation bei der Fossildokumentation der Gefäßpflanzen, die deutlich erhaltungsfähigere Gewebe besitzen. Sie wurden als Makrofossilien (in Form von Stengeln etc.) erstmals im Mittelsilur gefunden und treten ab dem Unterdevon massenhaft und in schnell zunehmender Vielfalt auf. Weshalb vorher nicht? Diese Frage stellt sich in verschärfter Form, nachdem schon lange zuvor aufgrund von Mikrofossilien (Sporenfunde) ein früheres Auftreten von Land-

Abb. 1: Einige unterdevonische Pflanzen, die zu den ersten fossil überlieferten Landpflanzen gehören. Strich: 1 cm. (Nach JUNKER 1996)



pflanzen vermutet worden war.

Das nach evolutionstheoretischer Lesart frühe Entstehen von symbiontisch lebenden Pilzen gibt einer 1975 erstmals veröffentlichten Hypothese neuen Auftrieb, wonach die Eroberung des Landes von mit Pilzen symbiontisch lebenden Algen ausging (PIEROZYNSKI & MALLOCH 1975). Diese Vorstellung fand bisher wenig Beachtung, vermutlich weil zu wenig positive Evidenz für einen solchen Schritt aufs Land via Pilz-Alge-Symbionten vorliegt. PIEROZYNSKI & MALLOCH (1975) verweisen auf die Existenz zahlreicher Mykorrhizen bei heutigen Pflanzen und auf die Vergesellschaftung von einigen Devonpflanzen wie *Asteroxylon* und *Rhynia* mit Pilzen, doch können diese Beobachtungen eine solche Hypothese kaum stützen; dafür sind sie viel zu wenig signifikant. Es stellt sich zudem die Frage nach dem phylogenetischen Zusammenhang solcher Pilz-Alge-Symbionten mit Gefäßpflanzen.

HECKMAN et al. (2001) halten einen Zusammenhang zwischen einem frühen Auftreten von Landpflanzen und der Klimaentwicklung im späten Präkambrium für möglich, da der Atmosphäre durch ein Pflanzenkleid Kohlendioxid entzogen worden wäre, was zu einer schon früher angenommenen Vereisung der Erde in jener Zeit geführt haben könne. Die Erhöhung der Sauerstoffkonzentration könne die kambrische Explosion des tierischen Lebens ermöglicht haben. Die Zusammenhänge

von Ursache und Wirkung sind hier jedoch spekulativ, insbesondere bei der kambrischen Explosion.

Die geschilderten Ergebnisse sind nicht unumstritten. Die Ergebnisse der molekularen Uhren sind bekanntermaßen häufig unzuverlässig (vgl. AYALA 1999; WHITFIELD 2001). Immerhin aber könnten die Ergebnisse Impulse für die Paläobotanik geben: Sie legen nahe, in solchen Sedimenten nach Fossilien zu suchen, in denen sie bisher nicht erwartet worden waren, jedoch nach den molekularen Befunden zu finden sein sollten. Man kann auf die weitere Forschung und Diskussion gespannt sein.

Reinhard Junker

Literatur

- AYALA FJ (1999) Molecular clock mirages. *BioEssays* 21, 71-75.
 JUNKER R (2001) Das Präkambrium-Kambium-Problem: Molekulare Uhren und Fossilien. *Stud. Int. J.* 8, 83-85.
 HECKMAN DS, GEISER DM, EIDELL BR, STAUFFER RL, KARDOS NL & HEDGES SB (2001) Molecular evidence for the early colonization of land by fungi and plants. *Science* 293, 1129-1133.
 PIEROZYNSKI KS & MALLOCH DW (1975) The origin of land plants: a matter of mycotrophism. *Bio Systems* 6, 153-164.
 REDECKER, D, KODER R & GRAHAM LE (2000) Glomalean fungi from the Ordovician. *Science* 289, 1920-1921.
 WHITFIELD J (2001) Plant's roots pushed back. *Nature science update* 10. 8. 01 (www.nature.com/nsu/010816/010816-2.html)

Regulation der Tagesrhythmik bei Organismen weit entfernter Taxa

Viele biologische Vorgänge verlaufen nicht kontinuierlich, sondern periodisch. Es gibt kurzperiodische Vorgänge wie Zilienschlag, Aktionspotentiale von Nervenzellen oder der Herzschlag. Lange, meist jährliche Perioden sind Winterschlaf oder das jährliche Wandern von Zugvögeln oder Fischen wie z. B. Lachsen. Mittelperiodische Vorgänge sind Gezeitenrhythmen von Organismen im Wattenmeer oder die Schlaf-Wach-Rhythmen.

Von vielen Organismen sind regelmäßige Änderungen physiologischer Vorgänge bekannt, so bei Bakterien (SCHMITZ 2000), Pflanzen (PARK 1999, STRAYER 2000), Pilzen (LEE 2000) und Tieren wie Zebrafischen (DELAUNEY 2000), der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* (CERIANI 1999, SHAW 2000), Mäusen (HARDIN 1999, BARINAGA 1999), Hamstern (LOWREY 2000) und Ratten (YAMAZAKI 2000), nicht zuletzt auch beim Menschen (BILLIARD 1998, siehe auch hier für andere physiologische und klinische

Daten für menschliche zirkadiane Rhythmen und Erkrankungen des Schlaf-Wach-Rhythmus). Bei Menschen und Säugern schwanken Körpertemperatur, Blutdruck, Hormonsekretion und viele andere Variablen während der 24 Stunden eines Tages. Man spricht von zirkadianen Rhythmen.

In diesem Beitrag sollen die zirkadianen Uhren der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* und der Maus beschrieben und miteinander verglichen und die Bedeutung dieser Erkenntnisse für die Ursprungsforschung diskutiert werden.

Die *Drosophila melanogaster*-Uhr

Die Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* ist einer der am häufigsten untersuchten Modellorganismen, dessen Genom in nächster Zeit vollständig sequenziert sein wird. Auch *Drosophila* schläft zeit-