

Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges. 29, 20-26. Hannover 2017

## **Evolution von Bio- und Geodiversität**

– Thomas Litt, Bonn –

### **Abstract**

Interactions between geo- and biosphere were drivers for the evolution during the last ca. 3.8 billion years of earth history. The development of bio- and geo-diversity has been steadily increased in very active geodynamic periods of the Phanerozoic. The first occurrence of the oldest land plants correlates with the final phase of the Caledonian orogeny and the development of larger continental plates during the Silurian (445-415 Ma before present). The formation of the so-called Old Red Continent in equatorial position favored the evolution, adaption and diversification of the early vascular plants during the Lower Devonian (415-385 Ma before present). In the Carboniferous (360-300 Ma before present), woodland - for the first time in earth history - expanded throughout the entire global continental surface. Geodynamic processes such as continent collision, the Variscan orogeny, and formation of Pangaea have influenced the increasing development of diversity including provinciality of the global vegetation (formation of biomes). Weathering and accumulation of biomass (formation of coal seams) led to a remarkable reduction of CO<sub>2</sub> of ca. 90%, whereas the O<sub>2</sub> concentration in the atmosphere reached the highest values of the entire Phanerozoic (30%), which led to ice-house conditions. The success story of the flowering plants during the mid Cretaceous (120-100 Ma before present) is firstly characterized by ecological dominance in comparison to the gymnosperms. During the Upper Cretaceous and especially during the Tertiary (since 66 Ma before present), the diversity of the angiosperms reached an overwhelming predominance regarding the number of species. Apart from biotic processes, changes of geo-diversity were involved in the success story of flowering plants caused by accelerating geodynamic development during the Cretaceous and Early Cenozoic.

### **Einleitung**

4,5 Milliarden Jahre Erdgeschichte ist untrennbar mit der Entstehung und Entwicklung von Organismen seit etwa 3,8 Milliarden Jahren verbunden. Die dynamischen Wechselbeziehungen zwischen Geo- und Biosphäre waren und sind Motor für Evolution und Diversität. Auch unser Klimasystem wurde durch diese Wechselbeziehungen stark beeinflusst, wobei dem Kohlenstoffkreislauf eine große Rolle zukommt. Starke Veränderungen der Sonneneinstrahlung, der Zusammensetzung der Atmosphäre, der Verteilung von Ozeanen und Kontinenten sowie des globalen Eisvolumens prägen das Klima bis heute (Abb. 1). Die gegenwärtige Zusammensetzung der Atmosphäre wäre ohne Entstehung und Entwicklung phototropher Organismen undenkbar. Dies betrifft sowohl die frühe Erde, in der Cyanobakterien und Algen als Sauerstoffproduzenten eine entscheidende Rolle spielten, als auch die spätere Erdgeschichte im Phanerozoikum, als die Pflanzen vor knapp 500 Millionen Jahren begannen, das Land zu besiedeln und sich auszubreiten. Wenn die Biomasseproduktion sowie die chemische Verwitterung hoch waren, wurde viel CO<sub>2</sub> verbraucht. Die Reduzierung des Treibhausgases führte zu Temperaturverringerung, die auch die Entstehung von Eiszeiten begünstigte. Die gegenseitige Beeinflussung biotischer und abiotischer Faktoren führte zu evolutiven Innovationen und Schüben, aber auch zu Krisen mit Aussterbeereignissen. Im Folgenden soll



bzw. Gefäßpflanzen korreliert mit einschneidenden geodynamischen Prozessen, die im Zusammenhang mit der sog. Kaledonischen Gebirgsbildung stehen, die im Ordovizium einsetzte und ihren Höhepunkt im Silur hatte. Die ehemaligen kontinentalen Platten Laurentia (Teile des heutigen Nordamerika) sowie Baltica und Avalonia (Teile des heutigen Europa) kollidierten zu einem Großkontinent Laurussia (sog. Old Red Continent), wobei der ehemalige Iapetus-Ozean zwischen Laurussia und Baltica subduziert und zum Kaledonischen Gebirge aufgefaltet wurde (KRAWCZYK et al. 2008). Die Entstehung großer Landmassen in damals äquatorialer Lage begünstigte zweifellos die darauf folgende Evolution, Adaption und Diversifizierung der frühen Landpflanzen. Besonders gut lässt sich dies im Unter-Devon des Rheinischen Schiefergebirges studieren, wo knapp 30 Arten beschrieben wurden (SCHWEITZER 1992). Diese Flora zählt damit zu den weltweit artenreichsten aus jener Zeit. Der Südrand des „Old Red Continent“ – durch die Linie Aachen-Leverkusen markiert –, erfuhr damals durch die Abtragung des Kaledonischen Gebirges und des Sedimenttransportes in den südlichen flachmarinen Bereich eine sehr dynamische morphologische Entwicklung mit Inselbildung und Entstehung von Wattenbereichen. SCHWEITZER (1992) rekonstruierte aufgrund der reichen paläobotanischen Funde eine Sukzession vom Meer zum Land, wobei die ältesten Gefäßpflanzen bereits eine deutliche Habitatbindung erkennen lassen. Der intertidale Gezeitenbereich war durch submers lebende *Taeniocrada*-Arten besiedelt. In der unmittelbaren Verlandungszone wuchs die sehr häufige Art *Zosterophyllum rhenanum*. Im supratidalen Faziesbereich, den wir heute als Salzmarsch bezeichnen würden, gediehen unterdevonische Landpflanzen wie die Gattungen *Drepanophycus*, *Sawdonia* und *Psilophyton*. Nach der Entwicklung von Leitbündeln und Festigungsgewebe erfolgte eine rasante Radiation dieser sogenannten Psilophyten (Nacktfarne). Am Ende des Unter-Devons differenzierten sich bereits die ersten echten Bärlappe und Farne. Die meisten unterdevonischen Pflanzenfunde stammen aus brackisch-marinen Küstenbereichen. Eine Ausnahme bildet die limnisch geprägte Konservatlagertstätte in Rhynie (Schottland), in der Pflanzenreste durch vulkanisch induzierte Hydrothermalitätigkeit verkieselt wurden und somit hervorragend erhalten geblieben sind. Neben Sporophyten (*Rhynia gwynne-vaughanii*, *Aglaophyton major*, *Asteroxylon mackiei*) wurden auch mehrere Gametophyten beschrieben, die den Generationswechsel der frühen Landpflanzen hervorragend dokumentieren (zusammenfassend siehe REMY & REMY 1980, KERP & HAAS 2009 sowie TAYLOR et al. 2009).

### **Karbon (ca. 360 – 300 Millionen Jahre vor heute)**

Das Karbon, benannt nach den zahlreichen Steinkohlenvorkommen in Europa, ist durch prominente plattentektonische Ereignisse mit Kontinent-Kollisionen und Gebirgsbildungen gekennzeichnet. Laurussia wurde mit Gondwana zum Riesenkontinent Pangaea verschweißt, wobei in einer Front von mehreren hundert Kilometern das Variszische Gebirge aufgefaltet wurde (OSCHMAN 2016). In den durch Subsidenz entstandenen Vortiefen und Innensenken kam es zu umfangreicher Kohlebildung (küstennah-paralische und intramontan-limnische Lagerstätten). Die Wälder erreichten erstmalig in der Erdgeschichte eine globale Ausdehnung mit beeindruckender Arten- und Individuenzahl (TAYLOR et al. 2009), wobei drei Großgruppen von Sporenpflanzen beteiligt waren, die auch baumförmigen Riesenwuchs bis 35 m entwickelten: Bärlappe mit Siegelbaum (*Sigillaria*) und Schuppenbaum (*Lepidodendron*), Riesenschachtelhalme (*Calamites*), Baumfarne (*Psaronius*). Die Diversität bei den Samenpflanzen (Cordaiten und Pteridospermen) nahm ebenfalls zu. Am Ende des Karbons tauchen überdies die ersten Koniferen auf. Die geodynamische Entwicklung innerhalb des Karbons hatte somit großen Einfluss auf die Entwicklung der Biodiversität, wobei sich großräumige Biome entsprechend der geographischen Breiten herausdifferenzierten: tropisch-immerfeuchte Wälder sowie tropisch-sommerfeuchte Wälder in Äquatornähe, subtropische Wüsten, warm-tem-

perate Wälder, kühl-temperate Wälder sowie arktisch-glaziale Biome (WILLIS & MCELWAIN 2014). Die globale Verteilung war aber im Gegensatz zu heute stark asymmetrisch. Lediglich in Südpolposition auf Gondwana kam es zu Inlandvergletscherungen, bei deren Entstehung und Ausdehnung die Wechselbeziehungen und Rückkopplungen zwischen Geo- und Biosphäre sowie Atmosphäre eine große Rolle spielten (BEERLING & BERNER 2005). Bei der Entstehung von Pangaea mit den damit verbundenen orogenen Prozessen kam es zu hohen Raten der Silikat-Verwitterung, wobei Kohlendioxid durch Karbonatfällung gebunden wurde ( $\text{CO}_2 + \text{CaSiO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2$ ). Zusätzlich verstärkt wurde die Abreicherung von  $\text{CO}_2$  in der Atmosphäre durch die hohe Biomasse der Wälder, die in Mooren akkumuliert und durch Kohlebildung versenkt wurde. Der  $\text{CO}_2$ -Anteil der Atmosphäre sank im Karbon und Unterperm um fast 90% auf heutige Werte (um 300 ppm), wobei der Sauerstoffgehalt in der Atmosphäre mit 30% den höchsten Wert innerhalb des gesamten Phanerozoikums erreichte (BERNER 2006). Hochauflösende Untersuchungen, basierend auf fossilen Blättern (Stomata-Indizes als Proxy für  $\text{CO}_2$ -Schwankungen), verdeutlichen überdies, dass das letzte Eishausklima der Erdgeschichte vor 300 Millionen Jahren ähnlichen Glazial-Interglazial-Schwankungen unterlegen war wie im Quartär (Skalen im Bereich der Exzentrizität, siehe MONTAÑEZ et al. 2016).

### **Kreide (ca. 145 – 66 Millionen Jahre vor heute)**

Die schnelle Entwicklung der Angiospermen innerhalb der Kreidezeit bezeichnete Darwin noch als "abdominable mystery", da sie nicht mit seiner Theorie der langsamen Artbildung verträglich war. Der Verdrängungswettbewerb zwischen Nackt- und Bedecktsamern setzte im Alb ein und war zugunsten der Angiospermen bereits im Cenoman entschieden, wobei die globale Dominanz erst im frühen Känozoikum (ab 66 Millionen Jahre vor heute) erreicht wurde (LUPIA et al. 2000). Älteste sichere Nachweise der Angiospermen finden sich bereits im Valangin (140 Millionen Jahre vor heute) aufgrund von Funden monocolpater Pollen (*Clavatipollenitis*, BRENNER 1996). Erste Angiospermen-Blüten treten dann im Fossilbericht zwischen spätem Hauterive und frühem Apt auf (*Archaeofructus*, 128 – 121 Millionen Jahre vor heute, SUN et al. 2002). Im Apt und Alb (bis 100 Millionen Jahre vor heute) sind aus Portugal Blüten von Nymphaeales (FRIIS et al. 2001) und von Magnoliidae (DILCHER & CRANE 1984) bekannt. Insgesamt erscheinen in der Unterkreide Vertreter der ANITA-Gruppe (umfasst neben *Amborella* die fast weltweit verbreitete Seerosen-Verwandtschaft). Die Monokotyledonen, Magnoliiden und die basalen Dikotyledonen scheinen relativ gleichzeitig aufgetreten zu sein, und waren überwiegend aquatisch bzw. krautig (FRIIS et al. 2006; DOYLE 2012).

Die Erfolgsstory der Blütenpflanzen am Übergang zwischen Unter- und Ober-Kreide ist aber zunächst gekennzeichnet durch ökologische Dominanz. Erst im Verlaufe der Oberkreide und vor allem im Tertiär wird dann die überwältigende Artenvielfalt erreicht (Abb. 2). Der Verdrängungswettbewerb zugunsten der Angiospermen am Ende der Unterkreide wird mit mehreren hypothetischen Ursachen verknüpft: (1) Langzeittrend des Rückgangs der  $\text{CO}_2$ -Konzentration von der Frühen Kreide bis zur Späten Kreide, wobei hohe  $\text{O}_2$ : $\text{CO}_2$ -Verhältnisse zu erhöhten Mutationsraten und nachfolgender verstärkter Artenbildung führten (BERNER 2006; MITTLER 2002); (2) Dinosaurier-Angiospermen-Koevolution in der Unter-Kreide, wobei der Übergang von High-Browser zu Low-Browser zu erhöhten Mortalitätsraten bei Gymnospermen-Sämlingen führten, die den eindringenden schnellwüchsigen Angiospermen einen Wettbewerbsvorteil verschafften (BAKKER 1986); (3) Insekten-Angiospermen-Koevolution, wobei die Entomophilie das bestimmende Bestäubungssyndrom bei den frühen Blütenpflanzen in der Unter-Kreide war (HU et al. 2008). Jede Theorie für sich erklärt nicht hinreichend plausibel die schnelle Dominanz der echten Blütenpflanzen. Insbesondere die letzte, auf den ersten Blick sehr einleuchtende Erklärung (3) hat Schwachstellen. Zum einen ist die Insektenbestäubung kein Privileg der Angiospermen. Im Mesozoikum gab es erfolgreiche

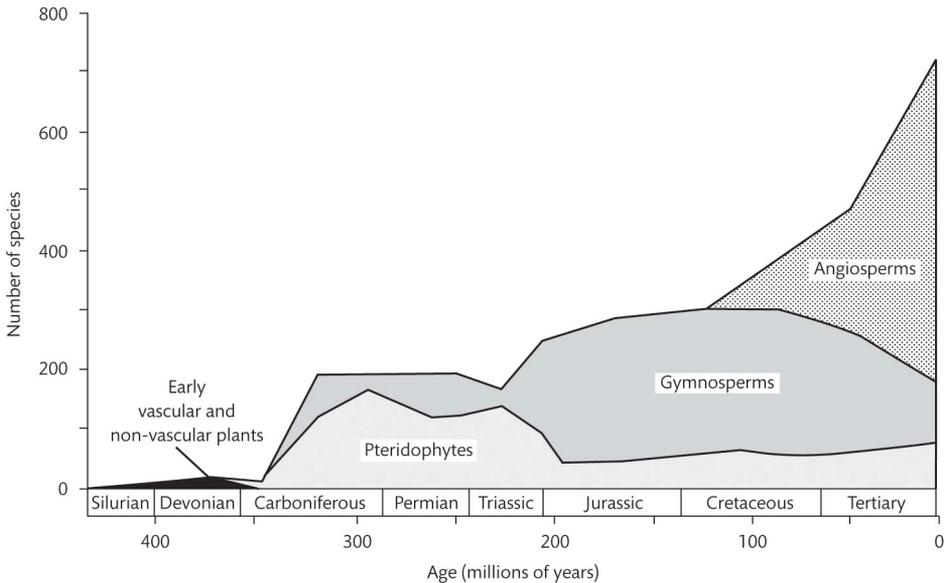


Abb. 2: Entwicklung der Diversität der Pflanzen seit dem Silur (445 Millionen Jahre vor heute). Im Paläozoikum dominierten die Sporenpflanzen und im Mesozoikum die Gymnospermen. Die ältesten Nachweise der Blütenpflanzen stammen aus der Unteren Kreide. In der Oberkreide und im Tertiär kam es zur dynamischen Zunahme der Artenzahl. (WILLIS & MCELWEIN 2014, nach NIKLAS et al. 1983).

Gymnospermen mit zwittrigen Blüten und auffälligen Schauorganen (prä-angiosperme Merkmale), die auf Insektenbestäubung spezialisiert waren (z.B. Bennettiteen, WATSON & SINCOCK 1992). Sie sind dennoch in der Unter-Kreide ausgestorben. Zum anderen ist die Windbestäubung nicht ineffizient. Bereits im frühen Cenoman treten triporate Pollen auf (sog. Normapollen), die zu einer weit verbreiteten ausgestorbenen Gruppe von frühen Angiospermen der nördlichen Hemisphäre gehörten (wohl Vorläufer der rezenten Fagales) und aufgrund ihrer Pollenmorphologie bereits windbestäubt waren (DALY & JOLLEY 2015). Außerdem greift die Insekten-Angiospermen-Koevolution noch nicht wirklich effektiv in der Unter-Kreide. Diptera, Coleoptera und einige Hymenoptera tauchen deutlich vor den Angiospermen auf, während spezialisierte Bestäuber wie Honigbienen (Apoidea) und Schmetterlinge (Lepidoptera) erst in der Ober-Kreide auftreten und verstärkt im Känozoikum verbreitet sind (LABANDEIRA & SEPKOSKI 1993; REN et al. 2009). Einige der ältesten Nachweise pollensammelnder Bienen stammen übrigens aus den eozänen Maarseen bei Messel und Eckfeld aus Deutschland (knapp 50 Millionen Jahre vor heute, WAPPLER et al. 2015). Auch in der Blütenmorphologie deutet sich erst in der Späten Kreide und im Frühen Tertiär eine Entwicklung hin zu bilateral-symmetrischen, dorsiventralen und zygomorphen Formen an, während die überwiegend einfach gebauten radiär-symmetrischen Blüten aus der Unter-Kreide auf unspezialisierte Insektengruppen (insbesondere Käfer) hinweisen. Monokausale Erklärungsmuster greifen also nicht, um die Erfolgsgeschichte der Angiospermen zu erklären. Neben biologischen Faktoren (u.a. schnelleres Wachstum in der frühontogenetischen Phase durch verbessertes Leitgewebe sowie schnellere Fortpflanzungsraten im Vergleich zu Gymnospermen) spielten sicherlich auch Veränderungen der Geodiversität eine große Rolle, denn die Kreide ist durch akzelerierte geodynamische Prozesse gekennzeichnet (weiteres Zerschneiden von Gondwana, beschleunigte Kontinentaldrift, Öffnung des Südatlantiks, Kompressionstektonik im Tethysraum mit Bildung der alpinen Falteingürtel, siehe zusammenfassend OSCHMANN 2016).

## Zusammenfassung

Die dynamischen Wechselbeziehungen zwischen Geo-, Bio- und Atmosphäre seit etwa 3,8 Milliarden Jahren waren und sind Motor für die Evolution. Geodynamisch besonders aktive Phasen im Phanerozoikum beschleunigten die Evolution von Geo- und Biodiversität. Der Zeitpunkt des Auftretens der ältesten Landpflanzen bzw. Gefäßpflanzen korreliert mit der sog. Kaledonischen Gebirgsbildung, die ihren Höhepunkt im Silur hatte (445-415 Millionen Jahre vor heute). Die Entstehung großer Landmassen in damals äquatorialer Lage begünstigte die Evolution, Adaption und Diversifizierung der frühen Landpflanzen im darauf folgenden Unter-Devon (415-385 Millionen Jahre vor heute). Im Karbon (360-300 Millionen Jahre vor heute) erreichten die Wälder erstmalig in der Erdgeschichte eine globale Ausdehnung mit beeindruckender Arten- und Individuenzahl. Die geodynamische Entwicklung innerhalb des Karbons (Variszische Orogenese mit Bildung des Riesenkontinents Pangaea) hatte somit großen Einfluss auf die Entwicklung der Biodiversität, wobei sich großräumige Biome entsprechend der geographischen Breiten herausdifferenzierten. Durch Verwitterung und intensive Kohlebildung sank der CO<sub>2</sub>-Anteil der Atmosphäre im Karbon und Unterperm um fast 90% auf heutige Werte, wobei der Sauerstoffgehalt in der Atmosphäre mit 30% den höchsten Wert innerhalb des gesamten Phanerozoikums erreichte. Dies begünstigte die Ausdehnung von Inlandeis auf der südlichen Hemisphäre (Gondwana). Die Erfolgsstory der Blütenpflanzen am Übergang zwischen Unter- und Ober-Kreide (120-100 Millionen Jahre vor heute) ist zunächst durch ökologische Dominanz gekennzeichnet. Erst im Verlaufe der Oberkreide und vor allem im Tertiär (ab 66 Millionen Jahre vor heute) wird dann die überwältigende Artenvielfalt erreicht. Neben biologischen Faktoren spielten Veränderungen der Geodiversität eine große Rolle, denn die Kreide und das Frühe Känozoikum sind ebenfalls durch akzelerierte geodynamische Prozesse gekennzeichnet.

## Literatur

- BAKKER, R.T. (1986): Dinosaur Heresies: New theories unlocking the mystery of the dinosaur and their extinction. – William Morrow, New York, 481 pp.
- BEERLING, D.J. & BERNER, R.A. (2005): Feedbacks and the coevolution of plants and atmospheric CO<sub>2</sub>. – Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA **102**: 1302-1305.
- BERNER, R.A. (2006): GEOCARBSULF: A combined model for Phanerozoic atmospheric O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>. – Geochimica et Cosmochimica Acta **69**: 3211-3217.
- BRENNER, G.J. (1996): Evidence for the earliest stage of angiosperm pollen evolution: A paleo-equatorial section from Israel. – In: TAYLOR D.W. & HICKEY, L.J. (eds): Flowering Plant Origin, Evolution and Phylogeny, Chapman & Hall, New York, 91-115.
- DALY, R.J. & JOLLEY, D.W. (2015): What was the nature and role of Normapolles angiosperms? A case study from the earliest Cenozoic of Eastern Europe. – Paleogeography, Paleoclimatology, Paleogeology **418**:141-149.
- DILCHER D.L. & CRANE, P.R. (1984): In pursuit of the 1<sup>st</sup> flowers. – Natural History **93**: 56-61.
- DOYLE, J.A. (2012): Molecular and fossil evidence on the origin of angiosperms. – Annual Review of Earth and Planetary Sciences **40**: 301-326.
- EDWARDS, D., DAVIES, K.L., AXE, L. (1992): A vascular conducting strand in the early land plant Cooksonia. – Nature **357**: 683-685.
- FRIIS, A.M., PEDERSEN, K.R., CRANE, P.R. (2001): Fossil evidence of water lilies (Nymphaeales) in the Early Cretaceous. – Nature **410**: 357-360.
- FRIIS, A.M., PEDERSEN, K.R., CRANE, P. R. (2006): Cretaceous angiosperm flowers: Innovation and evolution in plant reproduction. – Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology **232**: 251-293.
- HU, S., DILCHER, D.L., JARZEN, D.M., TAYLOR, D.W. (2008): Early steps of angiosperm-pollinator coevolution. – Proceedings of the National Academy of Science **105**: 399-403.
- KERP, H. & HAAS, H. (2009): Ökologie und Reproduktion der frühen Landpflanzen. – Ber. d. Reinh. Tüxen-Ges. **21**: 111-127. Hannover.
- KRAWCZYK, C.M., MCCANN, T., COOKS, L.R.M., ENGLAND, R.W., MCBRIDE, J.H., WYBRANIEC,

- S. (2007): Caledonian tectonics. – In: MCCANN, T. (ed): *The Geology of Central Europe I*, The Geological Society, London, 303-381.
- LABANDEIRA, C.C. & SEPKOSKI, J.J. (1993): Insect diversity in the fossil record. – *Science* **261**: 310-315.
- LUPIA, R., CRANE, P.R., LIDGARD, S. (2000): Angiosperm diversification and mid-Cretaceous environmental change. – In: CULVER, S. J. & RAWSON, P. F. (eds): *Biotic Response to Global Change: The last 145 million years*, Cambridge University Press, Cambridge, 207-222.
- MONTAÑEZ, I.P., MCELWAIN, J.C., POULSEN, C.J., WHITE, J.D., DIMICHELE, W.A., WILSON, J.P., GRIGGS, G., HREN, M.T. (2016): Climate, pCO<sub>2</sub> and terrestrial carbon cycle linkages during late Palaeozoic glacial–interglacial cycles. – *Nature Geoscience*, published online DOI: 10.1038/NGEO2822.
- MITTLER, R. (2002): Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. – *Trends in Plant Science* **7**: 305-328.
- NIKLAS, K.J., TIFFNEY, B.H., KNOLL, A.H. (1983): Patterns in vascular land plant diversity. – *Nature* **303**: 614-616.
- OSCHMANN, W. (2003): Vier Milliarden Jahre Klimageschichte im Überblick. – *Klimastatusbericht* **2003**: 7-24.
- OSCHMANN, W. (2016): *Evolution der Erde*. – Haupt, Berne, 383 pp.
- REMY, W. & REMY, R. (1980): Devonian gametophytes with anatomically preserved gametangia. – *Science* **208**: 295-296. Washington DC.
- REN, D., LABANDEIRA, C.C., SANTIAGO-BLAY, J. A., RASNITSYN, A., SHIH, C., BASHKUEV, A., LOGAN, M.A.V., HOTTON, C.L., DILCHER, D. (2009): A probable pollination mode before angiosperms: Eurasian, long-proboscid scorpionflies. – *Science* **326**: 840-847.
- RUBINSTEIN, C.V., GERRIENNE, P., DE LA PUENTE, G.S., ASTINI, R.A., STEEMANS, P. (2010): Early Middle Ordovician evidence for land plants in Argentina (eastern Gondwana). – *New Phytologist* **188**: 365-369.
- SCHWEITZER, H.-J. (1992): Die ältesten Pflanzengesellschaften Deutschlands. – In: VON KOENIGSWALD, W. & MEYER, W. (eds.): *Erdgeschichte im Rheinland. Fossilien und Gesteine aus 400 Millionen Jahren*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 57-70.
- SUN, G., JI, Q., DILCHER, D.L., ZHEN, S., NIXON, K.C., WANG, X. (2002): Archaeofractaceae, a new basal angiosperm family. – *Science* **296**: 889-904.
- TAYLOR, T.N., TAYLOR, E.L., KRINGS, M. (2009): *Paleobotany. The Biology and Evolution of Fossil Plants*. – Elsevier, Amsterdam, 1230 pp.
- WATSON, J. & SINCOCK, C.A. (1992): *Bennettitales of the English Wealden*. – Palaeontological Society, London, 228 pp.
- WAPPLER, T., LABANDEIRA, C.C., ENGEL, M.S., ZETTER, R., GRÍMSSON, F. (2015): Specialized and generalized pollen-collection strategies in an ancient bee lineage. – *Current Biology* **25**: 3092-3098.
- WILLIS, K.J. & MCELWAIN, J.C. (2014): *The Evolution of Plants*, 2nd ed. – Oxford University Press, Oxford, 398 pp.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Thomas Litt, Steinmann-Institut für Geologie, Mineralogie und Paläontologie, Bereich Paläontologie/Paläobotanik, Universität Bonn, Nussallee 8, D-853115 Bonn

E-Mail: [t.litt@uni-bonn.de](mailto:t.litt@uni-bonn.de)

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 2017

Band/Volume: [29](#)

Autor(en)/Author(s): Litt Thomas

Artikel/Article: [Evolution von Bio- und Geodiversität 20-26](#)