W+W Special Paper G-21-1

DIE FOSSILKLIFFE VON JOGGINS, NOVA SCOTIA, KANADA: ZUR ENTSTEHUNG DER KARBO-NISCHEN KOHLEABLAGERUNGEN

Michael Kotulla & Stefan Drüeke





Juni 2021

Titelbild:

Lycopsiden-Stamm mit anhangenden Stigmarien. In aufrechter (Wachstums-) Position; Steinkernerhaltung. Joggins-Formation (Pennsylvanium-Serie), Cumberland-Becken, Nova Scotia (Kanada). Neigung der Schichten "korrigiert"; Maßstab: s. Geologenhammer. Foto: Michael C. RYGEL, 2001 (Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0).

Bild Seite 1:

Teil der Fossilkliffe von Joggins. Blick auf die unteren 600 Profilmeter der Joggins-Formation; von Coal Mine Point aus gesehen. Die nach Süden einfallenden oberkarbonischen Schichten werden diskordant von rötlichen, pleistozänen Sedimenten überlagert. Foto: Michael C. RYGEL, 2008 (Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0).

W+W Special Paper G-21-1 Herausgegeben von der Studiengemeinschaft Wort und Wissen e. V.

Verfügbar online als PDF unter: http://www.wort-und-wissen.org/artikel.html

Inhalt

1	Fragestellung1
2	Die Fossilkliffe von Joggins2
2.1	Lage und geologische Übersicht2
2.2	Stellenwert4
3	Kurzer historischer Abriss der Erforschungsgeschichte (1820–1860)6
4	Joggins-Formation9
4.1	Lithologie und Fossilelemente9
4.2	Ablagerungsenvironment17
4.3	Zyklostratigraphie und Sequenzstratigraphie18
4.4	Stratigraphisches und radiometrisches Alter
5	Zur Akkumulation des Pflanzenmaterials 20
5.1	Schlüsselfrage: autochthon oder allochthon?20
5.2	Indizien für einen Absatz des Pflanzenmaterials – pro Allochthonie
6	Versuch einer Quantifizierung des Tempos der Sedimentation27
6.1	Aufrechte Baumstämme und Sedimentation 27
6.2	Summarische Betrachtung zur Ablagerungszeit29
7	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen33
Anha	ng: Bilddokumentation
Kliffe	von Joggins (Joggins-Formation)
Strän	de von Joggins (Joggins-Formation)57
Kliffe	von Joggins (Springhill-Mines-Formation)60
Muse	eum – Joggins Fossil Centre61
Gloss	ar mit Verzeichnis der Abkürzungen66
Tabe	llenverzeichnis
Abbil	dungsverzeichnis71
Dank	
Litera	atur73
Impre	essum



1 Fragestellung

Die Kliffe von Joggins (Nova Scotia) gelten als der weltbeste Aufschluss kohleführender karbonischer Schichten und sind berühmt für ihre verschütteten, aufrecht stehenden Bäume (Titelbild).¹ Dieses einzigartige Fenster in die Vergangenheit hat vor über 150 Jahren "die junge Wissenschaft der Geologie tiefgreifend beeinflusst"; es "dient(e) als Prüffeld für die Prinzipien des Uniformitarismus, der in situ pflanzlichen Herkunft von Kohle und der Unvollständigkeit der fossilen Überlieferung."²

Nach DAVIES et al. (2005) hätten Charles LYELL und William DAWSON realisiert, dass es sich bei "Joggins" um urzeitliche Landschaften handele, die von bemerkenswerten Pflanzen und Tieren bewohnt waren.³ Diese Landschaften sollen charakterisiert sein durch ein wiederholtes Wachsen und Ausbreiten von Vegetationsdecken (die späteren Kohlenflöze), die episodisch von Sediment überschüttet wurden.

Aber ist es möglich, dass diese wiederholt blühenden Landschaften der Phantasie der Geologen entsprungen waren, die sich zur Aufgabe gestellt hatten, Länder und Meere längst vergangener Zeiten gleichsam zu bevölkern?⁴ Hier stellt sich die entscheidende Frage, ob das Pflanzenmaterial an Ort und Stelle gewachsen war – verwurzelt im Untergrund – (autochthon) oder ob es antransportiert und abgelagert wurde (allochthon).

Die Autochthonie/Allochthonie-Frage gilt seit LYELL und DAWSON zu Gunsten der Autochthonie als geklärt (s. o.). Was sind aber die Kriterien für Autochthonie? Sind diese Kriterien erfüllt und sind sie überhaupt valide?

Schließlich drängt sich eine weitere Frage auf. Inwieweit haben Autochthonie oder Allochthonie Einfluss auf unsere Vorstellungen über die Zeitdauer, die die Schichtenfolge repräsentiert? Kann die Entstehungs- bzw. Ablagerungszeit der Schichtenfolge annäherungsweise quantifiziert werden?

¹ WALDRON & RYGEL (2005, 337): "The Pennsylvanian Joggins Formation, in the Cumberland Group of Nova Scotia, is widely regarded as the world's best exposure of coal-bearing Carboniferous strata". Siehe auch CALDER (2006).

² WALDRON & RYGEL (2005, 337); Zitat siehe Fußnote 5.

³ DAVIES et al. (2005, 128): "As Lyell and Dawson realized more than 150 years ago, Joggins is all about ancient landscapes inhabited by remarkable plants and animals (...)".

⁴ Vgl. Lotze (1922, 6).

2 Die Fossilkliffe von Joggins

2.1 Lage und geologische Übersicht

Joggins ist eine kleine Ortschaft an der Chignecto Bay, einem nördlichen Arm der Bay of Fundy, im Cumberland County, in der kanadischen Provinz Nova Scotia (Abb. 1). Die Kliffküste bei Joggins ist ein natürlicher, geologischer Aufschluss. Aufgrund der besonderen Lagerungsverhältnisse kann die Abfolge der Schichtgesteine von unten nach oben – vom Liegenden zum Hangenden – die Kliffküste entlang von Norden nach Süden abgegangen und beobachtet werden (vgl. Abb. Seite 1).



Abb. 1 Lage von Joggins in der Bay of Fundy, Nova Scotia.

Foto (groß): NASA/Jesse ALLEN (EO-1 ALI), 2009; Foto (klein, Inlet): NASA/GSFC/Jaques DESCLOITRES (AQUA MODIS), 2003. Eintragungen durch die Verfasser.

Die quasi-kontinuierliche, über 4000 m mächtige Sedimentgesteinsfolge wird in lithologisch einheitliche und kartierbare stratigraphische Einheiten gegliedert, von der Boss-Point-Formation bis zur Ragged-Reef-Formation (Tab. 1). Diese Formationen bauen den Hauptteil der Cumberland-Gruppe (Pennsylvanium-Serie) auf. Ihre Ablagerungen bilden – zusammen mit den liegenden Einheiten der Windsor-Gruppe und der Mabou-Gruppe (Mississippium-Serie) sowie der hangenden Einheit der Pictou-Gruppe (Pennsylvanium-Serie und unterstes Perm) – die 7– 9 km mächtige Sedimentverfüllung des Cumberland-Beckens. Es ist eines von mehreren sich SW-NO erstreckenden, teilweise verbundenen und durch Störungen begrenzten Becken des sog. Maritimes-Beckenkomplexes. Dieser Komplex wird unter dem Sankt-Lorenz-Golf (im Norden) von einer bis zu 12 km mächtigen Sedimentgesteinsfolge aufgebaut, die stratigraphisch vom Mitteldevon bis zum untersten Perm reicht (ALLEN et al. 2013, 848). Das grabenartige Cumberland-Becken ist ein etwa 3600 km² umfassendes Depozentrum (CALDER et al. 2011, 3).

Lithost	ratigraphische Ein	heiten	Chronostratigra	Referenz		
Formation	(Mächtigkeit)	Gruppe	Stufe/Alter	Serie/Epoche	(letzte Revision)	
Ragged Reef	891 m				Stephan et al. (2009)	
Springhill Mines	697 m				Rygel et al. (2014)	
Joggins	916 m; 933 m	Cumber- land*	Bash- kirium*	Pennsyl- vanium*	Davies et al. (2005); Rygel et al. (2014)	
Little River	636 m				Calder et al. (2005)	
Boss Point	1125 m				Rygel et al. (2015)	
Summe (mit Joggins 933 m)	4282 m					

Tab. 1 Formationen der Cumberland-Gruppe.

Von unten (Boss-Point-Formation) nach oben in stratigraphisch aufsteigender Folge. *: nur teilweise ausgewiesen.

Cumberland-Becke Lithostratigraphisc	n: he Einheiten	Chronostratigraphische Einheiten				
Gruppe	(Mächtigkeit)	Stufe/Alter	Serie/Epoche	System/Periode		
Pictou (ohne obersten Teil)		Gzhelium/ Kasimovium	Bonnovlyonium			
Cumberland	insgesamt 7-9 km	Moskovium/ Bashkirium	Pennsylvanium			
(Schichtlücke)				Karbon*		
Mabou		Serpukovium/	Mississippium*			
Windsor		Viseum*	mississippium			

Tab. 2 Cumberland-Becken.

Lithostratigraphische Einheiten und ihre Zuordnung zu chronostratigraphischen Einheiten des Karbon (nach der internationalen chronostratigraphischen Tabelle); Aufstellung nach ALLEN et al. (2013). Die mutmaßliche Schichtlücke zwischen Mabou-Gruppe und Cumberland-Gruppe wird mit der Mississippium-Pennsylvanium-Unkonformität korreliert. Der oberste Teil der Pictou-Gruppe wird dem untersten Teil des Perm zugerechnet. *: nur teilweise ausgewiesen.

Die über 900 m mächtige Joggins-Formation (nach DAVIES et al. 2005, Ausbiss Abb. 2) setzt sich aus Tonsteinen, Siltsteinen und Sandsteinen (Siliciklastika) sowie untergeordnet Kalksteinen und Kohlen zusammen. Das Fossilinventar umfasst – neben den verschütteten aufrechten Baumstämmen – Pflanzenreste, Reptilien, Muscheln, Ostrakoden, Gastropoden und Foraminiferen sowie Tetrapoden-Spuren und andere Spurenfossilien. Diese Arbeit fokussiert auf die kohleführenden Ablagerungen der Joggins-Formation.



Abb. 2 Reichweite (Ausbiss) der Joggins-Formation entlang der Kliffküste. Gliederung der Sedimentgesteinsfolge nach DAVIES et al. (2005). Bild: Google Earth Pro, Aufnahme vom 17. 9. 2011; Eintragungen durch die Verfasser.

2.2 Stellenwert

WALDRON & RYGEL (2005) schreiben, dass "Joggins" von Charles LYELL 1842 bejubelt worden sei, "als das wunderbarste Phänomen vielleicht, dass ich jemals gesehen habe" (LYELL 1881, 64f). Auch werde "Joggins" genannt in seinen *Principles of Geology* (Ausgabe 1872) und in Charles DARWINS *On the Origin of Species* (Erstausgabe 1859). Dieses bemerkenswerte Profil – so stellen WALDRON & RYGEL (2005) fest – habe "die junge Wissenschaft der Geologie tiefgreifend beeinflusst; es dient(e) als Prüffeld für die Prinzipien des Uniformitarismus, der in situ pflanzlichen Herkunft von Kohle und der Unvollständigkeit der fossilen Überlieferung."^{5,6,7}



Abb. 3 Joggins Fossil Cliffs, Website (Ausschnitt).

Präsentation des UNESCO-Welterbestatus (Eintragung in die Liste 2008). Abbildung: Screenshot (Ausschnitt) der Seite https://jogginsfossilcliffs.net/unesco/ (Zugriff April 2021); Betreiber ist das *Joggins Fossil Institute*.

Die Fossilkliffe von Joggins sind 2008 auf Antrag der kanadischen Provinz Nova Scotia in die UNESCO-Welterbeliste aufgenommen worden (Abb. 3). Im Antrag wird als herausragender, universaler Wert der Stätte angeführt: "Die großartig aufgeschlossene Folge von Sedimentschichten bewahrt die Fossilien *in situ* und bietet einen Umweltkontext, der weltweit einzigartig ist. Die fossile Überlieferung umfasst die beiden bestimmenden, ikonischen Elemente des "Kohlezeitalters": fossile Wälder der "Kohlesümpfe" und die ersten Reptilien, die als früheste Amnioten die ältesten bekannten Vertreter von Reptilien, Vögeln und Säugetieren sind" (Joggins Fossil Institute 2007, vi).^{8,9}

⁵ "This remarkable section, proposed as a UNESCO World Heritage Site (Falcon-Lang and Calder, 2004), profoundly influenced the young science of geology by serving as a proving ground for the principles of uniformitarianism, in situ botanical origin of coal, and incompleteness of the fossil record" (WALDRON & RYGEL 2005, 337).

⁶ Zum "Uniformitarismus" s. Glossar.

⁷ Zur "Unvollständigkeit der fossilen Überlieferung" s. DARWIN (1859) und KOTULLA (2020b, Blatt 2-22).

⁸ Im Welterbe-Dokument unter Kriterium (viii) – Erdgeschichte, geologische und geomorphologische Merkmale und Prozesse – heißt es dann: "The 'grand exposure' of rocks at Joggins Fossil Cliffs contains the best and most complete known fossil record of terrestrial life in the iconic "Coal Age": the Pennsylvanian (or Carboniferous) period in Earth's history. The site bears witness to the first reptiles in Earth history, which are the earliest representatives of the amniotes, a group of animals that includes reptiles, dinosaurs, birds, and mammals. Upright fossil trees are preserved at a series of levels in the cliffs together with animal, plant and trace fossils that provide environmental context and enable a complete reconstruction to be made of the extensive fossil forests that dominated land at this time, and are now the source of most of the world's coal deposits. The property has played a vital role in the development of seminal geological and evolutionary principles, including through the work of Sir Charles Lyell and Charles Darwin, for which the site has been referred to as the 'coal age Galápagos'." Siehe http://whc.unesco.org/en/list/1285/

⁹ Kürzlich ist in der "Geologischen Rundschau" auf die Kliffe von Joggins aufmerksam gemacht worden; für DULLO & DEVEY (2016, 581) sind sie "die spektakulärste Sicht in die oberkarbonische Zeit".

3 Kurzer historischer Abriss der Erforschungsgeschichte (1820–1860)

Der kurze historische Abriss zur Erforschungsgeschichte der karbonischen Kohleablagerungen behandelt die Jahre 1820–1860 und bezieht sich auf die Entstehung der euramerischen Kohlen und im Besonderen auf den Küstenaufschluss von Joggins.

- BROWN (in BROWN & SMITH 1829) überträgt die stratigraphische Gliederung für Großbritannien (nach CONEYBEARE & PHILLIPS 1822) auf die karbonischen Schichten von Nova Scotia. Er liefert auch eine kurze Beschreibung der "Kliffe der Joggen-Küste"¹⁰ und führt eine Schicht mit aufrecht stehenden Bäumen auf.¹¹
- LYELL untersucht 1842 die Sedimentfolge der Kliffe von Joggins (vgl. Abb. 10). Die aufrechten Baumstämme in unterschiedlichen Niveaus interpretiert er als Überreste einer Übereinanderfolge von Wäldern (> 10); dies leitet er von den Stigmarien ab, die in Tonen (underclays) unmittelbar unter den Kohleflözen auftreten (LYELL 1846a).¹² Dieser Zusammenhang sei bereits von LOGAN (1842) in Süd-Wales festgestellt worden.¹³ Später führt LYELL (1845, 190) diesen Punkt weiter aus: Die "underclays" seien Böden; die Stigmarien seien in situ fossilisiert worden.¹⁴

¹⁰ "A beautiful section of the strata composing this coal field, from the limestone upwards, is exhibited in the high cliffs on the Joggen shore, over an horizontal extent of three miles" (BROWN & SMITH 1829, 430).

¹¹ BROWN & SMITH (1829, 430: "A bed of sandstone in this coal field exhibits a great number of large trees (...)" (S. 430) Und: "(...); it is very remarkable that the trunks, which are invariably in a vertical position, do not extend into the superincumbent stratum of shale, but appear as if broken off as soon as they come in contact with it. Under these circumstances the most reasonable inferences are, that the forest was inundated when the subjacent beds were in a horizontal position, that an immense stratum of sand was deposited upon them – and that the tops, or those parts of the trees above the level of the sand, were broken off or decayed before the deposition of the superincumbent bed of shale" (S. 431).

¹² "There must have been repeated sinkings of the dry land to allow of the growth of more than ten forests of fossil trees one above the other, an inference which is borne out by the independent evidence afforded by the *Stigmaria*, found in the underclays beneath coal-seams in Nova Scotia, as first noticed in South Wales by Mr. Logan" (LYELL 1846, 178). Und zum Ablagerungsenvironment heißt es (S. 178): "(...) Mr. Lyell points to what were undoubtedly terrestrial surfaces at the South Joggins, now represented by coal seams or layers of shale supporting erect trees, and yet these surfaces conform as correctly to the general planes of stratification as those of any other strata."

¹³ "When it is considered, that over so considerable an area as the coal field of South Wales, not a seam has been discovered without an underclay, abounding in Stigmaria, Mr. Logan says, it is impossible to avoid the inference, that there is some essential and necessary connexion between the existence of the Stigmaria and the production of the coal. To account for their unfailing combination by drift, seems to him unsatisfactory; but whatever may be the mutual dependence of the phenomena, he is of opinion, that it affords reasonable grounds to suppose, that the *Stigmaria ficoides* is the plant to which may be mainly ascribed the vast stores of fossil fuel" (LOGAN 1842, 276). – BUCKLAND (1842, 487ff) greift die Arbeit von LOGAN (1842) 1841 unter "Origin of Coal" erneut auf; er beginnt: "In the early part of last year some very interesting papers came before us tending to throw light on the obscure and difficult question of the formation of coal."

¹⁴ "The evidence of the growth of more than ten forests of fossil trees superimposed one upon the other prepares us to admit more willingly the opinion, that the Stigmaria with its root-like processes was really the root of a terrestrial plant fossilized *in situ*. Yet, if we embrace this opinion, it follows that all the innumerable underclays with Stigmaria in North America and Europe, which I have alluded to at pp. 62. and 84. Vol. I., and p. 18. Vol. II., &c., are indications of an equal number of soils, whether of dry land or freshwater marshes, which supported a growth of timber, and were then submerged. If this be true, and the conclusion seems

- 1843 beschreibt LOGAN die Sedimentfolge anhand einer Schicht-für-Schicht-Profilaufnahme (LOGAN 1945).
- MURCHISON et al. (1845) nehmen f
 ür die Akkumulation des Pflanzenmaterials im Donez-Becken (S
 üdost-Europa) haupts
 ächlich allochthone Konditionen (Transport und Ablagerung) an.¹⁵
- 1846 gewinnt GOEPPERT (1948) die ausgeschriebene Preisfrage¹⁶, ob die "Steinkohlenlager" autochthon oder allochthon entstanden seien. Sein Ergebnis: Die Pflanzen seien – insbesondere mit Bezug auf die schlesischen Kohlen – an Ort und Stelle gewachsen; die mächtigeren Kohlenflöze seien "gleich den Torfmooren oder Torflageren allmählig entstanden"¹⁷. Seine Resultate findet er durch die "Untersuchungen" von LYELL (1946b) an nordamerikanischen Kohlenlagern bestätigt.¹⁸
- DARWIN (1846¹⁹, 1847²⁰) argumentiert geologisch u. a. wegen der großen Flächenausdehnung der Kohlenfelder – für einen submarinen und nicht für einen aquatischen/terrestrischen Lebensraum der (Kohle-) Pflanzen. Er nimmt Wassertiefen von 5 bis 100 Faden²¹ an.²² Später revidiert er diese Ansicht (BARLOW 1958).²³

¹⁵ MURCHISON et al. (1845, 113-114): "In regard to the theory of the origin of coal, which has of late attracted so much attention of English geologists (...). (...) We may, however, express our belief, that here as elsewhere some of the coal which is found in the strata alternating with marine deposits, may have resulted from the washing away and the entombing at short distances from their original site, of the low jungle edges of tropical islands; in other words, by the sinking into the adjacent sea of floating masses of matted earth and plants."

²³ "He [J. D. Hooker; MK] once sent me an almost savage letter from a cause which will appear ludicrously small to an outsider, viz. because I maintained for a time the silly notion that our coal-plants had lived in shallow water in the sea" (BARLOW 1958, 105).

inevitable, the phenomenon of the upright trees in Nova Scotia, marvellous as it may be, shrinks into insignificance by comparison" (LYELL 1845, 190f).

¹⁶ Die Ausschreibung erfolgte durch die *Holländische Gesellschaft der Wissenschaften* (Haarlem); die Prämie betrug 150 Gulden.

¹⁷ "Indem die Resultate dieser Untersuchung sich also auch an die von Elie de Beaumont gelieferte anschliessen, erkläre ich mich auch für seine (...) ausgesprochene Meinung, dass, da nun alle Erfahrungen gegen einen aus weiter Ferne Herbeischwemmen der in den Kohlenflötze begrabenen Vegetabilien sprechen, wenn auch nicht alle doch sehr viele, namentlich die mächtigeren Kohlenflötze, gleich den Torfmooren oder Torflageren allmählig entstanden seien (...)" (GOEPPERT 1948, 143).

¹⁸ "Hr. Lyell, der mit mir fast gleichzeitig ähnliche Untersuchungen in den so überaus reichen nordamerikanischen Kohlenlagern anstellte, welche in die zweite Categorie der obengenannten Kohlenbildungen gehören, gelangte zu ganz gleichen Resultaten, die ich mir hier erlaube als eine wichtige Bestätigung meiner eigenen Bestrebungen folgen zu lassen" (GOEPPERT 1948, ii).

¹⁹ Brief von C. DARWIN an J. D. HOOKER vom 19. Mai 1846: "From simple Geological reasoning, I have for some time been led to suspect, that the great (& great & difficult it is) problem of the Coal would be solved on the theory of the upright plants having been aquatic—But even on such, I presume improbable notion, there are, as it strikes me, immense difficulties; & none greater than the width of the coal-fields. On what kind of coast or land could the plants have lived? It is a grand problem, & I trust you will grapple with it: I shall like much to have some discussion with you. When will you come here again?"

²⁰ Brief von C. DARWIN an J. D. HOOKER vom 1. Mai 1847: "The Geological reasoning appears to me quite sound, except touching the old shallow seas. I am delighted to hear that Brongiart thought Sigillaria aquatic & that Binney considers coal a sort of submarine peat. I wd. bet 5 to 1 that in 20 years this will be generally admitted; and I do not care for whatever the Botanical difficulties or impossibilities may be. If I could but persuade myself that Sigillaria & Co. had a good range of depth, ie cd live from 5 to 100 fathoms under water, all difficulties of nearly all kinds would be removed."

²¹ 1 nautischer Faden entspricht ca. 1,8 m.

²² FALCON-LANG (2006, 382) bezeichnet diese Idee bzw. Vorstellung als "Hypothese der submarinen Kohlenentstehung" ("submarine coal hypothesis").



Abb. 4 Küste von Joggins bei Hochwasser, 1853.

Die Bildunterschrift, 2. Zeile, lautet: "Aufrechter Baum & Fragmente von Lepidodendron & Stigmarie im Vordergrund." Die Position des Betrachters wird nicht genannt. Bei dem Kliffvorsprung im Vordergrund muss es sich um Dennis Point (vgl. Abb. 16 und Abb. 17 sowie Abb. 79) und bei dem Kliffvorsprung im Hintergrund (links) um Coal Mine Point handeln. Beachte die Anlegestelle; bereits 1854 ist bei dem Joggins-Kohlenflöz ein beachtlicher Kohleverlade-Anleger fertiggestellt worden. Wiedergabe der Abbildung auf Seite 121 aus DAWSON (1855).

- 1852 entdecken DAWSON²⁴ und LYELL im Joggins-Küstenaufschluss Überreste eines Tetrapoden (*Dendrerpeton*) sowie einer mutmaßlichen Landschnecke (*Dendropupa*) in einem Hohlstamm (Steinkern) eines aufrechten Lycopsiden-Baumes (LYELL & DAWSON 1853).
 Später macht DAWSON (1859, 1861, 1863, 1865, 1868) weitere solche Funde.
- DAWSON (1854, 1855) publiziert umfassende Arbeiten über die kohleführende Schichtfolge, die auch das 1852 mit LYELL aufgenommene Profil enthalten.²⁵
- DARWIN (1859, 1860) zufolge "liefert uns eine Anzahl großer fossilisierter und noch auf ihrem natürlichen Boden aufrecht stehender Bäume den klaren Beweis von mehreren langen Pausen und wiederholten Höhenwechseln während des Ablagerungsprozesses (...)".²⁶

²⁴ Sir William DAWSON (1820–1899) war einer der einflussreichsten Geologen Kanadas im 19. Jahrhundert. FAL-CON-LANG & CALDER (2005, 103) bemerken, dass DAWSON ein lebenslanger Gegner des Konzepts der Evolution war; das führte dazu, dass er von der wissenschaftlichen Gemeinschaft beiseitegeschoben wurde ("being sidelined").

²⁵ DAWSON (1854, 1f) in seiner Einleitung: "The coast-section of the South Joggins is already well known to geologists as one of the finest exposures of a continuous and conformable series of carboniferous rocks, and as being especially remarkable for the number of trees and other plants preserved in situ in an erect position (...)."

²⁶ Das Zitat in Fortsetzung (nach heutiger Schreibweise): "(...), wie man sie außerdem nie hätte vermuten können. So fanden LYELL und DAWSON in einem 1400' [Fuß, MK] mächtigen Kohlengebirge Neuschottlands noch

Mit unterschiedlicher Intensität hat das Interesse an dem Küstenaufschluss von Joggins bis heute angehalten und fand einen neuen Höhepunkt mit der Aufnahme in die UNESCO-Welterbeliste (Abschnitt 2.2). Abb. 5 zeigt Teilnehmer einer geologischen Exkursion 1913.



Abb. 5 Teilnehmer einer geologischen Exkursion 1913.

Die Exkursion fand im Rahmen des 12. Internationalen Geologischen Kongresses (Toronto) statt. Nahe "Fundy Coal Seam" (s. auch Abb. 7). Foto: http://www.science.gc.ca/eic/site/063.nsf/eng/97173.html (public domain).

4 Joggins-Formation

4.1 Lithologie und Fossilelemente

Die Fossilkliffe im Sinne des Naturerbes umfassen einen knapp 15 km langen Küstenabschnitt von Downing Head im Norden bis zum Ragged Reef Point im Süden (Abb. 1), stratigraphisch die komplette Abfolge von der Boss-Point-Formation bis zur Springhill-Mines-Formation (Tab. 1) sowie Teile der angrenzenden Einheiten (vgl. RYGEL et al. 2014, ihre Fig. 1). Der etwa 2,8 km lange Abschnitt der Joggins-Formation reicht von südlich Lower Cove bis etwa 500 m südlich des Joggins Fossil Centre Museum (Abb. 2). Die Kliffe sind meistens um 20 m hoch; den Kliffen ist eine etwa 500 m breite Brandungsplattform vorgelagert (Strand), die bei Niedrigwasser vollkommen freiliegt.

DAVIES et al. (2005) definieren die 915,5 m²⁷ mächtige Joggins-Formation²⁸ wie folgt: Die Basis wird von dem untersten (ersten) Kohlenflöz gebildet ("Flöz 45" nach LOGAN 1845), der

alle von Baumwurzeln durchzogenen Bodenschichten, eine über der andern in nicht weniger als 68 verschiedenen Höhen" (DARWIN 1860, 303; Origin of Species in deutscher Übersetzung).

²⁷ Die Mächtigkeitsangabe von 915,5 m wird mitunter abgerundet (915 m) oder aufgerundet (916 m) wiedergegeben.

²⁸ Typusprofil/-lokalität: Kliffküste von Joggins.

Top von der obersten (letzten) Kalksteinbank²⁹.³⁰ Das Profil in Abb. 6. zeigt die Sedimentgesteinsfolge für den Abschnitt von Profilmeter 550 bis 650; es umfasst hauptsächlich den Teil nördlich Coal Mine Point. In diesem Abschnitt sind im Wesentlichen alle Gesteine vertreten, die die Joggins-Formation aufbauen und nachfolgend beschrieben werden.

Siliciklastika

Die Siliciklastika umfassen die Ton-, Silt- und Sandsteine. Häufig werden die Korngrößen Ton und Silt (Tonstein und Siltstein) in englischen Publikationen unter "mud" (Schlamm) bzw. "mudrock" (wörtlich "Schlammstein") zusammengefasst (vgl. Abb. 6); hier wird deshalb die Wortkombination Ton/Silt bzw. Ton-/Siltstein verwendet.

- Ton-/Siltsteine (nach DAWSON 1854): Grau, mattrot oder braun bis braunrot, mitunter bituminös oder kalkig, mehr oder weniger laminiert.
- Sandsteine (nach DAWSON 1854): Grau bis blaugrau und beige bis gelbbraun (niemals rot), teils tonig, teils kalkig, mit Schrägschichtung, undulierende Schichtoberflächen, punktuell laminiert oder mit Rippelmarken, vereinzelt Reptil-Fußspuren, schnelle Wechsel der Mächtigkeit, maximal bis 7,5 m dick (Coal Mine Point).

Nach DAVIES et al. (2005) reicht das Korngrößenspektrum von Ton über Silt bis zu Feinsand und Mittelsand. Kies tritt mitunter in den vereinzelten Rinnenkörpern auf (Abb. 6).

Beispielhaft werden Beschreibungen aus dem Profilabschnitt "Forty-Brine-Kohlenflöz" angeführt (nach CALDER et al. 1998, 62ff, Profilmeter 538–585; teilweise verkürzt und zusammengefasst).

- Tonsteine: wenige Zentimeter bis 3,7 m mächtig; grau, fein-laminiert und plattig absondernd; basale Kontakte graduell, wenn Muschelkohle (s. u.), Silt- oder Sandstein überlagert wird; basale Kontakte scharf, wenn Kalkstein überlagert wird; obere Kontakte meist graduell; Tonsteine mit Sideritknollen und -bändern führen eine gleichartige Faunenvergesellschaftung wie die Muschelkohlen (und keine Pflanzen-Makrofossilien).
- Siltsteine: wenige Zentimeter bis 3,4 m mächtig; grau, fein-laminiert; häufig kleinskalige Rippel-Schrägschichtung; keine Pflanzen-Makrofossilien; basale Kontakte graduell, wenn Sandstein überlagert wird; basale Kontakte scharf, wenn Kalkstein überlagert wird; obere Kontakte graduell.

²⁹ Dieser 38 cm mächtige Kalkstein liegt unmittelbar einem 26 cm dicken Flöz auf ("Flöz 1"? nach LOGAN 1845); siehe hierzu Fig. 5 in RYGEL et al. (2014).

³⁰ Zum Ausweis einer Joggins-Formation: BELL (1914) wies erstmals eine "Joggins-Formation" aus; er rechnete ihr LOGANS Divisionen 5–3 und ein Teil von Division 2 zu (insgesamt 2099 m). Nach mehreren Neu- bzw. Umbenennungen führten RYAN et al. (1991) den Namen "Joggins-Formation" wieder ein, nun LOGANS Divisionen 5–4 und ein Teil von Division 3 (51 m) umfassend (insgesamt 1433 m nach DAVIES et al. 2005, ihre Fig. 4). Nach der Neuaufnahme und Neuvermessung weisen WALDRON & RYGEL (2005, 337) insgesamt eine 1522 m mächtige "Joggins-Formation" aus (",klassische' Joggins-Profil"), die aus einem unteren Teil aus hauptsächlich Rotschichten (636 m; im Wesentlichen LOGANS Division 5) und einem oberen Teil aus "Feuchtgebietsablagerungen" mit 76 Kohlenflözen (916 m; im Wesentlichen LOGANS Division 4) besteht. Schließlich werden der untere Teil als Little-River-Formation und der obere Teil als Joggins-Formation (CALDER et al. 2005, DAVIES et al. 2005) formal neu bzw. redefiniert.



Abb. 6 Joggins-Profil (Ausschnitt).

Die Grafik umfasst die Abfolge von Profilmeter 550 bis 650, also etwa 85 Profilmeter unterhalb Coal Mine Point. Legende: mud, sand, gravel: "Schlamm", Sand, Kies; coal: Kohle; sandstone: Sandstein; light grey, green, dark grey, red mudrock: hellgrauer, grüner, dunkelgrauer, roter "Schlammstein" (Ton-/Siltstein); CS, carbonaceous shale: kohliger Schieferton (Brandschiefer); LS, limestone: Kalkstein; OR, organic-rich: organikreich; intraformational conglomerate: intraformationales Konglomerat; channel body: Rinnenkörper. Logan 16 etc. bezieht sich auf die Flöznummerierung von LOGAN (1845). Abbildung: Wiedergabe der Fig. 10 aus KELLY & WACH (2020) in *Canadian Journal of Earth Sciences* (CC BY 4.0), jedoch ohne Darstellung der Gamma-Ray-Messdaten.

- Tafelförmige Sandsteinkörper: 0,1–2,0 m dick; grau; sehr fein bis mittelkörnig; Schrägschichtung und planare Lamination; erosiver basaler Kontakt.
- "Nicht-tafelförmige" Sandsteinkörper (zwei): 1,9 m (unterer) und [bis?; MK] etwa 20 m dick (oberer; s. Abb. 6, Profilmeter 572–581). Unterer: grauer, mittelkörniger, schräggeschichteter Sandstein; dickbankig mit zwischengeschalteten dünnen Lagen; basaler erosiver Kontakt, teilweise "wannenartig"; mit Pflanzenwurzeln, Pyritknollen sowie

Sideritknollen und -bändern; im Basalbereich ein Stammsegment eines "in situ, aufrechten Lycopsiden" (55 cm hoch, 37 cm breit) mit Stigmarien-Fortsätzen an der Basis des Baumes. Oberer: mittel- bis grobkörniger Sandstein, nach oben verfeinernd, in Siltstein und Tonstein übergehend; basaler erosiver Kontakt, teilweise "wannenartig"; an der Basis stellenweise Tonklasten und größere Pflanzenfragmente (*Calamites sp., Sigillaria sp., Cordaites sp.*). – Die Sandsteinkörper werden als terrestrische Rinnenablagerungen interpretiert, der obere Körper als eine Generationenfolge von Rinnenablagerungen (multistored channel); vgl. auch Abb. 6 (channel bodies).

Kohlen

DAVIES et al. (2005) identifizieren 75 Kohlenflöze (ihre Fig. 7).³¹ Die Flöze sind typischerweise dünn (55 \leq 10 cm); von den restlichen 19 Flözen (> 10 cm) erreichen nur zwei eine Dicke von \geq 1 m ("Logan 29", ca. 1,5 m, Profilmeter 428/429, und Joggins-Flöz bzw. "Logan 7", ca. 1 m?, Profilmeter 806). Nach WALDRON & RYGEL (2005, 337) sind die Flöze 0,05 bis 1,5 m dick, typischerweise < 0,1 m. LOGAN (1845) hatte für diesen Teil (seine Division 4) 45 Flöze bzw. Flözgruppen³² und insgesamt (seine Divisionen 6–3) 76 Flöze bzw. Flözgruppen ausgewiesen, DAWSON (1854) für die Divisionen 4 und 3 (unterer Teil) insgesamt 54 Flöze (Tab. 3).

Die etwas mächtigeren Kohlenflöze werden von klastischen Einschaltungen (partings, Bergemittel) unterbrochen; so beispielsweise das Forty-Brine-Kohlenflöz (gesamt 89 cm, drei 1– 3 cm dicke Einschaltungen; CALDER et al. 1998, 64) oder das Fundy-Kohlenflöz (gesamt 85 cm, drei Einschaltungen kohliger Schiefertone; DAVIES et al. 2005, 137) (Abb. 7).

Die kumulative Mächtigkeit der Kohlenflöze ist verhältnismäßig gering; sie beträgt etwa 1,6 % der Gesamtmächtigkeit (aufgerundet 15 m zu 915 m; vgl. Tab. 3).

Lithologische/ -stratigraphische Einheiten	Mächtig- keit	Kohlen- flöze	Kohlenflöze: kumulative Mächtigkeit	"Wurzel- böden"	Kohlenflöze über "Wurzel- böden"	aufrechte Ly- copsiden	Formation (nach Davies et al. 2005)
<u>Logan (1845)</u>							
Division 3	650 m	22	1,7 m	24	22	1	Springhill Mines
Division 4	774 m	45	11,5 m	56	44	15	Joggins
Division 5	635 m	0		0	0	0	Little River
Division 6		9		10	9	1	Boss Point
Summe		76		90	75	17	
<u>Dawson (1854)</u>							
Division 4 u. 3 (un- terer Teil)	860 m	54		min. 40	min. 33	max. 22	
Davies et al. (2005)							
Joggins-Formation (± Division 4)	916 m	75	10-11 m	k.A.	k.A.	63	

Tab. 3 Profilaufnahmen der kohleführenden Sedimentfolge, Joggins.

Zu Dawson (1854): Die Anzahl der "Wurzelböden" ist unklar. Neben "underclay" werden zahlreiche weitere Schichtglieder genannt (Kalksteine, Sandsteine und Tonschiefer), die Stigmarien-"Würzelchen" (rootlets) führen. Auch ist die Anzahl der aufrechten Lycopsiden-Stämme unklar, da häufig nur unspezifisch "erect tree" aufgeführt wird. Zu DAVIES et al. (2005), Spalte "Wurzelböden": Es werden aber Positionen mit "Wurzelkompression" (root compression) ausgewiesen, siehe Textteil.

³¹ WALDRON & RYGEL (2005) geben in Summe 76 Kohlenflöze an (s. Fußnote 30).

³² LOGAN (1845) hat teilweise dicht übereinander liegende Flöze zu einer Flözgruppe zusammengefasst.



Abb. 7 Fundy-Kohlenflöz, Joggins-Formation.

Ausbiss an der Basis des Kliffs; aus dem eingestürzten Kohlestollen treten saure Grubenwasser aus. Nach der Profilaufnahme von DAVIES et al. (2005) handelt es sich um die Position bei Profilmeter 420 (zwischen "Flöz 30" und "Flöz 29" nach LOGAN 1845): Die Mächtigkeit des Flözes beträgt insgesamt 85 cm (weißer Pfeil); es sind drei Horizonte kohliger Schiefertone (Brandschiefer) zwischengeschaltet. Die hangenden Gesteine (hauptsächlich Tonsteine) sind weitestgehend überdeckt, das unmittelbar Liegende besteht aus einer Wechselfolge von Sandsteinen und Ton-/Siltsteinen. Foto: Michael C. RYGEL (Wikimedia Commons CC BY-SA 3.0), 2009; Eintragungen durch die Verfasser.

Kalksteine

DAVIES et al. (2005) identifizieren 24 Kalkstein-Einschaltungen (ihre Fig. 7). Auffallend ist, dass zahlreiche Kalksteine unmittelbar von *dünnen* Kohlenflözen unterlagert werden³³ (vgl. Abb. 6, Profilmeter 555); selten aber wird ein *dickeres* Kohlenflöz unmittelbar von Kalkstein überlagert (S. 127).³⁴ Kalkstein-Einschaltungen, die sich in Verbindung mit abgebauten Kohlenflözen verfolgen lassen, sind über eine Erstreckung von bis zu 40 km nachweisbar; sie werden als beckenweite Überflutungsereignisse interpretiert (S. 120, mit Verweis auf CALDER 1994).³⁵

GREY et al. (2011) klassifizieren die etwa 15–100 cm dicken Kalksteine als Wacke- und Packstones; demnach handelt es sich also um Schuttkalke. Die biogenen Komponenten bestehen hauptsächlich aus Ostrakoden und Muschelfragmenten, daneben sind Bruchstücke von Echinodermen und Brachiopoden vertreten. Die Bankunter- und -oberseiten sind in der Regel scharf begrenzt; vereinzelt sind Wellenrippeln ausgebildet. Die Schichtung reicht von unebenflaserig bis fein parallel-lamelliert; mitunter ist das Sediment intensiv verwühlt worden

³³ Siehe z. B. Abb. 6A in GREY et al. (2011).

³⁴ "There are 24 bituminous limestones, 17 of which are immediately connected with seams of coal" (DAWSON 1854, 30) mit Bezug auf die Profilaufnahme von LOGAN (1845).

³⁵ So beispielweise auch SKILLITER in CALDER et al. (1998, 64): "The Forty Brine coal seam is one of several coal beds of the Joggins Formation overlain by a limestone/'clam coal' roof sequence (Fig. 23). These three units together form a basin-wide marker traceable 40 km inland in mine workings and drill core profiles."

(Bioturbation). Insgesamt interpretieren GREY et al. (2011) die Kalkstein-Einschaltungen als marin oder marin beeinflusst.³⁶ Die Lokalität Joggins müsse, so die Autoren, – vor allem zum Zeitpunkt der Ablagerung der unteren Einheiten – näher am offenen Ozean gelegen haben als bislang vermutet.³⁷

Clam Coal

Clam Coal (Muschelkohle) ist eine lokale Bezeichnung für einen bituminösen schwarzen Schieferton. Die Abfolge Kohle – Kalkstein – Muschelkohle tritt in der Joggins-Formation wiederholt auf. CALDER et al. (1998, 67) beschreiben die Sedimentgesteinsfolge im Abschnitt des Forty-Brine-Kohlenflözes: Dort bildet der schwarze, 14 cm mächtige und lateral aushaltende Schieferton die obere "Deck-Einheit" des Forty-Brine-Kohlenflözes ("Kohle 20" nach LOGAN 1845) und ist mit der unteren Kalkstein-"Deck-Einheit" verzahnt. Nach oben hin geht die Muschelkohle graduell in einen grauen Tonstein über.

Der schwarze Schieferton (vgl. Abb. 75 und Abb. 76) enthält zahlreiche disartikulierte Muschelschalen (*Naiadites carbonarius, Naiadites longus, Curvirimula sp.*); Muscheln in Lebendstellung sind bislang nicht beobachtet worden. Des Weiteren kommen Brachiopodenschalen und -stacheln, Ostrakoden, Foraminiferen, Fischschuppen und Fischknochen, Haifischzähne, polychaete Würmer (*Spirorbis carbonarius*), Krebse (*Pygocephalus dubius*), Koprolithen sowie Knochen kleiner Vertebraten (Amphibien und Reptilien) vor. Insgesamt entspricht die Fossilvergesellschaftung im Wesentlichen der des Kalksteins (CALDER et al. 1998, 67).

"Wurzelböden" (Underclays)

LOGAN (1845) führt insgesamt 90 Stigmarien-Underclays auf (Tab. 3). Alle Kohlenflöze (hier 76) – mit Ausnahme eines einzigen – lägen auf Stigmarien-Underclays; die restlichen 15 Stigmarien-Underclays seien ohne Kohlenflöze. Nach DAWSON (1854) werden nahezu die Hälfte der Underclays³⁸ nicht von Kohlen (hier insgesamt 54 Flöze) überlagert. 16 Underclays, die mehr oder weniger tonreich seien, hätten Mächtigkeiten > 61 cm und 18 Underclays, die Sandsteinen, Kohlen oder bituminösen Kalksteinen auflägen, hätten Mächtigkeiten < 61 cm (die Gesamtzahl der Underclays ist unklar, s. Tab. 3).

DAVIES et al. (2005, Appendix A) weisen in ihrer grafischen Profilbeschreibung als eine Flora-Komponente ca. 220 Mal "Wurzelkompression" (root compression) aus³⁹; wahrscheinlich sind zusammengepresste Stigmarien-"Wurzeln" gemeint. Unklar ist, ob es sich um punktuelle oder

³⁶ "Sedimentologic and paleontologic data from inter-bedded limestone beds indicate open marine conditions in the oldest part of the section, with a waning marine influence up section" (GREY et al. 2011, 256).

³⁷ "These results indicate that Joggins was, at least in the oldest portion of the formation, closer to the open ocean than previously surmised" (GREY et al. 2011, 256).

³⁸ DAWSON (1855, 144) definiert Underclay wie folgt: "An underclay is technically the bed of clay which underlies a coal seam; but it has now become a general term for a fossil soil, or a bed which once formed a terrestrial surface, and supported trees and other plants; because we generally find these coal underclays, like the subsoils of many modern peat-bogs, to contain roots and trunks of trees which aided in the accumulation of the vegetable matter of the coal." – Es handelt sich also nicht mehr um einen beschreibenden, sondern um einen interpretativen Begriff.

³⁹ Dies betrifft auch fast genauso viele Horizonte.

Horizont-beständige Vorkommen von Stigmarien-"Wurzeln" handelt. Underclays – wie bei Lo-GAN (1845) oder DAWSON (1854) – werden nicht explizit aufgeführt. Sind bei DAVIES et al. (2005) Stigmarien-"Wurzeln" führende Horizonte gemeint, so decken sich ihre Beobachtungen nicht mit denen von LOGAN (1845): Demnach liegen nach ihrer Aufstellung nur 20 der 75 Flöze einem Stigmarien-"Wurzeln" führenden Horizont auf, bei LOGAN sind es quasi alle (s. o.).

Die Underclays werden von LOGAN (1845) und DAWSON (1854) als Wurzelböden betrachtet.





Wiedergabe der Fig. 8 aus LOGAN (1845). LOGAN (1845, 141) schreibt zu dem etwa 4,5 m mächtigen Underclay (grüner Pfeil): "In these 15 feet of underclay there is a beautiful exhibition of stigmariae. They are not very abundant, that is to say, in such profuse confusion as usual, but each plant is very distinct. One branch floats along just beneath the surface of the 2 feet bed mentioned, and 24 feet of its length are finely exposed without interruption. The leaves radiate from it distinctly, and individual leaves can be followed down 5 feet, crossing both the hard and the soft parts of the deposit continuously, and others can be traced 2 feet upwards. Where the branch enters a projecting part of the bed, its measurement is 2 inches vertically by 3 inches horizontally, and where the other extremity is lost beneath the branch issues from the stem, if it has one." – Stigmarien-(hellblaue Pfeile) und Appendices-Vorkommen dieses Ausmaßes sind danach nicht mehr beschrieben oder fotografisch dokumentiert worden. Eintragungen in Farbe durch die Verfasser.

Aufrecht stehende Lycopsiden-Bäume

DAVIES et al. (2005, Appendix A) identifizieren 63 Positionen⁴⁰ ("Horizonte") mit aufrechten "in situ" Lycopsiden-Stämmen. WALDRON & RYGEL (2005) führen die gleiche Anzahl auf.⁴¹ Sie

⁴⁰ Zählung durch die Verfasser.

⁴¹ CALDER et al. (1998, 61) führen für die Joggins-Formation und den unteren Teil der Springhill-Mines-Formation 49 Horizonte mit aufrechten Bäumen an: "This section contains 49 recorded horizons containing erect trees (Fig. 20), and new finds are constantly being made as the cliffs recede and the thin sediment cover on the wave cut-platform shifts."

schreiben von 63 "bewaldeten Horizonten" mit "stehenden, 5–6 m hohen Lycopsiden";⁴² FAL-CON-LANG et al. (2006, 567) zufolge sind die Lycopsiden-Stämme aber typischerweise bis 2 m hoch⁴³ (vgl. Abb. 9 und Bilddokumentation im Anhang).

Die große Mehrzahl der aufrechten Lycopsiden-Stämme (59) tritt in reinen klastischen Abfolgen auf, ohne einen Bezug zu einem Kohlenflöz; nur 4 "liegen" unmittelbar einem Kohlenflöz auf (anders die Darstellung von LYELL 1845; Abb. 10, dort unter "Fig. 21)". Die Baumstämme werden umgeben entweder nur von Ton-/Silt- oder Sandsteinen oder von "aufgestapelten Paketen heterolithischer Schichten", d. h. einer Wechselfolge siliciklastischen Materials verschiedener Korngrößen. Die Verfüllung der ehemaligen Hohlbäume besteht ebenfalls aus Ton-/Silt oder Sand; teilweise ist das Material schräggeschichtet. Häufig hat die Verfüllung eine andere Sedimentfolge (andere Korngrößen oder unterschiedliche Positionen der Korngrößenwechsel) als das umgebende, einschließende Sediment (vgl. Abb. 10, dort unter "Fig. 19", oder Abb. 23).



Abb. 9 Lycopsiden-Stamm mit anhangenden Stigmarien.

In aufrechter (Wachstums-) Position; Steinkernerhaltung. Joggins-Formation (Pennsylvanium-Subsystem), Cumberland-Becken, Nova Scotia (Kanada). Neigung der Schichten "korrigiert"; Maßstab: s. Geologenhammer. Foto: Michael C. RYGEL (Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0).

⁴² "(...) the 1552 m ,classic' Joggins section (the Joggins Formation) contains at least 76 coal seams (0.05–1.5 m thick) and 63 forested horizons with standing lycopsids 5–6 m tall" (WALDRON & RYGEL 2005, 337). – Zur Mächtigkeit s. Fußnote 30.

⁴³ LYELL (1881) berichtete sogar von einem 12 m hohen Lycopsiden-Stamm.

Von den Lycopsiden-Bäumen sind häufig nur Stammteile erhalten bzw. aufgeschlossen. In vielen Fällen sind keine Stigmarien-Fortsätze zu beobachten (vgl. Abb. 9 und Bilddokumentation im Anhang); möglicherweise waren zum Zeitpunkt der Einbettung die Stigmarien-Fortsätze nicht mehr vorhanden oder sogar die gesamte Basis des Lycopsiden-Baumes.







Wiedergabe der Abbildungen 18–21 (Figs. 18–21) aus LYELL (1845, 180). Zu Fig. 18: Kliff-Profil von der Ortschaft Minudie (im Norden) etwa 10-12 Meilen Richtung Süden/Südwesten. Zwischen den Positionen d und g treten die aufrechten Bäume auf. Gypsum: Gips; Coal with upright trees: Kohle mit aufrechten Bäumen; Sandstone and Shale: Sandstein und Schieferton; Red sandstone: roter Sandstein; limestone: Kalkstein; marl: Mergel; grindstone: Mühlsandstein; feet (ft): Fuß (30,48 cm); Modiola: Malvengewächs. Zu Fig. 19: Profil der Sedimente, die den ersten aufrechten Baum füllen und umschließen (Fig. 18, Position d); die Sedimentgesteine – Ton-, Silt- und Sandsteine – sind zwar identisch, die Abfolge, Anzahl der Lagen (9 versus 3) und jeweiligen Mächtigkeiten aber unterschiedlich. Der Durchmesser des Baumes – Abstand a zu b – beträgt etwa 35 cm; f: Knollen von Eisenstein Zu Fig. 20: Einzelfund einer Stigmarie (etwa 10 cm im Durchmesser), die schräg in einem 60 cm mächtigen, glimmerführenden, aus mehreren Lagen bestehende Sandstein "liegt" (Fundort: Fig. 18, zwischen Position d und e); es - das "Wurzelorgan" (S. 189) - "durchquerte mehrere Schichten" (S. 186). Zu Fig. 21: Profil unterhalb der "4-Fuß-Kohle" mit drei Niveaus aufrechter Bäume. a: zweiter aufrechter Baum (Fig. 18, Position d), ohne Bezug zu einem Kohlenflöz; b: Kohlenflöz (ca. 30 cm dick); c/d: zwei aufrechte Bäume, etwa 4,2 m hoch, "die auf der Kohle standen" bzw. "der Boden der Stämme schien die darunterliegende Kohle zu berühren" (S. 184); zwischen c/d und e: etwa 3 m mächtige bituminöse Schiefertone und Tonsteine mit Stigmarien; e: Kohlenflöz (ca. 30 cm dick); f/g: zwei aufrechte Bäume, etwa 3,3 m hoch, "sie schienen auf der Kohle gewachsen zu haben" (S. 184). – Diskussion siehe Textteil.

4.2 Ablagerungsenvironment

DAVIES et al. (2005) interpretieren die Sedimentgesteine als Küsten- oder küstennahe Ablagerungen; dabei unterscheiden sie drei Faziesvergesellschaftungen (facies assemblages): a) "Offenes Wasser" ("open water"): temporäre, eingeschränkt-marine (brackische) Konditionen; durch Überflutungsereignisse repräsentiert; b) "sumpfige Überschwemmungsebene" ("poorly drained floodplain"): terrestrische Konditionen; Feuchtgebiete in deltaartigem Environment, grundwassergesättigte Sümpfe (Torf-Akkumulation), episodische Sedimentationsereignisse; c) "trockene Überschwemmungsebene" ("well drained floodplain"): terrestrische Konditionen, vorwiegend Rotschichten; saisonale Trockengebiete, die von Folgen dichter Kanäle durchquert werden.

Als moderne, ähnliche bzw. vergleichbare Ablagerungsenvironments werden von DAVIES et al. (2005) aufgeführt: Zu (b) die Feuchtgebiete des Mississippi-Deltas (COLEMAN & PRIOR 1980, TYE & COLEMAN 1989) und zu (c) das Channel Country of Australia (GIBLING et al. 1998).

Die Interpretation des Ablagerungsenvironment ist implizit durch die Vorstellung einer autochthonen Pflanzenakkumulation (bzw. Kohlenentstehung) veranlasst (s. Kapitel 5).

4.3 Zyklostratigraphie und Sequenzstratigraphie

DAVIES et al. (2005) gliedern die Sedimentgesteinsfolge der Joggins-Formation in 14 Zyklen; die Mächtigkeiten reichen von 16 bis 212 m (Ø 65 m). Der Beginn eines Zyklus wird mit dem Einsetzen von Kalksteinen, Kohlen oder fossilreichen Schiefertonen definiert. Die so definierten Zyklen⁴⁴ würden eine "tektonisch kontrollierte Architektur" anzeigen, die durch eine Vielzahl von Überflutungsflächen charakterisiert sei, wobei die jeweilige Basis bedeutende "Episoden" eines Meeresspiegelanstiegs markieren würde. Die Sedimentation habe nur phasenweise – während der Ausbildung der Feuchtgebiete – mit der "extrem raschen Subsidenz" Schritt halten können.

Demnach handelt es um eine Folge transgressiver-regressiver Zyklen, die nach der o. g. Zyklen-Definition ("typischerweise") mit einer "Open-Water"-Fazies mit limitierter mariner Fauna beginnt. Sie wird überlagert von progradierenden (vorrückenden) Küsten- und Schwemmlandablagerungen. Deutliche Hinweise auf einen Meeresspiegelabfall liegen nicht vor. Es sind keine Tiefstand-Expositionsflächen zu erkennen. Es fehlen Anhaltspunkte wie tiefgreifende Taleinschnitte oder gut entwickelte Paläoböden.

Die Zyklen werden als Sets von Parasequenzen (kleineren sedimentären Zyklen; Zyklen 4. Ordnung) kategorisiert. Sequenzgrenzen (markante Diskordanzen) liegen nicht vor, demzufolge kann auch kein Sequenz-Zyklus (Zyklus 3. Ordnung) ausgewiesen werden.

4.4 Stratigraphisches und radiometrisches Alter

Die Joggins-Formation wird auf Basis der Mikroflora palynostratigraphisch der regionalen Langsettium-Substufe (bzw. Westfalium A; Bashkirium-Stufe) zugeordnet (DAVIES et al. 2005 mit Verweis auf DOLBY 1991). UTTING et al. (2010, Co-Autor ist DOLBY) haben dies in einer neueren Arbeit "bestätigt"; allerdings schreiben sie mit Bezug auf die der Formation zugewiesenen *R.-fulva*-Sporen-Zone (*"Raistrickia fulva* Concurrent Range Zone") von einem *"wahrscheinlichen Alter"* (S. 79).

⁴⁴ Zu Zyklostratigraphie s. auch KOTULLA (2015).

Zum radiometrischen Alter der Formation liegen teilweise unterschiedliche Angaben vor (Tab. 4). Das hängt von den jeweiligen radiometrischen Alterswerten ab, mit welchen die internationale chronostratigraphische Tabelle kalibriert wird, sowie von Schätzungen zu den (durchschnittlichen) Ablagerungszeiten, die wiederum von den radiometrischen Alterswerten abgeleitet werden. Die Sedimente der Joggins-Formation sollen demnach während einer Dauer von 0,2 bis < 1,1 Millionen [radiometrischen] Jahren abgelagert worden sein; BAILEY (2011) nennt eine Dauer von "< 1 Million Jahre"⁴⁵ (s. Kapitel 6; dort werden 915.000 Jahre angesetzt).

Dee	Chrono- bzw. lithostratigraphische Ein-	Beginn	Ende	Dauer		
Pos.	heit	[Millionen radiometrische Jahre]				
	Langsettium-Substufe					
1	Menning et al. (2000)			2,0 oder 3,0		
2	Falcon-Lang et al. (2006)			ca. 1,1		
3	Grey et al. (2011)	315,5	314,4	1,1		
4	Davydov et al. (2012)	ca. 318,8	ca. 317,9	ca. 0,9		
5	Ogg & Lugowski (2013)			1,36		
6	Aretz et al. (2020)	ca. 318,8	ca. 317,9	ca. 0,9		
	Joggins-Formation					
7	Davies et al. (2005)	315,7	314,8	0,9		
8	Falcon-Lang et al. (2006)			< 1,1		
9	Grey et al. (2011)			< 1,0		
10	Bailey (2011)			< 1,0		
11	Allen et al. (2013)	315,9	315,1	0,8		
12	Rygel et al. (2014), Text; nach Pos. 5			0,4 (abgeleitet)		
13	Rygel et al. (2014), Figure 4; nach Pos. 4	318,49	318,26	0,23		

Tab. 4 Joggins-Formation: radiometrisches Alter.

Zu Pos. 6: S. 824, Fig. 23.5. Zu Pos. 12: RYGEL et al. (2014, 256f) ermitteln die Ablagerungszeit wie folgt⁴⁶: Dauer der Langsettium-Substufe: Ca. 1,36 Millionen [radiometrische] Jahre (nach OGG & LUGOWSKI 2013; Fig. 4); Zuordnung der Abfolge Little-River-Formation (Basis) bis Ragged-Reef-Formation (Top) zur Langesettium-Substufe (UT-TING et al. 2010), insgesamt 3157 m (s. Tab. 1); Annahme einer uniformen Subsidenzrate (implizit auch Ablagerungsrate), berechnet zu 2,2 mm/[radiometrisches] Jahr; Ermittlung einer Ablagerungszeit für die Springhill-Mines-Formation (697 m): \leq 0,31 Millionen [radiometrische] Jahre. In gleicher Weise ist eine Ablagerungszeit für die Joggins-Formation ermittelbar (933 m): ca. 0,40 Millionen [radiometrische] Jahre (Berechnung durch die Verfasser). Zu Pos. 13: Wie Pos. 12, allerdings mit einer Dauer der Langsettium-Substufe von ca. 0,9 Millionen [radiometrische] Jahre (nach GRADSTEIN et al. 2012 bzw. Pos. 4); ausgelesen aus Fig. 4 (RYGEL et al. 2014, 256).

Bislang sind in der Sedimentgesteinsfolge der Joggins-Formation keine vulkanischen Aschenlagen (Bentonite, Kaolin-Kohlentonsteine) entdeckt worden. Demzufolge sind keine U-Pb-Altersbestimmungen mit magmatogenen Zirkonen möglich (vgl. Kotulla 2020a). Vulkanische Aschenlagen in der euramerischen Region kommen z. B. im Donez-Becken, im oberschlesischen Becken, im westfälischen Becken oder den britischen Becken vor.

⁴⁵ "The 915m Joggins Formation coal measure section (...) probably accumulated in less than 1 Myr" (BAILEY 2011, 2).

⁴⁶ "Assuming uniform subsidence rates, a Yeadonian- Langsettian boundary that occurs at the base of the Little River Formation, and that the Langsettian lasted ~1.36 million years (Ogg and Lugowski 2013; Fig. 4), the 697 m thick coastal exposure of the Springhill Mines Formation would have been deposited in ≤0.31 million years (a subsidence rate of 2.2 mm/yr)" (RYGEL et al. 2014, 257).

5 Zur Akkumulation des Pflanzenmaterials

5.1 Schlüsselfrage: autochthon oder allochthon?

Die wissenschaftliche Erforschung der Kliffe von Joggins begann im frühen 19. Jahrhundert (s. auch Kapitel 3). Im Kontext der Industrialisierung – angetrieben durch den Rohstoff Kohle – galt das Interesse insbesondere den karbonischen kohleführenden Schichten und der Enträtselung der Entstehung der Kohle selbst. Eine wichtige offene Frage in diesem Zusammenhang war, so FALCON-LANG (2006, 378), ob die Kohle (hier das ursprüngliche Pflanzenmaterial) von verdriftetem Material oder in situ unter Waldprofilen (mit Verweis auf STEVENSON 1911) gebildet wurde; mit anderen Worten also: ob das Pflanzenmaterial allochthon oder autochthon ist. Diese Frage wurde von LYELL (1846a) – quasi abschließend – beantwortet; FALCON-LANG (2006, 380) schreibt dazu: "Noch wichtiger: Das "wunderbare Phänomen' von reichlich aufrechten fossilen Bäumen bestätigten die kürzlich von Logan gewonnenen Daten aus Wales und Pennsylvania (Logan 1841⁴⁷, 1842⁴⁸) und demonstrierten ein für alle Mal die autochthone Entstehung der Kohle (Fig. 3; Gesner, 1843⁴⁹; Lyell, 1843⁵⁰)."

Abbildung 3 (Fig. 3, s. o.) von FALCON-LANG (2006, 380) zeigt eine Reproduktion der Abbildungen 18–21 aus LYELL (1845); hier Abb. 10. Die Bildunterschrift von FALCON-LANG (2006, 380) lautet: "Charles Lyells Feldskizzen von aufrechten fossilen Bäumen im Profil von Joggins haben ein für alle Mal die autochthone Entstehung der Kohle bewiesen (…)."

Tatsächlich gilt unter den meisten Geologen heute als allgemein akzeptiert, dass das ursprüngliche Pflanzenmaterial der euramerischen Kohlenflöze fast ausschließlich an Ort und Stelle gewachsen, verändert und eingebettet wurde – so schreiben z. B. TEICHMÜLLER & TEICH-MÜLLER (1982, 19): "Autochthone Kohlen entstehen von Pflanzen, welche nach dem Tod *in situ* Torf bilden. Im Gegensatz dazu bilden sich allochthone Kohlen von Pflanzenresten, die beträchtliche Distanzen von ihrem Ursprungsort wegtransportiert worden sind, z. B. verdriftete Stämme von Bäumen und umgelagerter Torf (...). Fast alle abbauwürdigen Kohlenflöze sind autochthon, und die Wurzelböden im Liegenden solcher Flöze oder die Stubbenhorizonte in ihnen oder die aufrechten Stämme (...) sind Belege für ihre Autochthonie."^{51,52}

SCOTT & STEPHENS (2015) verweisen hinsichtlich der Natur der Pflanzenakkumulation (Kohlenbildung) – also der Autochthonie/Allochthonie-Frage – auf die Arbeiten von Stevenson

⁴⁷ Hier als LOGAN (1842a) geführt, dem Publikationsdatum folgend.

⁴⁸ Hier als LOGAN (1842b) geführt.

⁴⁹ Hier als GESNER (1846) geführt, dem Publikationsdatum folgend.

⁵⁰ Hier als LYELL (1846a) geführt, dem Publikationsdatum folgend; siehe auch Kapitel 3.

⁵¹ Im Original (TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER 1982, 19): "Autochthonous coals develop from plants which after death form peat *in situ*. In contrast, allochthonous coals form from plant remains which were transported considerable distances from their original sites, *e. g.* drifted stems of trees and redeposited peat (*cf.* Fig. 4). Almost all workable coal seams are autochthonous and the seat earths in the floors of such seams, or the stump horizons within them, or the upright stems (*cf.* Figs 1 a, 4), are evidence of their autochthony."

⁵² MCCABE (1991, 27) z. B. bezieht sich auf TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER (1982) – aber formuliert als "für autochthon gehalten": "The vast majority of economic coal deposits are thought to be autochthonous (Teichmüller & Teichmüller, 1982)."

(1911a)⁵³ und BENNETT (1963). STEVENSON (1913, 162) konkludierte – teilweise im Fakten-Modus: "Die Kohlen-Schichten und die umgebenden Gesteine sind festländischen Ursprungs; die detritischen Ablagerungen sind solche, die von Hochwasser[ereignissen] auf ausgedehnten Ebenen herrührten; die Kohlen-Schichten tragen in allen ihren essentiellen Merkmalen eine bemerkenswerte Ähnlichkeit mit Moor-Ablagerungen, manchmal mit dem baumfreien Moor, häufiger mit dem Waldmoor. (…) Nach dem aktuellen Wissenstand, wie in der Literatur dargelegt, findet es [das Problem der Bildung der Kohlen-Schichten, MK] seine Lösung alleine in der Autochthonie."^{54,55}

Unter anderem führten die beobachteten marinen Einschaltungen, insbesondere im Nebengestein über den Kohlenflözen, zum "Konzept der karbonischen Kohlen als Küstenablagerung" (GREB 2013, 23). Andererseits zeige das Auftreten von Kohlen terrestrische Bedingungen auf Küstenniveau an (z. B. VAN HINSBERGEN et al. 2015 mit Bezug auf das Donez-Becken).

5.2 Indizien für einen Absatz des Pflanzenmaterials – pro Allochthonie

Die folgende Aufstellung listet Elemente euramerischer karbonischer Ablagerungen, die direkt oder indirekt auf eine *allochthone* Natur der Akkumulation bzw. Sedimentation des Pflanzenmaterials hinweisen. Sie gelten größtenteils auch für die Joggins-Formation; vulkanische Aschen, die heute umgewandelt als Bentonite oder Kohlentonsteine vorliegen, sind bisher nicht entdeckt worden.

Natur der Sedimentfolge

Die Kohleeinschaltungen erscheinen als integraler Teil der gesamten Sediment(gesteins)folge. Sie werden vertikal und lateral von aquatischen Sediment(gestein)en umschlossen. Diese sind hauptsächlich siliciklastischer Natur; das Material ist durch bewegtes Wasser antransportiert und abgelagert worden.

- Großskalig: Kohlen(flöze) sind linsenförmige Einschaltungen (von Pflanzensubstanz) im Sedimentkörper. Typische Merkmale von Kohlenflözen sind Aufspaltung und Scharung sowie mitunter "Vereinigung" mit dem nächsthöheren Kohlenflöz (sog. Z-Verbindung). In diesen Fällen kann das Nebengestein (Berge) auf kurzer Distanz zu mehreren Dekametern anwachsen.
- Ober- und Unterseite der Kohlenflöze sind i. d. R. scharf begrenzt.

⁵³ *The Formation of Coal Beds* von John J. STEVENSON umfasst vier Teile, die über einen Zeitraum von drei Jahren publiziert wurden: STEVENSON (1911a, 1911b, 1912, 1913).

⁵⁴ "The coal beds and the associated rocks are of land origin; detrital deposits are those made by flooding waters on wide-spreading plains; the coal beds, in all essential features, bear remarkable resemblance to peat deposits, sometimes to the treeless moor, frequently to the Waldmoor. (...) In the present state of knowledge, as revealed in the literature, that finds its solution in autochthony alone" (STEVENSON 1913, 162).

⁵⁵ Oder auch Κυκυκ (1932, 191): "Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die Flöze des paralischen westeuropäischen karbonischen Kohlengürtels, und damit auch die Flöze des Ruhrbezirks, autochthoner Natur sind, d. h. sich an Ort und Stelle vorwiegend aus Waldsumpfmooren krytogamer Landpflanzen auf ständig sinkendem Untergrunde bildeten."

 Kleinskalig: Kohlenflöze sind häufig in größerem Maße in ihrem Aufbau heterogen.⁵⁶ So sind cm- oder dm-dicke, z. T. linsenförmige Einschaltungen von Nebengestein oder Brandschiefer (Kohle mit klastischen Beimengungen) weit verbreitet.⁵⁷

"Wurzelböden"

Die sogenannten "Wurzelböden" (seat earth, underclay, z. T. fireclay) kommen häufig im Liegenden der Flöze vor⁵⁸; sie sind < 0,2 bis > 3,0 m mächtig⁵⁹.

- Die "Wurzelböden" zeigen verglichen mit heutigen Böden keine bodenbildenden Produkte wie Umwandlung, Horizonte etc. (SCHULTZ 1958; Appalachen-, Illinois- und Mitte-Kontinent-Becken).
- FÜCHTBAUER & MÜLLER (1977, 269) zufolge hat sich die Auffassung durchgesetzt, dass ",Wurzelböden' mit Sicherheit keine Bodenbildungen sind".⁶⁰ In MURWASKI & MEYER (2017) heißt es, dass ein Wurzelboden ein "bei Kohlenlagern vielfach im Liegenden des Flözes auftretende, von Wurzeln der Moorpflanzen durchzogene Sedimentschicht" ist. Dies aber ist eine genetische Definition, die Autochthonie voraussetzt; deskriptiv handelt es sich um ein Basisorgane (Stigmarien und Appendices) führendes Sediment(gestein).
- Die Mächtigkeit des "Wurzelbodens" ist "von der Dicke der Flöze völlig unabhängig und umgekehrt"; es treten auch Stigmarienbänke ("Wurzelböden") ohne Zusammenhang mit einem Flöz auf (Ruhr-Becken; KUKUK 1938, 194f). Daraus wurde gefolgert, dass kein biologisch-genetischer Zusammenhang zwischen Vegetation (Kohlenflöz) und "Wurzel"organe führendem Flözliegenden bestehen muss (s. auch WELLER 1930, JESSEN 1955, 1961). Die Beobachtung führte u. a. zu der Aussage, dass "Wurzelböden" kein "Beweis" für die Autochthonie der Flöze seien (JESSEN 1961, 313⁶¹).
- Aus den "Wurzelböden" den Basisorgane führenden Sediment(gestein)en werden fast ausschließlich Stigmarien und Stigmarien-Appendices beschrieben. Von den im

⁵⁶ Siehe z. B. FÜCHTBAUER & MÜLLER (1977, 587): "(...) oft großen Heterogenitäten im Aufbau eines Kohlenflözes (...)".

⁵⁷ JERRETT et al. (2011, 629) interpretieren die klastischen Einschaltungen (clastic splits) als Hiaten. Sie seien "deutliche Indikatoren einer Beendigung und Wiederaufnahme der Torfakkumulation", mit Bezug auf STAUB (1991), SHEARER et al. (1994), GREB et al. (2002) und DAVIES et al. (2006).

⁵⁸ Ruhr-Becken: Ein "Wurzelboden" im Liegenden der Flöze sei in 95 % der Vorkommen nachweisbar (Κυκυκ 1938, 194).

⁵⁹ Beschreibungen z. B. bei KUKUK (1938) und ROESCHMANN (1962) (Ruhr-Becken).

⁶⁰ Die zitierte Phrase im Kontext (FÜCHTBAUER & MÜLLER 1977, 269): "Erst durch die von SCHULTZ (1958) mit modernen Hilfsmitteln an zahlreichen Wurzelböden des Pennsylvanian der USA durchgeführten Untersuchungen, ergänzt durch Beobachtungen von O'BRIEN (1964), PARHAM (1964) und ODOM (1967) setzte sich die Auffassung durch, daß "Wurzelböden" mit Sicherheit keine Bodenbildungen sind, sondern Tongesteine, die bei sehr geringer Sedimentationsrate durch Akkumulation von ausgeflocktem Ton – also ähnlich wie die Salztone – entstanden sind."

⁶¹ JESSEN (1961, 313): "Da die meisten Flöze von Wurzelböden unterlagert sind, sah man in diesen einen 'Beweis' für die Autochthonie der Flöze. Heute haben wir uns von dieser Vorstellung frei zu machen (s. VASICEK, 1953, JESSEN, 1957). Denn anders müsste auch die Feinschichtung in den Flözen selbst beseitigt sein, zum mindesten unter Wurzelboden-Bergemitteln in untersten Flöz-Partien." JESSEN ist trotzdem ein Befürworter einer Autochthonie; er schreibt weiter: "Die Autochthonie normaler Streifenkohlenflöze ist auch ohne das nicht zu bestreiten (…)."

Wesentlichen hohlen (horizontalen) Stigmarienachsen gehen lateral radialstrahlig die hohlen Appendices ab (Abb. 11 und Abb. 12). Diese bezeichnende allseitige Anordnung der Appendices weist auf Charakteristika von Wasserpflanzen und nicht von Landpflanzen hin.⁶² Dennoch entwerfen z. B. HETHERINGTON et al. (2016) das Bild von Lycophyten-Bäumen mit ausgedehnten, unterirdischen Wurzelsystemen in einem Kohlensumpfwald (Abb. 11).

- Die Basisorgane liegen im Sediment in vielfältiger Weise vor⁶³: Abgebrochene (abgeworfene?) Appendices regellos verstreut oder eingeregelt; zusammenhängende Basisorgane, zusammengepresst oder als "Körperfossil" (nicht zusammengepresst).⁶⁴ Dies sind Anzeichen für sedimentäre Prozesse: subaquatische Ablagerung und teilweise Einregelung durch Strömung. Eine Zerdrückung der Basisorgane, die im Wasser unter den vermutlich mattenartigen (Schwimm-) Vegetationsdecken herabhingen, kann bei deren Absatz auf dem feinkörnigen Schlamm erfolgt sein. Andererseits könnten diese (ggf. im Sinken befindlichen) Vegetationsdecken mit im Wasser herabhängenden Basisorganen nahe dem Untergrund durch unterspültes Sediment fixiert worden sein.
- Die Basisorgane führenden Sediment(gestein)e Ton-, Silt-, Sand- und Kalksteine⁶⁵ zeigen keine Anzeichen einer subaerischen Exposition. Das deutet darauf hin, dass ihre Oberflächen die "Böden" der mutmaßlichen Landvegetation stets unter Wasser lagen. Es scheint sich um durchgängig aquatische Sedimentationsräume zu handeln.

Aufrecht stehende Bäume

Aufrechte Baumstämme in Wachstumsposition werden von zahlreichen Lokalitäten beschrieben (siehe Abschnitt 6.1).

- Die Position der Stämme in der Orientierung des Wachstums ist nicht zwangsläufig ein Indiz für ein In-situ-Wachstum. Transportierte Stämme mögen in einer stabilen

⁶² Anders z. B. ROESCHMANN (1962): "Das Sediment ist von zahlreichen, z. T. verzweigten Lepidophyten-Wurzeln, den "Stigmarien", durchzogen. Diese werden 6–7 m, gelegentlich sogar über 10 m lang. Von den Stigmarien zweigen radialstrahlig schlauchförmige, 10–20 cm lange Anhängsel ab, die sogenannten Appendices. Ihre großen Luftkanäle zeigen, daß es Wurzeln von Sumpfgewächsen sind. Auch aus ihrer fast ausschließlich horizontalen Erstreckung im Boden geht dies hervor." – Die radialstrahlige Ausrichtung der Appendices – bei flachliegenden Stigmarien – schließt das Eindringen oder Entfalten in einem Sediment aus.

⁶³ ROESCHMANN (1962) erklärt die unterschiedliche Konzentration der Wurzelorgane ("Durchwurzelung") im "Wurzelboden" mit unterschiedlich intensiver Sumpfwald-Besiedelung bzw. Generationen derselben, abhängig von der Intensität der Sedimentation (der "Überschwemmungen"). Allerdings kommen – seinen Beschreibungen zufolge – im "Wurzelboden" im Liegenden der Flöze keine Stammstümpfe vor; diese müssten sogar in unterschiedlichen Schicht-Niveaus (bezogen auf jede Neubesiedelung) auftreten.

⁶⁴ Zu diesem Punkt siehe auch eine Diskussion zu den Wurzelorganen in Schichten der Joggins-Formation: RUPKE (1969), FERGUSON (1970) und RUPKE (1970).

⁶⁵ Beispiel Donez-Becken: JABLOKOV et al. (1960, 297). Die Autoren schlugen deshalb – unter Zugrundelegung einer Autochthonie (für "den Anschein dieser kontinentalen Sumpf-Sedimente") – die "Hypothese periodischer Anhebungen" vor: "Many sections show bands of bog deposits with a root system of plants discovered inside limestones. Thus a persistent foraminiferal limestone K₉, which was formed at a depth of about 50– 100 m includes such bands about 3–8 cm thick. The only possible explanation for the appearance of these bog (continental) sediments among such relatively deep-sea limestone oozes with a total thickness up to 10 m, is by a hypothesis of periodical uplifts of the area of accumulation."

Gleichgewichtslage (= Wachstumsorientierung) zum Absatz gekommen sein.66

 Es werden im Hangenden von Kohlenflözen sitzende Stämme bzw. Stammstümpfe beschrieben, die wurzellos und an der Basis abgerundet sind (sog. Kessel) und sowohl in Wachstumsposition als auch umgekehrt eingebettet sind (Ruhr-Becken).⁶⁷



Abb. 11 Eine (Re)konstruktion des Stigmarien-"Wurzel"systems.

Nach HETHERINGTON et al. (2016) bildeten die gigantischen Lycophyten-Bäume – eines mutmaßlichen Kohlensumpfwaldes - ein unterirdisches (subterranes) Wurzelsystem. Von den im Wesentlichen hohlen, mit einem Zentralzylinder versehenen Stigmarienachsen (interpretiert als Hauptwurzeln) gehen lateral radialstrahlig (Vergrößerung oben links) die sog. Appendices ab (interpretiert als "Würzelchen" und als rootlets bezeichnet). Diese ebenfalls hohlen Appendices besitzen einen einzelnen Gefäßstrang; sie können sich bis in eine vierte Ordnung verzweigen (ihre Fig. 1C). Auf dieser Grundlage berechneten HETHERINGTON et al. (2016) die (mögliche) Anzahl endständiger "Würzelchen" zu etwa 25.600 pro Meter Strang. Dieser ausgedehnte "Wurzelteller" (root plate) hätte den Bäumen u. a. Halt gegeben: "Such an extensive branched system would have formed a subterranean network with a large surface area available for nutrient uptake and tethering these giant trees in place." Allerdings ist die radialstrahlige Anordnung der Appendices vielmehr ein deutliches Merkmal einer Wasserpflanze (siehe Textteil). Auswüchse aus den Appendices, die an der Basis einen Durchmesser von etwa 14 µm haben (ihre Fig. 3E und S9), interpretieren HETHERINGTON et al. (2016) – im Vergleich mit *Isoetes* – als Wurzelhaare (root hairs). Diese Feinstrukturanalysen waren mit Dünnschliffen von Torfdolomitknollen (coal balls) möglich (Material von den Lancashire- und Yorkshire-Kohleablagerungen, UK). Abbildung: Wiedergabe von Fig. 4 (Ausschnitt) aus HET-HERINGTON et al. (2016) in Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), Verwendung gemäß "Rights & Permissions".

⁶⁶ Vgl. auch BECKER (1982, 26) zu Hartholz-Wurzelstöcken in nacheiszeitlichen Flussablagerungen: "In Sedimentprofilen mit begrabenen Bäumen lassen sich aus den Lagerungsverhältnissen Hinweise auf deren Ablagerung gewinnen. Die Stämme wurden niemals aufrecht, sondern immer horizontal eingebettet. Eine Ausnahme bilden lediglich Wurzelstöcke, die, ihrem Schwerpunkt entsprechend, vertikal eingeschottert werden und – vor allem, wenn sie über tonigen Sedimenten liegen – zu der irreführenden Vorstellung Anlass geben, Hölzer postglazialer Talfüllungen seinen stehend an ihrem ursprünglichen Standort begraben worden. Falls die in älteren Beschreibungen (z. B. GROSCHOPH und HAUFF 1951) entwickelte Vorstellung zutreffen würde, dass derartige Wurzelteller in originaler Position überschottert worden sind, müsste gleichzeitig der liegende Waldboden erhalten sein. Dies trifft in keinem der Fälle, in denen Wurzelstöcke in situ in Profilwänden angetroffen wurden, zu. Diese teilweise mächtigen Wurzelteller sind ohne Ausnahme vom fliessenden Wasser verdriftet und in rein fluviatilen Sedimenten abgesetzt worden."

⁶⁷ Nur diese Fälle stellen nach Κυκυκ (1938, 204-206) "auf allochthonem Wege eingeflößte und abgesetzte alte Baumstümpfe" dar.



Abb. 12 Stigmarien mit und ohne Appendices.

Links: Flachgepresste Stigmarie mit flachgepressten Appendices; Fundpunkt NO-Ohio (Pennsylvanium-Serie). Foto: Mark A. WILSON (Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0). Rechts: Zylindrische, unzerdrückte Stigmarie mit Abbruchnarben der Appendices; die Narben (Stigmen) sind namengebend. Abbildung: Wiedergabe von Fig. S7 (Teil B, gezeichnet nach ihrer Fig. S7A) aus HETHERINGTON et al. (2016) in *Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS), Verwendung gemäß "Rights & Permissions".



Abb. 13 (Re)konstruktion der Landschaft zur "Steinkohlenzeit" I.

Zu dem Bild heißt es in KUKUK & HAHNE (1962, 6): "Landschaft zur Steinkohlenzeit. Mit Verlandungspflanzen, vorwiegend Schachtelhalmen, bestandene offene Wasserstelle im Vorlande des alten variszischen Gebirges, umgeben von dem üppigen Pflanzenwuchs eines Waldsumpfmoores, aus Farnen und Bärlappgewächsen bestehend. In der Mitte Siegelbäume und Baumfarne, links Schuppenbäume, Baumfarne und niedere Farne, rechts die höher entwickelten Cordaitenbäume. (...)". Abbildung: Aus KUKUK & HAHNE (1962), ihre Abb. 9.

Vulkanische Aschen (Kohlentonsteine)

Die Aschen explosiver vulkanischer Eruptionen (Kohlentonsteine) sind im Wasser (aquatisch) abgesetzt worden (z. B. STÖFFLER 1963; FÜCHTBAUER & MÜLLER 1977, 268).^{68,69}

⁶⁸ Im Ruhr-Becken sind insgesamt 38 Kohlentonsteine identifiziert worden (BURGER et al. 2005). BURGER et al. (2005) unterscheiden im Ruhrkarbon klassische und primitive Kaolin-Kohlentonsteine; in diesem Sinne sind hier die klassischen Kaolin-Kohlentonsteine (vulkanische Genese) gemeint.

⁶⁹ Im Donez-Becken sind mindestens 37 vulkanische Aschenlagen bekannt, 25 davon werden als Kohlentonsteine (engl.: tonsteins) bezeichnet (DAVYDOV et al. 2010).

Bei jedem Aschenniedergang handelt es sich um eine zufällige Momentaufnahme der Bedingungen in der Wassersäule und am Untergrund. Die Aschenlagen treten stratigraphisch in allen Positionen innerhalb der Kohlenflöze auf, in deren unteren, mittleren und oberen Teilen; sie haben eine große räumliche Verbreitung (bis zu 1.000.000 km² und mehr). Sie bilden i. d. R. scharfe ebene Unter- und Obergrenzen (Abb. 14).

- Die Aschenüberlieferung zeigt an, dass zum Zeitpunkt eines Aschenniedergangs kein (Vegetations-) Relief vorhanden war, also zu keinem Zeitpunkt ein mutmaßliches Waldsumpfmoor (Abb. 13; ähnlich Abb. 82) bestanden haben kann.
- Die Aschenüberlieferung zeigt des Weiteren an was bei einem anzunehmenden Waldsumpfmoor zu erwarten wäre –, dass selbst die dünnsten Aschenlagen 1) nicht durch ein Weiterwachsen der Vegetation von unter her ("Bottom-up-Perspektive") und 2) nicht durch ein Einwurzeln einer neuen Vegetation(sdecke) von ober her ("Top-down-Perspektive") durchdrungen wurden.



Abb. 14 Kohlentonstein-Lage im Flöz Angelika, Ruhrkarbon.

Das Flöz Angelika hat hier eine Mächtigkeit von 65 cm; der Kohlentonstein (gelbe Pfeile) – eine umgewandelte vulkanische Aschenlage – ist etwa 3 cm dick (links: Übersicht, rechts: Ausschnitt). Das Flöz wird unmittelbar von Tonsteinen unter- und überlagert (vgl. KASIELKE 2013). Bochum-Formation; geologische Wand Kampmann-Brücke, Essen-Heisingen. Foto: M. KOTULLA, 2020.

Diskussion und Fazit

Die Hauptargumente für eine mutmaßliche autochthone Natur der (Kohlen-) Vegetation sind "Wurzelböden" im Liegenden der Flöze oder aufrechte Stämme in Wachstumsposition (s. o. TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER 1982, 19). Die Phänomene "Basisorgane führende Sediment(gestein)e" und "aufrechtstehende Stämme in Wachstumsposition" können bzw. müssen – je nach Bewertung – anders interpretiert werden: in dem dargestellten, primär sedimentären Kontext als ein Ergebnis von Transport und Ablagerung. Die Autochthonie/Allochthonie-Frage – so zeigt das umfangreiche Schrifttum der letzten 200 Jahre – ist eine essentielle Frage; sie ist Ausdruck über Vorstellungen der (geologischen) Vergangenheit und der möglicherweise wirkenden Prozesse (s. WALDRON & RYGEL 2005, Abschnitt 2.2).

Unter der Voraussetzung einer allochthonen Natur der Vegetationsdecken (Kohlen) sind Akkumulations- bzw. Sedimentationsraten von einem Meter in Stunden vorstellbar; diese Rate wird für die Kalkulationen in Kapitel 6 verwendet.

6 Versuch einer Quantifizierung des Tempos der Sedimentation

6.1 Aufrechte Baumstämme und Sedimentation

Nach BAILEY (2011, 1) sind aufrechte, bis zu 12 m hohe Baumstämme, die in Wachstumsposition verschüttet wurden, ein Charakteristikum des euramerischen, produktiven Oberkarbons (Tab. 5).⁷⁰ Die die aufrechten (upright, erect) Baumstämme umgebenden und unmittelbar überlagernden klastischen Sedimente müssen rasch sedimentiert worden sein, vor der Verrottung des Pflanzenmaterials (DIMICHELE & FALCON-LANG 2011⁷¹, SCOTT & STEPHENS 2015⁷²). DI-MICHELE & FALCON-LANG (2011, ihre Table 1) führen zahlreiche Beispiele verschütteter, aufrechter Bäume an; hauptsächlich handelt es sich um Lycopsiden (Bärlappgewächse) und Calamiten (Schachtelhalmgewächse) in Steinkernerhaltung.

Die Joggins-Formation enthalte – so BAILEY (2011, 2) weiter – 70 verschüttete "Baum-Horizonte" mit Lycopsiden und anderen Bäumen, die üblicherweise 5–6 m, mitunter auch 12 m, hoch seien. Die Baumstämme werden umgeben entweder nur von Ton-, Silt- oder Sandsteinen oder von "aufgestapelten Paketen heterolithischer Schichten", d. h. einer Wechselfolge siliciklastischen Materials verschiedener Korngrößen. Während WALDRON & RYGEL (2005, 339) zur

⁷⁰ Die Stämme sollen im Untergrund verwurzelt sein, siehe hierzu Kapitel 5. BAILEY (2011, 1): "Rooted tree trunks up to 12 m tall, buried in growth position, are a feature of Euramerican late Carboniferous Coal Measures."

⁷¹ "Clearly, to preserve a T⁰ assemblage at all, burial must happen more rapidly than destruction of the vegetation by decay or through direct exposure to the elements (Gastaldo & Staub 1999; DiMichele & Gastaldo 2008; Gastaldo & Demko 2010)" (DIMICHELE & FALCON-LANG 2011, 586). Unter "T⁰ assemblage" wird die In-situ-Erhaltung einer Tier- oder Pflanzen-Vergesellschaftung in einem geologischen Augenblick verstanden, ein Schnappschuss, der "Stunden bis zu Dekaden" angedauert haben kann (DIMICHELE & FALCON-LANG 2011, 589).

⁷² "A general consideration of many coal-bearing sequences indicated that many of the clastic sequences were deposited relatively rapidly, as indicated by the rapid burial of trees (Broadhurst 1964; Broadhurst & Loring 1970; DiMichele & Falcon-Lang 2011) (...)" (SCOTT & STEPHENS 2015, 285).

Entstehung dieser Schüttungen mehrere "Überflutungs"-Ereignisse annehmen, geht BAILEY (2011, 2) von *einem* durch ein Erdbeben induziertes "Überflutungs"-Ereignis aus. WALDRON & RYGEL (2005, 339) nehmen für die "Überflutungs"-Ereignisse eine Zeitspanne von 100 Jahren an und leiten daraus eine Sedimentationsrate (nach Kompaktion) von 50–120 mm/a ab (Basis 5 bzw. 12 m).^{73,74} Dagegen ist das angenommene Erdbebenereignis ein Augenblicksereignis; ist dadurch die "Überflutung" ausgelöst worden, kann von einem Ereignis in der Größenordnung von Stunden ausgegangen werden. Allerdings gibt BAILEY (2011, 3) nachfolgend eine Akkumulationsrate von "Meter/Dekade" an.⁷⁵

Pos.	Lokalität bzw. Becken (Referenz)	Stratigraphie (alte/regionale Klassifikation)	Höhe Stämme [m]	Sediment- gestein (Ein- bettung)	Sedimen- tationsrate [relativ]	Annahme Dauer [a]	Ø Sedimen- tationsrate [m/a]
1	Lancashire-Kohlenfeld, UK (Broadhurst & Magraw 1959)	Westfalium A	2,0 - 11,5	Tonsteine	"sehr hoch"	100	0,11
2	Black Warrior, USA (Gastaldo et al. 2004, Bailey 2011)	Westfalium A	≤ 4,5	Sandsteine, Siltsteine	"sehr rasche Se- dimentation"	≤ 10	≥ 0,45
3	Cumberland, Nova Scotia, Kan. (Falcon-Lang et al. 2006, Waldron & Rygel 2005)	Westfalium A	1 - 12	Tonsteine, Sandsteine	"rasche Subsidenz"	100	> 0,05 - 0,12
4	Magdalena-Kohlenfd., NW- Span. (Bashforth et al. 2010)	Stefanium B	≤ 2,0	Tonsteine	k. A.	k. A.	k. A.
5	Ruhr, Deutschland (Klusemann & Teichmüller 1954)	Westfalium B	7,5	Siltsteine, Sandsteine	"rasch"	< 1 bis < 10	1 - 10
7	Ruhr, Deutschland (Kukuk 1938)	Westfalium	einige	Ton-, Silt- und Sandsteine	k. A.	k. A.	k. A.
8	Yorkshire, UK (Leeder et al. 1984)	Westfalium B	2,5	Siltsteine, Sandsteine	"ziemlich rasche Ablagerung"	k. A.	k. A.

Tab. 5 Sedimentationsraten klastischer Abfolgen (kohleführendes Karbon).

Zusammengestellt nach BAILEY (2011, seine Table 1), jedoch umfangreich verändert bzw. ergänzt. Angaben in Spalte "Sedimentationsrate [relativ]" entstammen den jeweiligen Arbeiten (Referenzen in Spalte "Lokalität bzw. Becken"). Diskussion siehe Textteil.

⁷³ "However, Joggins lycopsids are generally entombed by stacked packages of heterolithic strata that make burial by a single catastrophic flood or earthquake unlikely (J.H. Calder, 2005, personal commun.). If complete burial is assumed to have occurred within 100 yr, entombment of the Joggins lycopsids required frequent sedimentation rates of > 50 mm/yr and perhaps as high as 120 mm/yr" (WALDRON & RYGEL 2005, 339).

⁷⁴ Auch CALDER et al. (2006) entwickeln eine Zeitabschätzung im Rahmen von Dekaden: "Clearly, the heterolithic strata were emplaced over a time frame longer than that of a single, catastrophic event, but how much longer? The basal strata of the upper, composite heterolithic unit (32.5–33.4 m, Fig. 4) comprise eight coarsening-up depositional couplets over a 0.90 m interval, each ranging from 7 to 14 cm thick. If these recurrent couplets reflect no more than annual events, then an entombing heterolithic unit 4 m in thickness would have been emplaced in no more than three to six decades and conceivably much less time, given the contribution of thick bedded sandstone lenses."

⁷⁵ "The Joggins section underlies the contrast between the extreme (m/decade) rates of accumulation implied by buried trees, and the slow (m/kyr) net rates of accumulation of coal measure sequences in which they occur. In geological time-frames, many buried tree horizons record metre-scale accumulation in effectively zero time" (BAILEY 2011, 3). Dies entspricht der Vorstellung von BROADHURST & MAGRAW (1959, 157): "A lifespan of, say, 100 years after the inundation would involve a rate of sedimentation, as before, of 4 ½ inches per year of compacted sediment." Das sind umgerechnet 0,11 m/a bzw. 1,1 m/10 a. Die mutmaßliche Rate bezieht sich auf verschüttete Baumstämme der Lokalität Lancashire (Pennine-Becken, UK). BAILEY (2011) führt u. a. BROADHURST & MAGRAW (1959) als Referenz auf (seine Table 1, vgl. Tab. 5).

Diskussion und Fazit

Die quantifizierten, durchschnittlichen Sedimentationsraten (s. auch Tab. 5) werden im Falle der "aufrechten Baumstämme" hauptsächlich von einer mutmaßlichen Verrottungszeit abgeleitet. Primär scheint bei dieser "biologischen Indikation" eine Orientierung an einer möglichen Maximalzeit vorzuliegen: 10–100 Jahre für etwa 1–10 m (lokaler) Sedimentakkumulation (kompaktiert). KLUSEMANN & TEICHMÜLLER (1954) allerdings liegen mit einer Spanne von < 1–10 Jahren um mindestens eine Größenordnung niedriger.

Charakteristische Merkmale der Sedimentkörper – in ihrer vertikalen und lateralen Erstreckung – sind der häufige Wechsel der Kornfraktion sowie zahlreiche sedimentäre Strukturen. Sie zeigen Strömungstätigkeit und eine primär hohe und wechselhafte Hydrodynamik an. Dies betrifft auch die feinkörnigen Gesteine. Denn Tonpartikel können durch Flokkulation wie Sand transportiert und abgelagert werden (SCHIEBER et al. 2007); und bei einem Gemisch der Kornfraktionen Ton (Tonminerale) und Silt (körniger Quarz) kann in bewegter Suspension und bei der Sedimentation durch Segregation (Trennung) ein laminierter Tonschlamm mit Einschaltungen von Grobsilt-Laminen entstehen (YAWAR & SCHIEBER 2015). Letzteres kann auch auf gröbere Fraktionen übertragen werden: Gemische der Kornfraktionen Ton/Silt und Sand oder Silt und Sand. Dieser Art klastische Gesteine und Wechselfolgen werden von den kohleführenden Abfolgen der oben aufgeführten Lokalitäten beschrieben.

Wird ergänzend die geologisch-sedimentologische Indikation berücksichtigt und eher die Perspektive einer möglichen Minimalzeit eingenommen, handelt es sich bei diesen Beispielen um mögliche Ablagerungszeiten in der Größenordnung von 10^{-3} Jahren (Stunden; rechnerisch < 9 Stunden). Das sind im Vergleich zu den o. g. $10^{0}-10^{2}$ Jahren 3 bis 5 Größenordnungen weniger.

6.2 Summarische Betrachtung zur Ablagerungszeit

BAILEYS (2011) teilsummarische Betrachtung stellt sich wie folgt dar: Für die Abschnitte mit verschütteten aufrechten Stämmen nennt er eine Akkumulationsrate von "Meter/Dekade".⁷⁶ Es wäre aber irreführend, die Sedimentakkumulation einzig im Lichte der 60 oder 70 verschütteten Baum-Horizonte zu interpretieren. Selbst wenn ihre assoziierten Versätze durchschnittlich bis zu 5 m betrügen, würde ihr Anteil an der Gesamtabfolge weniger als 40 % betragen; die Intervalle zwischen den Baum-Horizonten seien [immerhin] 10–80 m mächtig.⁷⁷ Die Netto-Akkumulationsraten der Kohleablagerungen [allerdings] seien gering – "Meter/Jahrtausend".⁷⁸

⁷⁶ Siehe Fußnote 75.

⁷⁷ "It would be misleading to interpret the Joggins sedimentary accumulation solely in terms of 60 or 70 buried tree horizons, since, even if the associated surface displacements averaged as much as 5m, they would account for less than 40% of the logged section, a discrepancy emphasized by 10–80m intervals between such horizons (Davies et al. 2005; Falcon-Lang et al. 2006)" (BAILEY 2011, 2).

⁷⁸ "(...) and the slow (m/kyr) net rates of accumulation of coal measure sequences (...)" (BAILEY 2011, 3). Bereits zuvor zitiert, siehe Fußnote 75.

Letztendlich aber fordert BAILEY (2011) "kompensatorische Lücken" ein, Zeitintervalle gewissermaßen mit einer Null-Akkumulation. Dies seien Intervalle, bei denen die Oberfläche des Feuchtgebietes [die mutmaßlichen (Kohlen-) Moore, MK] und der (Ablagerungs-) Base-Level ["gedachte Mittellinie zwischen Abtrag und Sedimentation"⁷⁹, MK] in Koinzidenz verharrten.⁸⁰ Diese Interpretation setzt allerdings voraus, dass es sich bei den Kohlenflözen um an Ort und Stelle gewachsene Vegetationsdecken handelt (siehe hierzu Kapitel 5). Eine gesamtsummarische Betrachtung liefert BAILEY (2011) allerdings nicht.

Mit den Angaben und Annahmen von BAILEY (2011), u. a. der Spanne der Akkumulationsrate für die Stämme-freien Klastika – Meter/Dekade (Maximum, Fall 1) oder Meter/Jahrtausend (Minimum, Fall 2) –, können die Ablagerungszeiten jedoch berechnet werden. Sie betragen im Fall 1 (Maximumrate) 24.000 Jahre und im Fall 2 (Minimumrate) 603.150 Jahre. Bezogen auf die von der geologischen Zeitskala abgeleitete Zeitdauer für diesen Abschnitt – 915.000 Jahre (radiometrische Jahre implizit Kalenderjahre) – betragen die von BAILEY (2011) geforderten "kompensatorischen Lücken" (in Summe) zwischen 34 und 97 % der [radiometrischen] Zeitdauer.

Alternative Betrachtung (der Verfasser)

Wird die von BAILEY (2011) aufgeworfene Zeitfrage zunächst alleine für die klastischen Abfolgen stringent weiterverfolgt, so gilt es festzuhalten, dass sich die Schüttungen, die Baumstämme (Profilanteil kalkulatorisch 35 %) enthalten, nicht von den Schüttungen, die keine Baumstämme (Profilanteil kalkulatorisch 65 %) enthalten, unterscheiden. Es werden deshalb für die Stämme-freien Klastika die gleichen Akkumulationsraten angesetzt wie für die Stämme-führenden Klastika (Analogieschluss).

- Der Vergleich Stämme-führende Klastika vs. Stämme-freie Klastika erfolgt anhand der Lithologien und Gefügemerkmale (s. Kapitel 4 und die dort genannten Referenzen).
- Die "nicht-tafelförmigen" Sandsteinkörper, die z. B. von CALDER et al. (1998) als terrestrische Rinnenablagerungen interpretiert werden, führen keine oder selten aufrechte Baumstämme. Diese wannenartigen, lokal begrenzten Körper werden hier als rasche Ablagerungen von stark sedimentbeladenen Strömen mit teilweiser erosiver Wirkung an der Basis interpretiert.

Des Weiteren werden für die klastischen Abfolgen keine größeren Sedimentationsunterbrechungen angenommen, wofür auch keine Indizien vorliegen.

 Es sind keine Landoberflächen (Expositionsflächen) erkennbar; es fehlen Anhaltspunkte wie tiefgreifende Taleinschnitte oder gut entwickelte Paläoböden (DAVIES et al. 2005; s. Abschnitt 4.3).

⁷⁹ SCHÄFER (2010, 383); zu Base-Level siehe auch Glossar.

⁸⁰ Unmittelbare Fortführung der zitierten Passage in Fußnote 75: "Whatever the relative contribution of such events, the far slower net rates of accumulation of the sections in which they occur demand compensatory gaps: time intervals with effectively zero accumulation. These would be intervals when wetland surface and base-level remained coincident."

Schließlich wird die vorgeschlagene Perspektive einer Minimalzeit in Betracht gezogen (vgl. Abschnitt 6.1; Akkumulationsrate Meter/Stunden).

- Die Gefügemerkmale der Sedimentgesteine, die die aufrecht stehenden Bäume umschließen und verfüllen, u. a. Schräg- und Kreuzschichtung, zeigen eine rasche Sedimentation unter wechselhaften hydrodynamisch hochenergetischen Verhältnissen (Material- und Korngrößenwechsel) an.
- Eine sukzessive Verrottung der Hohlbäume (mit Bezug auf das "Rinden"gewebe) oben mehr als unten – ist bisher nicht festgestellt worden. Dies wäre zu erwarten, wenn sich die Verschüttung der Bäume über Jahre bzw. Jahrzehnte hinziehen würde, also beispielsweise wie folgt kumulativ aufbaute (vgl. Abb. 86): 30 cm (Jahr 1), 80 cm (Jahr 5), 85 cm (Jahr 7), 170 cm (Jahr 15) usf. Der jeweils nicht verschüttete, obere Teil des Baumes unterläge primär dem Prozess der Verrottung (und zwar je höher desto länger). Da kein unterschiedlicher Grad der Verrottung vorliegt, ist eine rasche und zugleich vollständige Verschüttung wahrscheinlich.

Die Kohlen werden als allochthon aufgefasst (vgl. Abschnitt 5.2; Akkumulationsrate Meter/Stunden), ohne größere Sedimentationsunterbrechungen zum Liegenden oder Hangenden.

- Es sind die gleichen Kriterien zutreffend, die bereits oben genannt wurden ("keine Expositionsflächen").
- Des Weiteren ist keine Verwühlung bzw. Vermischung (Bioturbation) in den Grenzbereichen zu beobachten, wenn z. B. Kalksteine die Kohlen unter- oder überlagern.

Die Kalksteine werden als Ereignislagen interpretiert (vgl. Abschnitt 4.1; Schuttkalke), ohne größere Sedimentationsunterbrechungen zum Liegenden oder Hangenden.

Mit diesen Annahmen beträgt die Ablagerungszeit für die Klastika (in Summe ca. 900 m) und die Kohlen (in Summe ca. 15 m) zusammen 0,37 a (ca. 4,5 Monate) (Tab. 6). Das heißt, die Sedimentfolge der Joggins-Formation könnte so in einer Größenordnung von 10⁻¹ bis 10⁰ Jahren entstanden sein. Rein rechnerisch sind demnach nur 0,0004 % der Zeit repräsentiert, die durch die radiometrische Eichung der internationalen chronostratigraphischen Tabelle vorgegeben wird (915.000 Jahre, radiometrische Jahre implizit Kalenderjahre) (Tab. 6, Referenzen dort); die Differenz beträgt etwa sechs Größenordnungen.

Pos.	Joggins-Formation Nova Scotia Kanada	Bailey (2011)	Umsetzung		diese Arbeit*		
	(Aufnahme nach Davies et al. 2005)	Angabe/ Annahme	Zahlen- wert	Ein- heit	Angabe/ Annahme	Zahlen- wert	Ein- heit
1.	Annahmen und Werte						
1.1.	Akkumulationsrate Klastika "Stämme-führend"; a)	m/10 a	0,1	m/a	m/Stunden	2.500	m/a
1.2.	Akkumulationsrate Klastika "Stämme-frei"; b)	k. A.			m/Stunden	2.500	m/a
1.3.	Akkumulationsrate Kohlenvegetation netto; c)	m/1000 a	0,001	m/a	m/Stunden	2.500	m/a
1.4.	Anteil Klastika "Stämme-führend"; d)	< 40 %	35	%	s. Bailey	35	%
1.5.	Akkumulationsrate "kompensatorische Lücken"	effektiv 0			nein		
2.	Weitere Werte						
2.1.	Profilmeter Klastika, gesamt		900	m		900	m
2.2.	Anteil Klastika "Stämme-frei"		65	%		65	%
2.3.	Profilmeter Kohlen, gesamt		15	m		15	m
3.	Weitere Annahmen; e)						
3.1.	Fall 1: Akkumulationsrate Klastika "Stämme-frei" (Max.)	Х	0,1	m/a			
3.2.	Fall 2: Akkumulationsrate Klastika "Stämme-frei" (Min.)	Х	0,001	m/a			
4.	Berechnung der Ablagerungszeit						
4.1.	Klastika "Stämme-führend"		3.150	а		0,13	а
4.2.	Klastika "Stämme-frei", Fall 1		5.850	а			
4.3.	Klastika "Stämme-frei", Fall 2		585.000	а			
4.4.	Klastika "Stämme-frei"					0,23	а
4.5.	Kohlen		15.000	а		0,01	а
4.6.	Zwischensumme Klastika und Kohlen, Fall 1		24.000	а			
4.7.	Zwischensumme Klastika und Kohlen, Fall 2		603.150	а			
4.8.	Zwischensumme Klastika und Kohlen					0,37	а
5.	Differenz-Betrachtung						
5.1.	Ablagerungszeit gesamt, Ableitung geol. Zeitskala; f)		915.000	а		915.000	а
5.2.	abzgl. Ablagerungszeit Klastika/Kohlen, Fall 1		24.000	а			
5.3.	Summe "kompensatorische Lücken" (1.5.), Fall 1		891.000	а			
5.4.	Anteil "kompensatorische Lücken" (1.5.), Fall 1		97	%			
5.5.	abzgl. Ablagerungszeit Klastika/Kohlen, Fall 2		603.150	а			
5.6.	Summe "kompensatorische Lücken" (1.5.), Fall 2		311.850	а			
5.7.	Anteil "kompensatorische Lücken" (1.5.), Fall 2		34	%			
5.8.	abzgl. Ablagerungszeit Klastika/Kohlen					0,37	а
5.9.	Differenz zu Ablagerungszeit "geologische Zeitskala"					914.999,6	а
5.10.	Repräsentierte Zeit als Anteil von 5.1.					0,00004	%

 Tab. 6
 Kalkulation von Ablagerungszeiten für die Joggins-Formation.

[Fortsetzung nächste Seite] Ausgangspunkt sind die Angaben und Annahmen von BAILEY (2011); die Kalkulationen erfolgen in Spalte "Umsetzung" durch die Verfasser. Für die Differenzbetrachtung (Pos. 5) werden radiometrische Jahre mit Kalenderjahren gleichgesetzt. a) "Stämme-führend" bezieht sich auf die Abschnitte der Sedimentfolge, in denen aufrechte Stämme von Lycopsiden oder anderen baumförmigen Gewächsen vorkommen. Zu "diese Arbeit": Annahme von Sedimentationspulsen in rascher Folge mit ggf. kurzen Sedimentationsunterbrechungen (Minimal-Betrachtung); 2.500 m/a entsprechen etwa 1 m/3,5 h. b) Zu "diese Arbeit": Aufgrund der Gleichartigkeit der Sedimentgesteine (inkl. Sedimentstrukturen etc.) werden die Akkumulationsraten der "Stämme-freien" Abschnitte mit denen der "Stämme-führenden" Abschnitte gleichgesetzt (Pos. 1.1.). Des Weiteren werden keine größeren Sedimentationsunterbrechungen angenommen. c) Zu BAILEY (2011): Unklar ist, ob eine Komprimierung berücksichtigt ist. TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER (1982, 17-18) geben z. B. ein Komprimierungsverhältnis von 7 : 1 an (Torfdolomitknolle, ihre Fig. 9) und eine Akkumulationsdauer für 1 m bituminöser Kohle von ungefähr "6000– 9000 Jahren". Wird ein Faktor 7 einbezogen, reduziert sich der Anteil der "kompensatorischen Lücken" (Pos. 5.4. bzw. 5.7.) entsprechend. Zu "diese Arbeit": Annahme einer Allochthonie, Ablagerung von Vegetations, matten" oder Relikten derselben (da Kohlen-Horizonte häufig geringmächtig), Rate wie Pos. 1.1. d) Zu BAILEY (2011): Annahme von Versätzen der 60-70 verschütteten Baum-"Horizonte" um bis zu 5 m; in Summe maximal 350 m (= 38 %, bezogen auf die Gesamtmächtigkeit von 915 m); es werden pauschal 35 % angesetzt. e) Der Anteil Klastika

"Stämme-frei" enthält vereinzelte, i. d. R. geringmächtige Karbonateinschaltungen, die hier vernachlässigt werden. Nach DAVIES et al. (2005), Appendix A, lässt sich die Gesamtmächtigkeit der Kohlen (dünne Horizonte und Flöze) zu 10,43 m aufaddieren; es werden pauschal 15 m angesetzt. f) BAILEY (2011) bezieht sich auf WALDRON & RYGEL (2005, 337), die wiederum auf MENNING et al. (2000) verweisen: Die Joggins-Formation (alte Definition: 1552 m) wird dem "unteren Langsettium" (regionale Westfalium-A-Substufe) zugerechnet mit einer Dauer von etwa 1,5 Millionen [radiometrischen] Jahren. Hieraus ergibt sich eine durchschnittliche Akkumulationsrate (komprimiert) von etwa 1,0 mm/[r]a, die auf die 915 m (Joggins-Formation, neue Definition nach Davies et al. 2005) übertragen wird. MENNING et al. (2000, ihre Fig. 6) geben für die Dauer der regionalen Langsettium-Substufe 2,0 (Skala A) bzw. 3,0 (Skala B) Millionen [radiometrische] Jahre an, SCOTT & STEPHENS (2015, ihre Table 3) als Durchschnitt 1,8 (Basis 8 Publikationen) und mit Bezug auf DAVYDOV et al. (2012) 2,6 Millionen [radiometrische] Jahre. *: Die Kalkulation ist bereits in KOTULLA (2020a) präsentiert worden. – Diskussion siehe Textteil.

Diskussion und Fazit

Das Ergebnis einer summarischen Betrachtung zur Ablagerungszeit von kohleführenden Sedimentgesteinsfolgen ist hauptsächlich abhängig von den Vorstellungen zur Akkumulationsbzw. Sedimentationsrate des Sediment-aufbauenden Materials. Diese werden konventionell im Wesentlichen von aktuogeologischen Beobachtungen oder von Zeitspannen abgeleitet, die sich aus radiometrischer Datierung und Eichung ergeben.

BAILEY (2011) unternimmt nur teilweise den Versuch, die gesamte Ablagerungszeit aus einer "Bottom-up"-Perspektive zu gewinnen, einer überschlägigen Aufaddierung angenommener Zeitspannen für definierte Sedimentgesteinseinheiten. Dieser Versuch ist hier weiterentwickelt worden. Im Vergleich zur vorgegeben radiometrisch bestimmten Dauer der untersuchten Sedimentgesteinsfolge stellt BAILEY (2011) "zeitliche Lücken" fest, deren Umfang – nach Berechnung der Verfasser – 34 bis 97 % der Gesamtdauer beträgt. Die nicht durch Sedimentgesteine repräsentierte Zeit befindet sich nach BAILEY (2011) in der Grenzfläche Kohlenflöz/überlagerndes Sedimentgestein. BAILEY (2011) beschreibt die jeweiligen Übergänge als konform und ohne erkennbare Hiaten.

Die alternative Betrachtungsweise der Verfasser ist ebenfalls "bottom-up". Allerdings werden geologisch-sedimentologisch begründet (s. Abschnitte 5.2 und 6.1) höhere Akkumulations- bzw. Sedimentationsraten angesetzt und insbesondere das Pflanzenmaterial (die späteren Kohlen) als allochthon angesehen. Auch werden keine größeren Sedimentationsunterbrechungen angenommen, wofür auch keine Indizien vorliegen. Für die so errechnete gesamte Ablagerungszeit von einigen Monaten werden aber – im Vergleich zur vorgegebenen radiometrisch bestimmten Dauer der untersuchten Sedimentgesteinsfolge in der Größenordnung von Millionen Jahren (implizit: radiometrische Jahre gleich Kalenderjahre) und dem vorgenannten Autor – keine "zeitlichen Lücken" gesucht. Vielmehr wird die krasse Differenz aufgezeigt und die "Vorgabe", die Gleichsetzung von Isotopenjahren mit Kalenderjahren, in Frage gestellt.

7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Der Sedimentgesteinsfolge der Joggins-Formation sind 75 Kohlenflöze zwischengeschaltet; 63 "Horizonte" führen Lycopsiden-Stämme und 220 "Horizonte" zusammengepresste Stigmarien-"Wurzeln" (Stand: DAVIES et al. 2005).
Zur Entstehung der euramerischen karbonischen Kohleablagerungen, insbesondere der Lokalität Joggins, ist die Beantwortung einer Frage entscheidend: Wie akkumulierte das Pflanzenmaterial, das heute als Kohlenflöze überliefert ist? Autochthon oder allochthon?

- (1) Die Entstehung der euramerischen karbonischen Kohleablagerungen gilt seit über 150 Jahren als geklärt – nämlich als autochthon. TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER (1982) führen folgende Belege für autochthone Kohlen an, die von Pflanzen entstehen, welche nach dem Tod in situ Torf bilden: "Wurzelböden im Liegenden der Flöze" sowie "aufrechte Stämme".
- (2) Das Kriterium "Wurzelböden im Liegenden der Flöze" ist nur dem Anschein nach gegeben. Stigmarien und Appendices (die Basisorgane der Lepidophyten, die "Wurzeln") kommen in zahlreichen Schichten vor, nicht nur und häufig nicht im Liegenden der Flöze.
- (2a) Die Basisorgane führenden Sedimentgesteine, Ton-, Silt-, Sand- und Kalksteine, zeigen – verglichen mit heutigen Böden – keine bodenbildenden Produkte wie Umwandlung, (Boden-) Horizonte etc.
- (2b) Die Basisorgane liegen im Sediment in vielfältiger Weise vor: Abgebrochene (abgeworfene?) Appendices regellos verstreut oder eingeregelt; zusammenhängende Basisorgane, zusammengepresst oder als "Körperfossil" (nicht zusammengepresst). Dies sind Anzeichen für sedimentäre Prozesse: subaquatische Ablagerung und teilweise Einregelung durch Strömung. Das Szenario bei Antransport und Absatz (allochthone Interpretation) könnte wie folgt gewesen sein: Eine Zerdrückung der Basisorgane, die im Wasser unter den vermutlich Matten-artigen (Schwimm-) Vegetationsdecken herabhingen, kann bei deren Absatz auf dem feinkörnigen Schlamm erfolgt sein. Andererseits könnten diese (ggf. im Sinken befindlichen) Vegetationsdecken mit im Wasser herabhängenden Basisorganen nahe dem Untergrund durch unterspültes Sediment fixiert worden sein.
- (3) Mit dem Kriterium "aufrechte Stämme" ist konkret ein Wachstum an Ort und Stelle (in situ) gemeint. Diese Interpretation ist aber nicht zwingend und mit Bezug auf die Natur der "Wurzelböden" ist das Kriterium nicht hinreichend (Punkt 2).
- (3a) Transportierte Baumstämme (ggf. mit Basisorganen) mögen in einer stabilen Gleichgewichtslage (= Wachstumsorientierung) zum Absatz gekommen sein.
- (3b) Es werden im Hangenden von Kohlenflözen sitzende Stämme bzw. Stammstümpfe beschrieben, die wurzellos und an der Basis abgerundet sind (sog. Kessel) und sowohl in Wachstumsposition als auch umgekehrt eingebettet sind (Ruhr-Becken).
- (4) Als weiteren Hinweis für eine Allochthonie führen die Verfasser mit Bezug auf andere Regionen – vulkanische Aschenlagen in Flözen an (Kohlentonsteine), die nur aquatisch abgesetzt worden sein können.
- (4a) Zum Zeitpunkt eines Aschenniedergangs war kein (Vegetations-) Relief vorhanden, also zu keinem Zeitpunkt kann ein mutmaßliches (Wald-) Sumpfmoor bestanden haben.

- (4b) Selbst die dünnsten Aschenlagen sind nicht durch ein Weiterwachsen der Vegetation von unter her ("Bottom-up-Perspektive") und nicht durch ein Einwurzeln einer neuen Vegetation(sdecke) von oben her ("Top-down-Perspektive") durchdrungen wurden.
- (5) Die Autochthonie-Belege (oder -Kriterien) von TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER (1982) sind nicht gegeben, demzufolge nicht valide. Die Verfasser schlagen eine allochthone Entstehung der Kohlen vor.

Eine allochthone Entstehung der Kohlen hat weitreichende Schlüsse zur Folge.

- (6) Ablagerungsenvironments gilt es zu überprüfen und gegebenenfalls zu revidieren; Vorstellungen einer Überlieferung karbonischer Sumpfmoor-Landschaften sind Fiktion.
- (7) Der Joggins-Küstenaufschluss eignet sich nicht als Prüffeld für eine autochthone Entstehung von Kohlen.
- (8) Entwicklungen in der Wissenschaft der Geologie, die von der Autochthonie-Vorstellung der Kohlenentstehung tiefgreifend beeinflusst worden sind, gilt es zu überprüfen und gegebenenfalls zu korrigieren; dies gilt beispielsweise für die Prinzipien des Uniformitarismus.
- (9) Bildungs- bzw. Ablagerungszeiten gilt es neu zu bewerten, insbesondere im Kontext der gesamten Sediment(gesteins)folge.

Zur Bestimmung der Ablagerungszeit der Sedimentfolge der Joggins-Formation werden zwei Ansätze präsentiert.

- (10) "Top-down"-/"Bottom-up"-Ansatz: Vorgabe einer radiometrischen Dauer von 915.000 Jahren (implizit: radiometrische Jahre gleich Kalenderjahre); durch Sedimente repräsentierte Zeit (nach Annahmen von BAILEY 2011): 3–66 %; daraus folgernd kompensatorische (Zeit-) Lücken: 97-34 %.
- (11) "Bottom-up"-Ansatz (der Verfasser) mit Annahmen von Akkumulationsraten in der Größenordnung von Meter/Stunden und von keinen größeren Sedimentationsunterbrechungen; Minimal-Betrachtung: 0,37 Jahre (4,5 Monate).
- (12) Der Unterschied der Ablagerungszeiten 915.000 [radiometrische] Jahre zu 0,37 Jahre – beträgt sechs bis sieben Größenordnungen; eine Gleichsetzung von Isotopenjahren mit Kalenderjahren wird in Frage gestellt (s. KOTULLA 2020a).

Anhang: Bilddokumentation

Kliffe von Joggins (Joggins-Formation)



Abb. 15 Kliffe von Joggins, Abschnitt Nord, Übersicht.

Unterer Teil der Joggins-Formation. Blick von nördlich Coal Mine Point (Distanz etwa 200 m) nach Norden; Koordinaten: N 45°42.016', W 64°27.058'. Siehe auch Abb. 2. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 16 Kliffe von Joggins, Abschnitt Süd, Übersicht I.

Oberer Teil der Joggins-Formation. Blick von Coal Mine Point Richtung Süden; Koordinaten: N 45°41.914', W 64°27.111'. Siehe auch Abb. 2. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 17 Kliffe von Joggins, Abschnitt Süd, Übersicht II.

Oberer Teil der Joggins-Formation. Blick von Dennis Point (im Süden) Richtung Coal Mine Point (im Norden); Koordinaten: N 45°41.354', W 64°27.244'. Siehe auch Abb. 2. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Anmerkungen: Die Fotografien entstanden April 2017 und August 2018, jeweils während eines Tages. Die Koordinaten beziehen sich auf den Standpunkt des Fotografen.



An diesen Punkten sind bei zwei eintägigen Begehungen aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme oder Calamiten-Stämme beobachtet worden. Karte: OpenStreetMap; Eintragungen durch die Verfasser.



Abb. 19 Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkt 1, Übersicht.

Wechselfolge aus Ton-/Siltsteinen und Sandsteinen. Zu a bis d und f siehe Detailaufnahmen (Abb. 20 bis Abb. 23); e ist fraglich (eine Detailaufnahme fehlt). Koordinaten: N 45°42.255', W 64°26.555'. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 20 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 1, Position a.

[Links] Umgeben von einer Wechselfolge aus Ton-/Siltsteinen und Sandsteinen. Steinkernerhaltung; die Verfüllung besteht im untersten Teil aus Ton-/Siltstein, darüber aus Sandstein. Position im Kliff siehe Abb. 19. Foto: S. DRÜEKE, 2017.

Abb. 21 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 1, Position d.

[Rechts] Umgeben von einer Sedimentfolge, die unten feinkörnig (Ton-/Siltstein) und weiter oben grobkörniger ist (Sandstein). Steinkernerhaltung (Hohlstamm); Überreste des Hohlgewächses sind partiell noch erhalten (Pfeil). Position im Kliff siehe Abb. 19. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 22 Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkt 1, Positionen b und c. Die Stämme 1b (links) und 1c (rechts) (Steinkerne) befinden sich in einem Niveau in einem Sandsteinkörper. Positionen im Kliff siehe Abb. 19. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 23 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 1, Position f.

Der Stamm verbreitet sich nach unten (Basis) mit Fortsätzen von Stigmarien (Basisorgane, weiße Pfeile); partiell sind Überreste des Hohlgewächses noch erhalten (schwarzer Pfeil). Der Hohlstamm (Basis) und die hohlen Stigmarien sind mit Sand verfüllt (Sandstein-Steinkern); darüber folgen Ton-/Siltsteine und erneut Sandstein. Der Stamm ist unten hauptsächlich von Ton-/Siltstein und oben von Sandstein umgeben. Position im Kliff siehe Abb. 19. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 24 Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkt 2, Übersicht. Wechselfolge aus Ton-/Siltsteinen und Sandsteinen. Zu a und b siehe Detailaufnahmen (Abb. 25 und Abb. 26). Koordinaten: N 45°42.172', W 64°26.736'. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 25 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 2, Position a.

[Links] Umgeben hauptsächlich von Sandstein und im untersten Teil von Ton-/Siltstein. Steinkern; Position im Kliff siehe Abb. 24. Foto: S. DRÜEKE, 2017.

Abb. 26 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 2, Position b.

[Rechts] Umgeben hauptsächlich von Sandstein und im untersten Teil von Ton-/Siltstein. Steinkern; Position im Kliff siehe Abb. 24. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 27 Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkt 3, Übersicht.

Wechselfolge aus Ton-/Siltsteinen und Sandsteinen mit einer Dominanz der gröberen Siliciklastika. Zu a und b siehe Detailaufnahmen (Abb. 28 und Abb. 29). Koordinaten: N 45°42.145', W 64°26.791'. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 28 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 3, Position a. [Links] Umgeben von Ton-/Siltsteinen und Sandsteinen. Position im Kliff siehe Abb. 27. Foto: S. DRÜEKE, 2017.

Abb. 29 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 3, Position b.

[Rechts] Der Stamm (Steinkern) ist unten hauptsächlich von Ton-/Siltstein und oben von Sandstein umgeben; partiell sind Überreste des Hohlgewächses noch erhalten (schwarzer Pfeil). Position im Kliff siehe Abb. 27. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 30 Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkte 3 und 4, Übersicht. Zu Punkt 3b vgl. Abb. 27. Detailaufnahmen zu Punkt 4 siehe Abb. 31. Koordinaten: keine. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 31 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 4.

Stammfragment umgeben von Sandstein. Rechts: Ausschnitt der Abb. links. Steinkernerhaltung (Hohlstamm); Überreste des Hohlgewächses sind partiell noch erhalten (Pfeil). Koordinaten: N 45°42.109', W 64°26.819'. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 32 Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkte 5 und 6, Übersicht. Wechselfolge aus Ton-/Siltsteinen und Sandsteinen. Zu Punkt 5 bzw. Punkt 6a siehe Detailaufnahmen (Abb. 33 bzw. Abb. 34). Koordinaten: N 45°42.099', W 64°26.853'. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 33 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 5. [Links] Die Stammverfüllung besteht unten aus Ton-/Siltstein und oben aus Sandstein. Position im Kliff siehe Abb. 32. Foto: S. DRÜEKE, 2017.

Abb. 34 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 6, Position a.

[Rechts] Abdruck – möglicherweise noch mit Gewebeüberresten – des Hohlstammes im Sandstein. Position im Kliff siehe Abb. 32. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 35 Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkt 6, Übersicht.

Sedimentfolge aus Ton-/Siltsteinen und Sandsteinen. Zu den Positionen a bis c siehe Detailaufnahmen (Abb. 34 sowie Abb. 36 und Abb. 37). Koordinaten: N 45°42.059', W 64°26.908'. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 36 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 6, Position b. [Links] Von Sandstein umgebener Stamm (Steinkern); mögliches untere Ende siehe Pfeil. Die Verfüllung im unteren Teil besteht aus Ton-/Siltstein. Position im Kliff siehe Abb. 35. Foto: S. DRÜEKE, 2017.

Abb. 37 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 6, Position c.

[Rechts] Von Ton-/Siltstein (unten) und Sandstein (oben) umgebener Stamm, Oberfläche mit kohligen Überresten des Gewebes des Hohlzylinders. Position im Kliff siehe Abb. 35. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 38 Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkt 7, Übersicht.

Wechselfolge aus Ton-/Siltsteinen und Sandsteinen mit einer Dominanz der feineren Siliciklastika. Zu den Positionen a und b siehe Detailaufnahmen (Abb. 39 und Abb. 40). Koordinaten: N 45°42.081', W 64°26.939'. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 39 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 7, Position a. [Links] Stamm umgeben von Ton-/Siltstein (unten) und Sandstein (oben); mit teilweiser Erhaltung der Feinstruktur (Ellipse, vgl. Abb. 84). Position im Kliff siehe Abb. 38. Foto: S. DRÜEKE, 2018.

Abb. 40 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 7, Position b.

[Rechts] Stamm umgeben von Ton-/Siltstein (unten) und Sandstein (oben); partiell mit kohligen Überresten des Gewebes des Hohlzylinders (Pfeil). Position im Kliff siehe Abb. 38. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 41 Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkte 6 und 7, Vergleich. Es handelt sich bei Punkt 6, Position c, (links) und Punkt 7, Position b, (rechts) um den gleichen Lycopsiden-Stamm (vgl. Abb. 37, 2017, mit Abb. 40, 2018). Neben quasi identischen Koordinaten ist die ausgeprägte Form der dickbankigen Sandsteinschicht (Abbruchkanten etc.) ein gutes Identifikationsmerkmal. Binnen eines Jahres ist der Lycopsiden-Stamm deutlich "herauspräpariert" worden, hauptsächlich seitlich und nach oben hin; der unterste Teil, umgeben von Ton-/Siltstein, ist nun weitgehend verschüttet. Auch sind die kohligen Überreste des Hohlgewächses fast gänzlich erodiert. – Da es sich um den gleichen Lycopsiden-Stamm handelt, sind auch die Sedimentfolgen der Punkte 6 und 7 identisch. Ein Jahr später sind allerdings die Lycopsiden-Stämme 6a und 6b nicht mehr vorhanden; neu aufgeschlossen ist Lycopsiden-Stamm 7a. Fotos: S. DRÜEKE, 2017 und 2018.



Abb. 42 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkte 7 und 8, Übersicht.

Unmittelbare Fortsetzung der Sedimentgesteinsfolge (vgl. Punkt 7b, Abb. 38), Richtung Süden (zum Hangenden). An Punkt 8, dem Kliffvorsprung etwa 200 m nördlich Coal Mine Point (Fortsetzung Abb. 43, Ankerpunkt weißer Pfeil), waren 2017 und 2018 keine Lycopsiden-Stämme aufgeschlossen. Koordinaten: N 45°42.056', W 64°26.988'. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 43 Punkt 8, Übersicht.

Kliffvorsprung etwa 200 m nördlich Coal Mine Point. Liegende Fortsetzung Abb. 42 (Ankerpunkt weißer Pfeil), hangende Fortsetzung Abb. 44 (Ankerpunkt dunkelblauer Pfeil). An diesem Punkt waren 2017 und 2018 keine Lycopsiden-Stämme aufgeschlossen. Koordinaten: N 45°42.015', W 64°27.058'. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 44 Punkt 9, Übersicht I.

Wechselfolge aus Ton-/Siltsteinen und Sandsteinen. Der Abschnitt umfasst etwa die Profilmeter 560-630 nach DAVIES et al. (2005); siehe hierzu auch Abb. 6. Rechts außerhalb des Bildes ist Coal Mine Point. Ausschnitt siehe Abb. 45. Koordinaten: N 45°41.943', W 64°27.120'. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 45 Punkt 9, Übersicht I (Ausschnitt).

Ein Vergleich mit Abb. 46 (2017) zeigt, wie schwierig es sein kann, dieselben Profilabschnitte – auf Grundlage von Fotografien alleine – wieder zu finden. Die Klifferosion (Steiluferabbrüche etc.) innerhalb eines Jahres kann beträchtlich sein. Weiteren Einfluss auf die Fotografien haben unterschiedliche Lichtverhältnisse, die Position des Fotografen und der Zustand des Aufschlusses, der insbesondere durch "Überschmieren" von hangendem Material stark maskiert sein kann. Zu einem Detailvergleich siehe Abb. 51. N 45°41.955', W 64°27.090'. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 46 Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkt 9, Übersicht II (Ausschnitt).

Zu den Positionen a bis d siehe Detailaufnahmen (Abb. 47 bis Abb. 50); an Position e ist 2013 ein Lycopsiden-Stamm entdeckt und entnommen worden (WONG 2014, seine Figs. 1.13B und 3.3A sowie Table 3.5, Station 016). Koordinaten: N 45°41.950', W 64°27.054'. Foto: S. DRÜEKE, 2017.





Abb. 47 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 9, Position a. [Links] Nur teilweise exponiertes Stammsegment; umgeben von Sandstein. Vgl. mit Aufnahme aus 2013 (WONG 2014, seine Fig. 1.11). Position im Kliff siehe Abb. 46. Foto: S. DRÜEKE, 2017.

Abb. 48 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm Punkt 9, Position b. [Mitte] Nur teilweise exponiertes Stammsegment; hauptsächlich umgeben von Sandstein. Position im Kliff siehe Abb. 46. Foto: S. DRÜEKE, 2017.

Abb. 49 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm Punkt 9, Position c. [Rechts] Stammsegment umgeben von Ton-/Siltstein und Sandstein. Position im Kliff siehe Abb. 46. Foto: S. DRÜ-EKE, 2017.



Abb. 50 Punkt 9, Position d.

Linker Kreis: Fraglicher Abdruck eines Lycopsiden-Stammes (eine Detailaufnahme fehlt). Eine Aufnahme von 2013 zeigt an dieser Position ein Stammsegment (WONG 2014, seine Fig. 1.4). Rechter Kreis: Fraglicher Rest eines Stammes (eine Detailaufnahme fehlt). Koordinaten: N 45°41.941', W 64°27.118'. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 51 Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkt 9, Übersicht I, Detail.

Im Vergleich zu Abb. 46 bis Abb. 49 hat sich die Fossilsituation ein Jahr später deutlich verändert. Zu a: Der Stamm (Steinkern) ist nicht mehr vorhanden, lediglich ein Abdruck. Zu b: Möglicherweise ist noch ein Teil des Stammes (Steinkern) vorhanden. Zu c: Der Stamm (Steinkern) ist nicht mehr vorhanden. Gelbe Pfeile: Markante Stellen zur Identifizierung des Profilabschnitts. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 52 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 10, Übersicht I. Sedimentfolge aus Ton-/Siltsteinen und Sandsteinen. Detailaufnahme zum Stammsegment (Pfeil) siehe Abb. 54. Koordinaten: N 45°41.674', W 64°27.049'. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 53 Punkt 10, Übersicht II.

Der Lycopsiden-Stamm (ursprüngliche Position siehe Pfeil, vgl. Abb. 52) ist ein Jahr später nicht mehr vorhanden. Vergrößerung siehe Abb. 55. Koordinaten: N 45°41.686', W 64°27.078'. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 54 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 10, Ausschnitt.

[Links] Fraglich ist, ob der eingekreiste Teil zum Stamm-Steinkern gehört. Es könnte sich um eine untere Verfüllung mit feinkörnigeren Siliciklastika handeln, die nicht so verwitterungsresistent ist. Position im Kliff siehe Abb. 52 und Abb. 56. Foto: S. DRÜEKE, 2017.

Abb. 55 Punkt 10, Ausschnitt.

[Rechts] Der Lycopsiden-Stamm – vgl. mit Abb. 54 – ist ein Jahr später nicht mehr vorhanden. Starke Ausschnittsvergrößerung von Abb. 53; eine Detailaufnahme ist nicht vorhanden. Position im Kliff siehe Abb. 53. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 56 Aufrecht stehende Baumstämme, Punkte 10 und 11, Übersicht.

Zu Punkt 10 bzw. Punkt 11 siehe Detailaufnahmen (Abb. 54 bzw. Abb. 57 bis Abb. 59). Koordinaten: N 45°42.099', W 64°26.853'. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 57 Calamiten-Stämme, Punkt 11b, Übersicht.

Zwei aufrecht stehende Calamiten-Stämme (weiße Pfeile) und einige fragliche Calamiten-Überreste (gelbe Pfeile). Detailaufnahme siehe Abb. 59. Position im Kliff siehe Abb. 56. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 58 Aufrecht stehender Calamiten-Stamm, Punkt 11, Position a. [Links]. Steinkernerhaltung; die Fortsetzung nach oben bildet wohl der Steinkern im Querschnitt (weißer Pfeil). Position im Kliff siehe Abb. 56. Foto: S. DRÜEKE, 2017.

Abb. 59 Aufrecht stehende Calamiten-Stämme, Punkt 11, Position b, Ausschnitt.

[Rechts] Es könnte sich um eine Stammverzweigung handeln; dann wäre die Einbettungsorientierung umgekehrt zur Wachstumsorientierung. Position im Kliff siehe Abb. 56. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 60 Aufrecht stehende Calamiten-Stämme, Punkt 12, Übersicht.

Punkt 12 befindet sich direkt neben (südlich) dem Treppenabgang zum Strand. Zu a und b siehe Detailaufnahmen (Abb. 61 und Abb. 62). Koordinaten: N 45°41.631', W 64°27.056'. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 61 Aufrecht stehende Calamiten-Stämme, Punkt 12, Position a.

Position a1: Abdrücke eines sich nach oben verzweigenden Calamiten-Hohlstammes. Position a2: Abdruck eines Calamiten-Stammes. Position a3: Verfüllung eines Stammes, *Calamites*? Positionen im Kliff siehe Abb. 60. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 62 Aufrecht stehende Calamiten-Stämme, Punkt 12, Position b.

Zwei Calamiten-Stämme. Position a1: Abdruck mit kohligen Überresten sowie Steinkern (unterer Teil). Position b2: Steinkern, kohlige Überreste des Hohlgewächses sind partiell noch erhalten (gelber Pfeil). Positionen im Kliff siehe Abb. 60. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 63 Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkt 13, Übersicht.

Wechselfolge aus Ton-/Siltsteinen und Sandsteinen mit einer Dominanz der feineren Siliciklastika. Zu den Positionen a und b siehe Detailaufnahmen (Abb. 64 bis Abb. 66). Koordinaten: N 45°41.594', W 64°27.066'. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 64 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 13, Position a.

[Links] Steinkern, partiell mit kohligen Überresten. Der Stamm ist von Ton-/Siltstein umgeben. Position im Kliff siehe Abb. 63. Foto: S. DRÜEKE, 2018.

Abb. 65 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 13, Position b.

[Rechts] Steinkern, an der Basis (links) Stigmarien-Fortsatz (gelber Pfeil, Detail siehe Abb. 66). Die Basis des Stammes ist von Ton-/Siltstein, der Stammteil darüber von Sandstein umgeben. Position im Kliff siehe Abb. 63. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 66 Stigmarie, Punkt 13.

Mit Sand verfüllte Stigmarie (Sandstein-Steinkern) an der Basis eines Lycopsiden-Stamms, umgeben von Ton-/Siltstein. Detail der Abb. 65; zur Position im Kliff siehe. Abb. 63. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 67 Calamiten-Stamm, Punkt 14, Übersicht.

Sedimentfolge aus Ton-/Siltsteinen und Sandsteinen. Zu einer Detailaufnahme des Stammes (Pfeil) siehe Abb. 68 und Abb. 69. Koordinaten: N 45°41.430', W 64°27.089'. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 68 Aufrecht stehender Calamiten-Stamm, Punkt 14, Detail.

[Links] Der Stamm setzt sich wahrscheinlich nach unten bogenförmig fort (Pfeile) und/oder die zwei unteren Fragmente sind weggebrochen und verrutscht. Partiell kohlige Überreste des Hohlbaums. Position im Kliff siehe Abb. 67. Foto: S. DRÜEKE, 2018.

Abb. 69 Calamiten-Stamm, Punkt 14, Ausschnitt.

[Rechts] Zwei Calamiten-Stammfragmente; Ausschnitt von Abb. 68. Foto: S. DRÜEKE, 2018.

<image>

Strände von Joggins (Joggins-Formation)

Abb. 70 Rippelmarken I.

Versteinerte Momentaufnahmen. Links: nahe Punkt 13; Koordinaten: N 45°41.557', W 64°27.061'. Rechts: nahe Punkt 8; Koordinaten: N 45°42.010', W 64°27.061'. Fotos: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 71 Rippelmarken II.

Ausbiss einer Sandsteinbank. Zwischen Punkt 13 und Punkt 14. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



rles Lyell and Sir udih Pennanen's n Years, Atlantic

sion to the ar-old J. William tudy of the one of the most d later, by Dawson



Sir William Dawson, the millipede Xyloiulus sigillariae, and Sir Charles Lyell

Abb. 72 Lycopsiden-Steinkern.

Steinkern-Fragment; die plattige Absonderung ist wohl auf die Schichtung des Sandsteins zurückzuführen. Links: Nahe Punkt 12; Koordinaten: N 45°41.644', W 64°27.049'. Foto: S. DRÜEKE, 2018. Rechts: DAWSON und LYELL entdecken 1852 in einem Lycopsiden-Steinkern Überreste eines Tausendfüßlers, der später den Namen Xyloiulus sigillariae erhalten wird (künstlerische Darstellung). Abbildung: Screenshot (Ausschnitt) der Seite https://jogginsfossilcliffs.net/research/historical/ (Zugriff April 2021); Betreiber ist das Jogqins Fossil Institute.



Abb. 73 Stigmarie mit Appendices I.

[Links] Stigmarie eines Lycopsiden-Baumes. Interpretation auf Grundlage der Aufsicht alleine: Flachgepresste Stigmarie mit Abbruchnarben (Stigmen, rote Pfeile) und seitlich mit flachgepressten, noch anhangenden Anhängen (Appendices, schwarze Pfeile). Nahe Punkt 10; Koordinaten: N 45°41.694', W 64°27.044'. Foto: S. DRÜEKE, 2018.

Abb. 74 Stigmarie mit Appendices II.

[Rechts] Stigmarie eines Lycopsiden-Baumes. Interpretation auf Grundlage der Aufsicht alleine: Mit Sediment verfüllte Stigmarie mit Überresten von Gewebe des Hohlzylinders (dunkelblaue Pfeile, Längsschnitt) und des inneren Zentralzylinders (gelbe Pfeile) sowie anhangenden Appendices (schwarze Pfeile) (vgl. Abb. 73). Nahe Punkt 10; Koordinaten: N 45°41.682', W 64°27.035'. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 75 "Clam Coal" I.

Links und rechts: Kalkiger, kohlenstoffreicher Tonstein hauptsächlich mit Bruchstücken von Zweischalern. Rechts Ausschnitt von links. Zwischen Punkt 13 und Punkt 14. Foto: S. DRÜEKE, 2017.





[Oben] Kalkiger, kohlenstoffreicher Tonstein hauptsächlich mit Bruchstücken von Zweischalern. Nahe Punkt 13; Koordinaten: N 45°41.614', W 64°27.058'. Foto: S. DRÜEKE, 2018.

Abb. 77 Kalkstein.

[Unten] Mit zahlreichen Zweischalern. Nahe Punkt 14; Koordinaten: N 45°41.465', W 64°27.073'. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 78 Kohlenflöz.

Anstehend, wenige cm mächtig. Coal Mine Point; "Flöz 15"? oder "Flöz-14"? nach LOGAN (1845). Koordinaten: N 45°41.916', W 64°27.111'. Foto: S. DRÜEKE, 2018.

Kliffe von Joggins (Springhill-Mines-Formation)



Abb. 79 Kliffvorsprung Dennis Point.

Wahrscheinlich handelt es sich bei dem von DAWSON (1855, Abb. S. 121) dargestellten Kliffvorsprung im Vordergrund (hier Abb. 4, seitliche Aufsicht) um diesen Punkt (Dennis Point; hier frontale Aufsicht). Dafür sprechen – neben der vermuteten Lage – die Abfolge eines dickbankigen mächtigen Sandsteins, der zunächst von einem Ton-/Siltsteinhorizont und danach von einem (exponierten) mittelbankigen Sandstein überlagert wird, sowie die Blockanhäufung am Fuß. Allerdings sind zum Zeitpunkt der Begehung keine Lycopsiden-Stämme oder Stigmarien beobachtet worden – wie sie DAWSON (1855) abgebildet hatte. Koordinaten: N 45°41.354', W 64°27.245'. Foto: S. DRÜEKE, 2018.

Museum – Joggins Fossil Centre



Abb. 80 Joggins Fossil Centre Museum I. Eingangsbereich. Eröffnet 2007. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 81 Joggins Fossil Centre Museum II.

Präsentation von Objekten der Fossilkliffe von Joggins. Teilbereich eines Ausstellungsraums. Zum Objekt Mitte links siehe Abb. 87. Foto: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 82 (Re)konstruktion der Landschaft zur "Steinkohlenzeit" II.

Zu Fauna und Flora: 1, "Geißelspinne"; 2, juveniler Lycopside (Bärlappgewächs); 3, Megasecopteride (Megasecoptera)⁸¹; 4, *Lepidodendron* (Gattung der Lepidodendraceae, Bärlappgewächs); 5, *Calamites* (Schachtelhalmgewächs); 6, *Sigillaria* (Gattung der Sigillariaceae, Bärlappgewächs); 7, *Dendrepeton* (eine Amphibiengattung). – Zur konstruierten Landschaft eines "Waldsumpfmoores" s. Textteil. Joggins Fossil Centre Museum; Foto: S. DRÜ-EKE, 2017.



Abb. 83 "Wälder und Bäume sehen".

Die Objektbeschreibung zu den aufrecht stehenden Lycopsiden-Bäumen unter der Überschrift "Wälder und Bäume sehen" lautet: "Fossilisierte Karbon-Bäume werden zusammen mit Kohleschichten quer über Europa, in den Appalachen und im Mittleren Westen der USA gefunden, aber Joggins ist der beste Platz auf der Erde, um sie zu sehen. In den Fossilkliffen von Joggins sind Bäume erhalten wie sie gewachsen sind, in Waldbeständen, die in der gleichen Gesteinsschicht (oft ein Kohlenflöz) wurzelten. Die ersten Wissenschaftler, die kamen, um die Kliffe von Joggins zu erkunden, wurden von Geschichten über aufrecht stehende Baumfossilien angelockt." – Zum Wachstum an Ort und Stelle (Autochthonie) siehe Textteil. Joggins Fossil Centre Museum; Foto: S. DRÜEKE, 2017.

⁸¹ Siehe hierzu z. B. CALDER et al. (2006) oder für ein Vorkommen bei Osnabrück BRAUCKMANN (1991).



Abb. 84 Lycopsiden-Stämme.

Steinkerne der basalen Stammteile. Das rechte Foto zeigt den linken Steinkern des linken Fotos aus einer anderen Perspektive. Dort sind im oberen Teil der sandigen Sedimentverfüllung des Hohlstamms längliche kohlige Pflanzenelemente schräg- oder nahezu senkrecht eingebettet; ein Indiz für eine Verfüllung (dieses Abschnitts) durch ein Sedimentationsereignis. Joggins Fossil Centre Museum; Fotos: S. DRÜEKE, 2017 und 2018.



Abb. 85 Stigmarie mit Appendices III.

Die Beschreibung zum Objekt (linkes Foto) lautet (rechtes Foto): *"Stigmaria*-Abdruck mit Würzelchen". Die "Würzelchen" (rootlets) werden im Textteil als Appendices bezeichnet. Erläuternd heißt es: "Die intakten Würzelchen der Lycopsiden-Bäume erzählen uns, dass sie [dort] wuchsen wo sie nun als Fossilien stehen." Vgl. mit Abb. 73 und Abb. 74. – Zur Diskussion Autochthonie versus Allochthonie siehe Textteil. Joggins Fossil Centre Museum; Fotos: S. DRÜEKE, 2018.



Abb. 86 Einbettung der aufrechten Lycopsiden-Bäume.

Vorstellung in Übereinstimmung mit der vorherrschenden Autochthonie-Sichtweise. Von links nach rechts, Phasen mit A bis D bezeichnet, und teilweise mit kurzer Ergänzung der Skizzenbeschreibungen (nach FERGUSON 1988⁸²): A) Lebender Baum, verwurzelt in Ton. "Das kernige Innere des Baumes würde verrotten, bevor die dicke Rinde – eine Aushöhlung im lebenden Baum bildend oder einen Hohlraum – tot hängen bleibt." B) 1. Sedimentationsereignis (Überflutung), Sediment umschließt den unteren Teil des Baumes; der Baum stirbt ab. "Irgendwann würde die Spitze des hohlen Baumes brechen und abfallen." C) Zahlreiche weitere Sedimentationsereignisse (Überflutungen). "Wiederholte Überflutungen über einen Zeitraum von mehreren Dekaden begraben den hohlen Baum." D) "Der hohle Baum, nun begraben, gefüllt mit Sand und Ton; [die Verfüllung] konserviert die Form des Baumes." – Zu einer Allochthonie-Sichtweise siehe Textteil. Joggins Fossil Centre Museum; Foto: S. DRÜEKE, 2017.

⁸² FERGUSON (1988, 15f) schreibt unter "How the fossil trees were preserved" (Unterstreichungen durch die Verfasser); die Grafiken A-D (s/w) sind bis auf ihre Farbgebung identisch mit denen im Museum (farbig): "The sequence of diagrams on the following page, shows how a lycopod tree at Joggins was gradually preserved. The bottom of each stump you see and any preserved roots are commonly surrounded by shale, and this is overlain by several feet of sandstone, which surrounds the lower part of the trunk. We know that shale is formed when mud becomes rock under pressure and that sandstone was originally sand. So the sequence of sedimentary rocks we find around the base of the fossil trees at Joggins suggests that mud was slowly deposited in the flood plain, permitting trees to become established and grow to maturity (A). Then, when the river burst its banks after a heavy rainfall, it brought in coarser sediment from the river channel which surrounded the tree and killed it. Later, the top of the tree was blown over by wind, leaving only a hollow stump (B). The inner tissues of the stump continued to rot as sediment accumulated around the trunk over the years (C). After the interior rotted and the upper part of the tree was removed, sediment accumulated until it reached the rim of the trunk, spilled into its interior and rapidly filled it (D). It was at this stage that the hollow stumps acted as traps for unwary reptiles and amphibians. The bark of the tree was slowly converted to coal, which explains why the tree stumps are now surrounded by a thin cylinder of coal. The coaly layer, about 1 cm thick, is all that is left of the bark around the base of the fossilized tree stump shown in the photograph below."



Abb. 87 Spurenfossilien.

Spuren verschiedener Amphibien ("*Limnopus* ,traffic"); Oberfläche ist Bankunterseite. Joggins Fossil Centre Museum; Foto: S. DRÜEKE, 2017.

Glossar mit Verzeichnis der Abkürzungen

Ø: Durchschnittlich, Durchmesser.

Abk.: Abkürzung.

Ablagerungsenvironment: → Einvironment.

Akkumulation, akkumuliert: (An)sammlung, (an)gesammelt.

Akkumulationsrate: Akkumulation von Sediment (Mächtigkeit) pro Zeiteinheit. \rightarrow Rate.

Amnioten: Ein von Ernst HAECKEL 1866 eingeführter Begriff für die "höheren" Klassen der Wirbeltiere – Reptilien, Vögel und Säugetiere.

Bentonite: Umgewandelte, d. h. ummineralisierte vulkanische Aschen (Ross & SHANNON 1926, WINTER 1969, HUFF 2016). Sie sind mitunter Sediment- bzw. Sedimentgesteinsfolgen zwischengeschaltet. Die Horizonte (oder Lagen) sind häufig nur millimeter- bis dezimeterdick, aber seitlich (lateral) weit aushaltend.

Bioturbation: Hier Durchwühlung des Meeresbodens durch Organismen; Wühlgefüge.

- **Brackisch:** Das Brackwasser betreffend; Gewässer mit intermediären Salzgehalt, je nach Definition zwischen 0,1 und 1 % oder auch zwischen 0,05 und 1,8 %.
- **Calamiten:** Gattung der Familie Calamitaceae; baumartige Schachtelhalme (bis zu 10, eventuell bis zu ~ 30 m hoch); fossile Überlieferung: Oberkarbon bis Unterperm.
- Chronostratigraphie: "(...) jener Teil der Stratigraphie, der sich mit den relativen Zeitbeziehungen und Alter der Gesteinskörper beschäftigt" (SALVADOR 1994, 77) oder anders ausgedrückt mit "der relativen Zeitgliederung anhand von Gesteinskörpern" (STEININGER & PILLER 1999, 4). Die formalen chronostratigraphischen Einheiten sind, hierarchisch aufsteigend: Stufe ("Grundeinheit"), Serie, System, Ärathem, Äonothem (s. Abb. 88, jedoch ohne Stufe).
- **Diskordanz:** Bei Sedimentgesteinen eine "nicht übereinstimmende" Abfolge; z. B. das winklige Abstoßen der Schichten eines (unteren) Gesteinskörpers gegenüber den aufliegenden Schichten eines (oberen) Gesteinskörpers (= Winkeldiskordanz).
- **Environment:** "Umwelt", "Umgebung"; ein allumfassender Begriff, der hier die angenommenen Zustände und Prozesse des Bereiches der Ablagerung wiedergibt, die wiederum aus den Ablagerungen selbst (sowie der Region bzw. des Beckens insgesamt) abgeleitet und interpretiert werden.

Exposition: Ausgesetztsein gegenüber Umwelteinflüssen.

Fazies: "Gesicht"; hier: Merkmale (Makro- und Mikrobereich), die die verschiedenen Ausbildungen von Sedimentgesteinen gleichen Alters kennzeichnen. Weitere Gliederungen nach petrographischem Aufbau (Lithofazies), charakterisierendem Fossilinhalt (Biofazies) oder anderen Kriterien. Häufig keine strikte Trennung zwischen Beschreibung und Interpretation.

Fig.: Figure; hier Abbildung.

Foraminifere: "Kammerlinge"; zumeist gehäusetragende Einzeller.

Gastropode: "Bauchfüßer"; Schnecke.



Abb. 88 Internationale Chronostratigraphische Tabelle. Mit Zuweisung geschätzter numerischer Alter des GTS2012-Altersmodells in Millionen [radiometrischen] Jahren (Mra) ohne Unsicherheiten; rechte Spalte. Nach Version v2020/01 der *Internationalen Stratigraphischen Kommission* (ICS) mit teilweise aktualisierten Alterswerten. Deutsche Bezeichnungen nach STDK2012 (Stratigraphische Tabelle von Deutschland Kompakt). Die regionale deutsche Stufengliederung für das Pennsylvanium lautet, von unten nach oben: Namurium (oberer Teil), Westfalium (weiter untergliedert in A–D) und Stefanium (weiter untergliedert in A–D); teilweise nach Stratigraphische Tabelle von Deutschland Kompakt 2017. Grafik: F. MEYER.

- Geochronologie: Die Geochronologie beschäftigt sich mit der "Datierung und Bestimmung der zeitlichen Abfolge von Ereignissen in der Geschichte der Erde" (SALVADOR 1994, 16). Die geochronologische Einheit ist eine Einheit der geologischen Zeit; "Zeit, die durch geologische Methoden bestimmt wird". Die geochronologische Einheit ist "kein Gesteinskörper und deshalb keine stratigraphische Einheit" (SALVADOR 1994, 16); sie ist immateriell. Die formalen geochronologischen Einheiten sind, hierarchisch aufsteigend: Alter, Epoche, Periode, Ära, Äon (Abb. 88). Die konkreten Bezeichnungen allerdings sind identisch mit denen der → Chronostratigraphie: Das geochronologische Äquivalent zu Kreide (System, chronostratigraphisch) ist Kreide (Periode).
- **Gefüge:** Beschreibende Darstellung der Lage der Gesteinsbestandteile zueinander und im Raum; bei Sediment(gestein)en Merkmale wie Korngrößenverteilung, Partikelform, Schichtungstypen, Schichtflächen.

Ggf.: Gegebenenfalls.

- **GTS (Geologic Time Scale):** Geologische Zeitskala; angehängte Jahreszahl (z. B. GTS2012) weist auf das Datum der Veröffentlichung/des Standes der Zeitskala.
- **Isotopenalter:** Mit radiometrischen Altersbestimmungsmethoden ermittelte Alter. → Zeitangaben.

K. A.: Keine Angabe.

Kalksteine, Klassifikation: Hier Klassifikation nach DUNHAM (1962) mit Ergänzungen nach EMBRY & KLOVAN (1972) verwendet; die Bezeichnungen werden in dieser Arbeit generell in Großschreibung wiedergegeben. Reihenfolge nach Zunahme der Originalkomponenten und ihrer Größe (allochthone Kalksteine): Mudstone, → Wackestone, → Packstone, Grainstone, Floatstone, Rudstone. Anmerkung: Wackestone bis Rudstone sind Schuttkalke; Mudstones können ebenfalls Schuttkalke sein.

Klastisch: Aus den Trümmern anderer Gesteine bestehend. \rightarrow Siliciklastisch.

- **Konglomerat:** Verfestigter, "zusammengeballter" Schotter mit hauptsächlich zugerundeten Geröllkomponenten; Adjektiv: **konglomeratisch**.
- Lithologie: Petrographie der Sedimente/-gesteine; umfasst häufig auch → Gefüge- und → Faziesmerkmale.
- Lithostratigraphie: Jener "Teil der Stratigraphie, der sich mit der Beschreibung und der systematischen Gliederung der Gesteinsabfolgen der Erdkruste beschäftigt (…)" (SALVADOR 1994, 31). Die lithostratigraphische Klassifikation gliedert "Gesteinskörper aufgrund ihrer [→] lithologischen Eigenschaften in Einheiten". Die formalen lithostratigraphischen Einheiten sind, hierarchisch aufsteigend: Bank oder Lage (bed), Subformation (member), Formation (formation), Gruppe (group). Die Formation ist die "Grundeinheit" der lithostratigraphischen Klassifikation, insbesondere als kartierbare Einheit und zur Beschreibung und Interpretation der Geologie einer Region (SALVADOR 1994, 33).
- **Lycophyten:** Gefäßpflanzen; dazu gehören die Klasse der Bärlapppflanzen (Lycopodiopsida oder Lycopsida), Farne und Samenpflanzen.
- Lycopsiden: Bärlapppflanzen; hier baumförmige, ausgestorbene Gewächse, bis zu 40 m hoch. Dazu gehören die Gattungen *Lepidodendron* (Schuppenbaum) und *Sigillaria* (Siegelbaum). Hohlgewächse, zum größten Teil aus "Rinden"gewebe bestehend.

Marin: Das Meer betreffend; bezieht sich auf im (oder durch das) Meer (verursachte) ablaufende Prozesse und Bildungen.

N: Nord, Norden, nördlich.

O: Ost, Osten, östlich.

Ostrakode: Muschelkrebs.

- Packstone: Lithifizierter "Kalksand". Kalkstein, der hauptsächlich aus Komponenten aufgebaut (komponentengestützt) ist; mit weniger als 10 % Komponenten > 2 mm und mit Mikrit in den Zwischenräumen (CaCO₃-Kristalle < 0,03 mm). → Kalkstein, Klassifikation.</p>
- **Palynostratigraphisch:** Palynostratigraphie ist die \rightarrow stratigraphische Arbeit mit Palynomorphen. Dazu zählen Pollen, Sporen und weitere Mikrofossilien.

Pos.: Position; häufig bei Tabellen verwendet.

- **Rate:** Angaben zu Sinkgeschwindigkeit, Akkumulations- oder Sedimentationsrate: **m/s**: Meter pro Sekunde; **m/d**: Meter pro Tag (d = day).
- **Regression:** "Zurückschreiten"; seewärtiges Zurückweichen einer Küstenlinie, seewärtiger Rückzug mariner Sedimentation.
- S: Süd, Süden, südlich.
- s.: siehe.

S.: Seite.

- **Schicht:** Der englische Begriff "bed" wird häufig mit Schicht übersetzt; lithostratigraphisch müsste es formal Bank oder Lage heißen.
- Sedimentationsrate: \rightarrow Akkumulation von Sediment (Mächtigkeit) pro Zeiteinheit; mitunter wird unterschieden nach brutto (unverfestigt, akkumuliert) oder netto (verfestigt). \rightarrow Rate.
- Sequenzstratigraphie: Sequenzstratigraphie "ist die stratigraphische Analyse von zyklisch aufgebauten, genetisch miteinander verwandten Gesteinsabfolgen innerhalb eines chronostratigraphisch definierten Rahmens"; eine Sequenz ist "eine relativ konforme Abfolge von genetisch miteinander in Beziehung stehenden Schichten (…), die an ihrer Basis und an ihrem Top durch [→] Diskordanzen und durch mit diesen korrelierenden Flächen begrenzt sind" (SCHÄFER 2010, 322). Das "Arbeitskonzept der Sequenzstratigraphie" (SCHÄFER 2010, 321) leitet sich von der hauptsächlich in der Erdölindustrie verwendeten seismischen Stratigraphie ab.
- **Siliciklastisch:** Material, welches sich aus Silicium-haltigen Mineralen zusammensetzt; oft zur Abgrenzung von Karbonatgesteinen.
- **Stratigraphie:** Hier: Systematische, geologische Beschreibung der Gesteinskörper, die die Erdkruste aufbauen, auch der nicht geschichteten. Grundlage ist der *Internationale Stratigraphische Leitfaden* (SALVADOR 1994).
- **Subaerisch:** An der freien Luft; bezieht sich auf Prozesse, die an der freien Luft bzw. an der Erdoberfläche auftreten.
- **Subsidenz:** "Niedersetzung", Senkung; hier: großräumige, tektonisch-verursachte Absenkung des Untergrundes.
- **Terrestrisch:** Das Land betreffend; bezieht sich auf Prozesse, Kräfte und Bildungen, die auf dem Festland auftreten.
- Tetrapode: "Vierfüßer"; hier das Spurenfossil eines "Vierfüßers".
- **Transgression:** "Überschreiten"; landwärtige Vorrücken einer Küstenlinie, landwärtige Ausbreitung → mariner Sedimentation.
- Uniformitarismus: Ein von WHEWELL (1832) geprägter Begriff zur Charakterisierung der "geologischen Prinzipien" von LYELL (1832). Das "Uniformitäts- oder Gleichförmigkeitsprinzip" (auch "Aktualitätsprinzip") ist heute *das* regulative Prinzip in der Geologie. "LYELL ließ für die Deutung der Vergangenheit als einzige Erfahrungsquelle nur zu beobachtende gegenwärtige geologische Vorgänge zu. Und: Nur durch strikte Befolgung dieser Methodologie sei die geologische Wahrheit zu ermitteln (GOULD 1990, 155)" (KOTULLA 2020b, Blatt 2-21).
- Vs.: Versus; gegen(übergestellt), bei Vergleichen.

W: West, Westen, westlich.

- **Wackestone:** "Kalk-Schlammstein"; hauptsächlich aus Mikrit aufgebaut (CaCO₃-Kristalle < 0,03 mm) mit mehr als 10 % Komponenten > 2 mm. \rightarrow Kalkstein, Klassifikation.
- Zeit- bzw. Altersangaben: Einfügungen in eckigen Klammern dienen unter Inkaufnahme einer Verschlechterung der Lesbarkeit – zur Konkretisierung oder Klarstellung; die Einfügung "[radiometrisch]" bezieht sich auf radiometrische Altersbestimmungen (inklusive Interpolation).
 - Präfixe: **k** (auch **K**) = Kilo (Tausend, 10^3), **M** (auch **m**) = Mega (Million, 10^6), **G** = Giga (Milliarde, 10^9). Weitere Abkürzungen: **Mio.** = Million; **rad./radiom.** oder **[r]** = radiometrisch. Jahr: **a** = annum; **y**, **Y**, **yr** = year.
- Zyklen n. Ordnung: Im Rahmen des interpretativen Modells der → Sequenzstratigraphie (VAIL et al. 1977, 1991) werden Ablagerungssequenzen als Zyklen 1. bis 6. Ordnung unterschieden. VAIL et al. (1991, 619) weisen jedem Zyklus eine Dauer (Zeitperiode) zu; diese wurde primär abgeleitet von der radiometrisch geeichten → chronostratigraphischen Tabelle: 1. Ordnung 50+, 2. Ordnung 3–50, 3. Ordnung 0,5–3,0, 4. Ordnung 0,08–0,5, 5. Ordnung 0,03–0,08 und 6. Ordnung 0,01–0,03 Millionen [radiometrische] Jahre.
- **Zyklostratigraphie:** Diese stratigraphische Subdisziplin befasst sich "(…) mit der Identifikation, Charakterisierung, Korrelation und Interpretation zyklischer Variationen in der stratigraphischen Überlieferung und, im Besonderen mit ihrer Anwendung in der Geochronologie, mit der Verbesserung der Genauigkeit und Auflösung Zeit-stratigraphischer Rahmenwerke. Für Letzteres nutzt sie astronomische Zyklen bekannter Periodizitäten, um die sedimentäre Überlieferung zu datieren und zu interpretieren. Die wichtigsten dieser Zyklen sind die Erd-Orbitalzyklen der Präzession, Obliquität und Exzentrizität (Milankovitch-Zyklen) (…)" (STRAS-SER et al. 2006, 75). Zu Zyklostratigraphie und Astrochronologie s. KOTULLA (2015).
- **Zyklus:** Sedimentäre Sequenz mit mindestens drei unterschiedlichen Sedimenttypen, die eine sich wiederholende Abfolge bilden; z.B. ABC, ABC, etc. (nach EINSELE et al. 1991, 4).
- **?:** Fragliches Vorkommen; unklare Beschreibung oder Situation.

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Formationen der Cumberland-Gruppe.	
Tab. 2	Cumberland-Becken.	3
Tab. 3	Profilaufnahmen der kohleführenden Sedimentfolge, Joggins.	12
Tab. 4	Joggins-Formation: radiometrisches Alter.	19
Tab. 5	Sedimentationsraten klastischer Abfolgen (kohleführendes Karbon)	28
Tab. 6	Kalkulation von Ablagerungszeiten für die Joggins-Formation	32

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Lage von Joggins in der Bay of Fundy, Nova Scotia	. 2
Abb. 2	Reichweite (Ausbiss) der Joggins-Formation entlang der Kliffküste	. 4
Abb. 3	Joggins Fossil Cliffs, Website (Ausschnitt).	. 5
Abb. 4	Küste von Joggins bei Hochwasser, 1853.	. 8
Abb. 5	Teilnehmer einer geologischen Exkursion 1913	. 9
Abb. 6	Joggins-Profil (Ausschnitt).	11
Abb. 7	Fundy-Kohlenflöz, Joggins-Formation.	13
Abb. 8	Profilskizze eines Stigmarien-führenden Abschnitts, Joggins	15
Abb. 9	Lycopsiden-Stamm mit anhangenden Stigmarien	16
Abb. 10	Kliffe von Joggins, Profilskizzen.	17
Abb. 11	L Eine (Re)konstruktion des Stigmarien-"Wurzel"systems	24
Abb. 12	2 Stigmarien mit und ohne Appendices.	25
Abb. 13	3 (Re)konstruktion der Landschaft zur "Steinkohlenzeit" I	25
Abb. 14	Kohlentonstein-Lage im Flöz Angelika, Ruhrkarbon	26
Abb. 15	5 Kliffe von Joggins, Abschnitt Nord, Übersicht.	36
Abb. 16	5 Kliffe von Joggins, Abschnitt Süd, Übersicht I	36
Abb. 17	7 Kliffe von Joggins, Abschnitt Süd, Übersicht II	36
Abb. 18	3 Übersicht der Punkte	37
Abb. 19	Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkt 1, Übersicht	38
Abb. 20	O Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 1, Position a	38
Abb. 21	L Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 1, Position d	38
Abb. 22	2 Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkt 1, Positionen b und c	39
Abb. 23	3 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 1, Position f	39
Abb. 24	Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkt 2, Übersicht	40
Abb. 25	Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 2, Position a	40
Abb. 26	5 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 2, Position b	40
Abb. 27	7 Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkt 3, Übersicht	41
Abb. 28	3 Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 3, Position a	41
Abb. 29	Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 3, Position b	41
Abb. 30) Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkte 3 und 4, Übersicht	42

Abb.	31	Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 4	. 42
Abb.	32	Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkte 5 und 6, Übersicht	. 43
Abb.	33	Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 5	. 43
Abb.	34	Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 6, Position a	. 43
Abb.	35	Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkt 6, Übersicht	. 44
Abb.	36	Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 6, Position b	. 44
Abb.	37	Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 6, Position c	. 44
Abb.	38	Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkt 7, Übersicht	. 45
Abb.	39	Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 7, Position a	. 45
Abb.	40	Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 7, Position b	. 45
Abb.	41	Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkte 6 und 7, Vergleich	. 46
Abb.	42	Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkte 7 und 8, Übersicht	. 46
Abb.	43	Punkt 8, Übersicht.	. 47
Abb.	44	Punkt 9, Übersicht I	. 47
Abb.	45	Punkt 9, Übersicht I (Ausschnitt).	. 47
Abb.	46	Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkt 9, Übersicht II (Ausschnitt)	. 48
Abb.	47	Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 9, Position a	. 48
Abb.	48	Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm Punkt 9, Position b	. 48
Abb.	49	Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm Punkt 9, Position c.	. 48
Abb.	50	Punkt 9, Position d.	. 49
Abb.	51	Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkt 9, Übersicht I, Detail	. 49
Abb.	52	Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 10, Übersicht I	. 50
Abb.	53	Punkt 10, Übersicht II	. 50
Abb.	54	Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 10, Ausschnitt	. 51
Abb.	55	Punkt 10, Ausschnitt	. 51
Abb.	56	Aufrecht stehende Baumstämme, Punkte 10 und 11, Übersicht	. 51
Abb.	57	Calamiten-Stämme, Punkt 11b, Übersicht.	. 52
Abb.	58	Aufrecht stehender Calamiten-Stamm, Punkt 11, Position a	. 52
Abb.	59	Aufrecht stehende Calamiten-Stämme, Punkt 11, Position b, Ausschnitt	. 52
Abb.	60	Aufrecht stehende Calamiten-Stämme, Punkt 12, Übersicht.	. 53
Abb.	61	Aufrecht stehende Calamiten-Stämme, Punkt 12, Position a	. 53
Abb.	62	Aufrecht stehende Calamiten-Stämme, Punkt 12, Position b	. 54
Abb.	63	Aufrecht stehende Lycopsiden-Stämme, Punkt 13, Ubersicht	. 54
Abb.	64	Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 13, Position a	. 55
Abb.	65	Aufrecht stehender Lycopsiden-Stamm, Punkt 13, Position b	. 55
Abb.	66	Stigmarie, Punkt 13	. 55
Abb.	67	Calamiten-Stamm, Punkt 14, Ubersicht.	. 56
Abb.	68	Autrecht stehender Calamiten-Stamm, Punkt 14, Detail	.56
Abb.	69	Calamiten-Stamm, Punkt 14, Ausschnitt.	. 56
Abb.	70	Rippelmarken I	. 57
Abb.	71	Rippelmarken II	. 57
Abb.	72	Lycopsiden-Steinkern	. 58

Abb.	73	Stigmarie mit Appendices I	58
Abb.	74	Stigmarie mit Appendices II	58
Abb.	75	"Clam Coal" I	59
Abb.	76	"Clam Coal" II	59
Abb.	77	Kalkstein	59
Abb.	78	Kohlenflöz	60
Abb.	79	Kliffvorsprung Dennis Point	60
Abb.	80	Joggins Fossil Centre Museum I	61
Abb.	81	Joggins Fossil Centre Museum II	61
Abb.	82	(Re)konstruktion der Landschaft zur "Steinkohlenzeit" II	62
Abb.	83	"Wälder und Bäume sehen"	62
Abb.	84	Lycopsiden-Stämme	63
Abb.	85	Stigmarie mit Appendices III	63
Abb.	86	Einbettung der aufrechten Lycopsiden-Bäume	64
Abb.	87	Spurenfossilien	65
Abb.	88	Internationale Chronostratigraphische Tabelle	67

Dank

Für eine Durchsicht des Manuskripts und wertvolle Hinweise danken wir Dr. Martin ERNST und Dr. Reinhard JUNKER.

Literatur

- ALLEN JP, FIELDING CR, RYGEL MC & GIBLING MR (2013) Deconvolving signals of tectonic and climatic controls from continental basins: An example from the Late Paleozoic Cumberland Basin, Atlantic Canada. Journal of Sedimentary Research *83*, 847–872.
- ARETZ M, HERBIG HG & WANG XD (2020) The Carboniferous Period. In: GRADSTEIN FM, OGG JG, SCHMITZ MD & OGG GM (Eds.) Geologic Time Scale 2020, 811–874.
- BAILEY RJ (2011) Buried trees and basin tectonics: A discussion. Stratigraphy 8, 1–6.
- BARLOW N (1958) (ed.) The autobiography of Charles Darwin 1809–1882. With the original omissions restored. Edited and with appendix and notes by his grand-daughter Nora Barlow. London; <u>http://darwin-online.org.uk/</u>
- BASHFORTH AR, FALCON-LANG HJ & GIBLING MR (2010) Vegetation heterogeneity on a Late Pennsylvanian braidedriver plain draining the Variscan Mountains, La Madalene Coalfield, northwestern Spain. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 292, 367–390.
- BECKER B (1982) Dendrochronologie und Paläoökologie subfossiler Baumstämme aus Flussablagerungen. Ein Beitrag zur nacheiszeitlichen Auenentwicklung im südlichen Mitteleuropa. Mitteilungen der Kommission für Quartärforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Band 5. Wien.
- BELL WA (1914) Joggins Carboniferous section, Nova Scotia. Geological Survey of Canada, Summary Report, 1912, 360–371.
- BENNETT AJR (1963) Origin and formation of coal seams. A literature survey. Commonwealth Science Industrial Research Organisation Miscellanous Report 239.
- BRAUCKMANN C (1991) Ein neuer Insekten-Rest (Megasecoptera) aus dem Ober-Karbon von Osnabrück. Osnabrücker naturwiss. Mitt. 17, 25–32.

BROADHURST FM (1964) Fossilized shell assemblages, trees and rates of sedimentation from the Upper Carboniferous of England. Norsk Geologisk Tidsskrift 44, 486.

BROADHURST FM & LORING DH (1970) Rates of sedimentation in Upper Carboniferous of Britain. Lethaia 3, 1–9.

- BROADHURST FM & MAGRAW D (1959) On a fossil tree found in an opencast coal site near Wigan, Lancashire. Geological Journal 2, 155–158.
- BROADHURST FM, SIMPSON IM & HARDY PG (1980) Seasonal sedimentation in the Upper Carboniferous of England. Journal of Geology *88*, 639–651.
- BROWN R & SMITH R (1829) Geology and mineralogy (of Nova Scotia). In: HALIBURTON TC (ed.) An historical and statistical account of Nova Scotia, Vol. 2, 414–453.
- BUCKLAND W (1842) Anniversary Address, February 19th, 1841. Proceedings of the Geological Society of London *3*, 469–540.
- BURGER K (1971) Monographie des Kaolin-Kohlentonsteins Zollverein 8 in den Essener Schichten (Westfal B1) des niederrheinisch-westfälischen Steinkohlenreviers. Teil I. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 2125. Köln und Opladen.
- BURGER K (1982) Kohlentonsteine als Zeitmarken, ihre Verbreitung und ihre Bedeutung für die Exploration und Exploitation von Kohlenlagerstätten. Z. dt. geol. Ges. *133*, 201–255.
- BURGER K, BIEG G & PFISTERER W (2005) Klassische und primitive Kaolin-Kohlentonsteine im Ruhroberkarbon. In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.) Stratigraphie von Deutschland V – Das Oberkarbon (Pennsylvanium) in Deutschland. Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg 254, 169–180.
- BURGER K & STADLER G (1971) Monographie des Kaolin-Kohlentonsteins Zollverein 8 in den Essener Schichten (Westfal B1) des niederrheinisch-westfälischen Steinkohlenreviers. Teil II. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 2126. Köln und Opladen.
- CALDER JH (2006) Coal age Galapagos: Joggins and the lions of nineteenth century geology. Atlantic Geology 42, 37–51.
- CALDER JH, BOEHNER RC, BROWN DE, GIBLING MR, MUKHOPADHYAY PK, RYAN RY & SKILLITER DM (1998) Classic Carboniferous Sections of the Minas and Cumberland Basins in Nova Scotia. The Society for Organic Petrology Annual Meeting Field Trip, 29–30 July, 1998.
- CALDER JH, GIBLING MR, GREY M, MUKHOPADHYAY PK, RYGEL MC & STIMSON MR (2011) Coals and Organic Deposits of The Joggins Fossil Cliffs World Heritage Site. Field Trip of the Annual Meeting of The Society for Organic Petrology, Halifax, 3 August, 2011.
- CALDER JH, GIBLING MR, SCOTT AC, DAVIES SJ & HEBERT BL (2006) A fossil lycopsid forest succession in the classic Joggins section of Novia Scotia: Paleoecology of a disturbance-prone Pennsylvanian wetland. In: GREB SF & DIMICHELE WA (eds.) Wetlands through time. Geological Society of America Special Paper *399*, 169–195.
- CALDER JH, RYGEL MC, HEBERT BL & FALCON-LANG HJ (2005) Sedimentology and stratigraphy of Pennsylvanian red beds near Joggins, Nova Scotia: the proposed Little River Formation with redefinition of the Joggins Formation. Atlantic Geology *41*, 143–167.
- COLEMAN JM & PRIOR DB (1980) Deltaic sand bodies. American Association of Petroleum Geologists. Education Course Note Series, v. 15. Tulsa, Oklahoma.
- DARWIN C (1846) Brief an J. D. Hooker vom 19. Mai 1846. Darwin Correspondence Project, "Letter no. 976," accessed on 29 January 2021, <u>https://www.darwinproject.ac.uk/letter/DCP-LETT-976.xml</u>
- DARWIN C (1847) Brief an J. D. Hooker vom 1. Mai 1847. Darwin Correspondence Project, "Letter no. 1085," accessed on 29 January 2021, <u>https://www.darwinproject.ac.uk/letter/DCP-LETT-1085.xml</u>
- DARWIN C (1859) On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life. London. <u>http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1859_Origin_F373.pdf</u>
- DARWIN C (1860) Über die Entstehung der Arten im Thier- und Pflanzen-Reich durch natürliche Züchtung, oder Erhaltung der vervollkommneten Rassen im Kampfe um's Daseyn. (Nach der zweiten [englischen] Auflage mit einer geschichtlichen Vorrede und anderen Zusätzen des Verfassers für diese deutsche Ausgabe aus dem Englischen übersetzt und mit Anmerkungen versehen von Dr. H. G. Bronn). Stuttgart. <u>http://caliban.mpiz-koeln.mpg.de/darwin/arten2/index.html</u>
- DAVIES R, HOWELL J, BOYD R, FLINT S & DIESSEL C (2006) High-resolution sequence-stratigraphic correlation between shallow-marine and terrestrial strata: Examples from the Sunnyside Member of the Cretaceous Blackhawk Formation, Book Cliffs, eastern Utah. AAPG Bulletin *90*, 1121–1140.
- DAVIES SJ, GIBLING MR, RYGEL MC & CALDER JH (2005) The Joggins Formation: stratigraphic framework and sedimentological log of the historic fossil cliffs. Atlantic Geology 41, 115–141.
- DAVYDOV VI, CROWLEY JL, SCHMITZ MD & POLETAEV VI (2010): High-precision U-Pb zircon age calibration of the global Carboniferous time scale and Milankovitch band cyclicity in the Donets Basin, eastern Ukraine. Geochem. Geophys. Geosyst. *11*, Q0AA04, doi:10.1029/2009GC002736.

- DAVYDOV VI, KORN D & SCHMITZ MD (2012) The Carboniferous Period. In: GRADSTEIN FM, OGG JG, SCHMITZ MD & OGG GM (Eds.) A Geologic Time Scale 2012. Volume 1/2, Oxford Amsterdam, 603–651.
- DAWSON JW (1854) On the coal measures of the South Joggins, Nova Scotia. Quarterly Journal of the Geological Society of London *10*, 1–42.
- DAWSON JW (1855) Acadian Geology: An Account of the Geological Structure and Mineral Resources of Nova Scotia. Edinburgh.
- DAWSON JW (1859) On a Terrestrial Mollusk, a Millepede, and new Reptiles, from the Coal Formation of Nova Scotia. Quarterly Journal of the Geological Society London *16*, 268–277.
- DAWSON JW (1861) Notice of the Discovery of Additional Remains of Land Animals in the Coal-Measures of the South Joggins, Nova Scotia. Quarterly Journal of the Geological Society London *18*, 5–8.
- DAWSON JW (1863) Notice of a new species of *Dendrerpeton*, and of the Dermal Covering of certain Carboniferous Reptiles. Quarterly Journal of the Geological Society London *19*, 469–473.
- DAWSON JW (1865) On the conditions of the deposition of coal, more especially as illustrated by the coal formation of Nova Scotia and New Brunswick. Quarterly Journal of the Geological Society London 22, 95–166.
- DAWSON JW (1867) On the discovery of a new Pulmonate Mollusc [*Zonites (Conulus) priscus*] in the Coal-Formation of Nova Scotia; with a description of the species by Philip P. CARPENTER. Quarterly Journal of the Geological Society London *23*, 330–333.
- DAWSON JW (1868) Acadian Geology or The Geology of Nova Scotia, New Brunswick and Prince Edward Island. 2nd Edition, Edinburgh.
- DIMICHELE WA & FALCON-LANG HJ (2011) Pennsylvanian 'fossil forests' in growth position (T° assemblages): origin, taphonomic bias and palaeoecological insights. Journal of the Geological Society, London, *168*, 585–605.
- DIMICHELE WA & GASTALDO RA (2008) Plant paleoecology in deep time. Annals of the Missouri Botanical Garden *95*, 144–198.
- DOLBY G (1991) The palynology of the Western Cumberland Basin, Nova Scotia. Unpublished report, Nova Scotia Department of Mines and Energy. Open File Report 91–006.
- DULLO W-C & DEVEY C (2016) Joggins Cliff on Nova Scotia: the most spectacular view into Upper Carboniferous time. Int J Earth Sci (Geol Rundsch) 105, 581–582.
- DUNHAM RJ (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional texture. Mem. Ass. Petrol. Geol. 1, 108–121.
- EINSELE G, RICKEN W & SEILACHER A (1991) Cycles and Events in Stratigraphy Basic Concepts and terms. In: EINSELE G, RICKEN W & SEILACHER A (Eds.) Cycles and Events in Stratigraphy. Berlin Heidelberg, 1–22.
- EMBRY AF & KLOVAN EJ (1972) Absolute water depths limits of Late Devonian paleoecological zones. Geologische Rundschau *61*, 672–686.
- FALCON-LANG HJ (2006) A history of research at the Joggins Fossil Cliffs of Nova Scotia, Canada, the world's finest Pennsylvanian section. Proceedings of the Geologists' Association 117, 377–392.
- FALCON-LANG HJ, BENTON MJ, BRADDY SJ & DAVIES SJ (2006) The Pennsylvanian tropical biome reconstructed from the Joggins Formation of Canada. Journal of the Geological Society, London, *163*, 561–576.
- FALCON-LANG HJ & CALDER JH (2004) UNESCO World Heritage and the Joggins cliffs of Nova Scotia. Geology Today 20, 140–144.
- FERGUSON L (1970) Sedimentary Evidence for the Allochthonous Origin of *Stigmaria*, Carboniferous, Nova Scotia: Discussion. Geological Society of America Bulletin *81*, 2531–2254.
- FERGUSON L (1988) The Fossil Cliffs of Joggins. Halifax.
- FÜCHTBAUER H & MÜLLER G (1977) Sediment-Petrologie Teil II. Sedimente und Sedimentgesteine. 3. Auflage, Stuttgart.
- GASTALDO RA & DEMKO TM (2010) Long term hydrology controls the plant fossil record. In: Allison PA & BOTTJER DJ (eds) Taphonomy: Processes and Bias Through Time, 2nd Edition. Topics in Geobiology *32*, 249–286.
- GASTALDO RA & STAUB JR (1999) A mechanism to explain the preservation of leaf litter lenses in coals derived from raised mires. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 149, 1–14.
- GASTALDO RA, STEVANOVIC-WALLS I & WARE WN (2004) Erect forests are evidence for coseismic base-level changes in Pennsylvanian cyclothems of the Black Warrior Basin, U.S.A. In: PASHIN JC & GASTALDO RA (eds.) Sequence stratigraphy, paleoclimate, and tectonics of coal-bearing strata. AAPG Studies in Geology *51*, 219–238.
- GESNER A (1846) A Geological Map of Nova Scotia, with an accompanying Memoir. Proceedings of the Geological Society of London *4*, 186–190 (Session 1842–1843).
- GIBLING MR, NANSON GG & MAROULIS JC (1998) Anastomosing river sedimentation in the Channel Country of central Australia. Sedimentology *45*, 595–619.
- GOEPPERT HR (1848) Abhandlung, eingesandt als Antwort auf die Preisfrage: "Man suche durch genaue Untersuchungen darzuthun, ob die Steinkohlenlager aus Pflanzen entstanden sind, welche an den Stellen, wo jene

gefunden werden, wuchsen; oder ob diese Pflanzen an anderen Orten lebten, und nach den Stellen, wo sich die Steinkohlenlager befinden, hingeführt wurden?" (Eine gekrönte Preisschrift), Leiden Düsseldorf.

- GOULD SJ (1990) Die Entdeckung der Tiefenzeit. Zeitpfeil oder Zeitzyklus in der Geschichte unserer Erde. München Wien.
- GRADSTEIN FM, OGG JG, SCHMITZ MD & OGG GM (Eds.) (2012) The Geologic Time Scale 2012. Volume 1/2, Oxford Amsterdam.
- GRADSTEIN FM, OGG JG, SCHMITZ MD & OGG GM (Eds.) (2020) Geologic Time Scale 2020. Volume 1/2, Oxford Amsterdam.
- GREB SF (2013) Coal more than a resource: Critical data for understanding a variety of earth-science concepts. International Journal of Coal Geology *118*, 15–32.
- GREB SF, EBLE CF, HOWER JC & ANDREWS WM (2002) Multiple-bench architecture and interpretations of original mire phases – Examples from the Middle Pennsylvanian of the Central Appalachian Basin, USA. International Journal of Coal Geology 49, 147–175.
- HETHERINGTON AJ, BERRY CM & DOLANA L (2016) Networks of highly branched stigmarian rootlets developed on the first giant trees. PNAS *113*, 6695–6700.

HUFF WD (2016) K-bentonites: A review. American Mineralogist 101, 43-70.

- JABLOKOV VS, BOTVINKINA LN & FEOFILOVA AP (1960) Sedimentation in the Carboniferous and the significance of alluvial deposits. Compte Rendu, Quatrième Congrès International de Stratigraphie et de Géologie du Carbonifère, Heerlen, 1958, volume 1, 293–300.
- JERRETT RM, DAVIES RC, HODGSON DM, FLINT SS & CHIVERRELL RC (2011) The significance of hiatal surfaces in coal seams. Journal of the Geological Society, London, *168*, 629–632.
- JESSEN W (1955) Das Ruhrkarbon (Namur C ob. Westfal C) als Beispiel für extratellurisch verursachte Zyklizitäts-Erscheinungen. Geol. Jb. 71, 1–20.
- JESSEN W (1961) Zur Sedimentologie des Karbon mit Ausnahme seiner festländischen Gebiete. Compte Rendu, Quatrième Congrès International de Stratigraphie et de Géologie du Carbonifère, Heerlen, 1958, volume 2, 307–322.

Joggins Fossil Institute (2007) Nomination of The Joggins Fossil Cliffs for Inscription on the World Heritage List.

- KASIELKE T (2013) Exkursion: Essen-Heisingen, geologische Exkursion am Nordufer des Baldeneysees. Jahrb. Bochumer Bot. Ver. 4, 95–105.
- KELLY TB & WACH GD (2020) Analysis of factors influencing the interpretation of a digitally examined fluvial meanderbelt system: Joggins Formation, Nova Scotia. Can. J. Earth Sci. 57, 524–541.

KLUSEMANN H & TEICHMÜLLER R (1954) Begrabene Wälder im Ruhrkohlenbecken. Natur und Volk 84, 373–382.

KOTULLA M (2015) Sedimentfolgen und ihre Interpretation: Zyklostratigraphie und das Milankovich-Zyklen-Syndrom. W+W Special Paper G-15-1, Baiersbronn.

https://www.wort-und-wissen.org/wp-content/uploads/g-15-1_zyklostratigraphie_und_milankovitchzyklen.pdf

KOTULLA M (2020a) Bentonit-Horizonte in paläozoischen Sedimentfolgen: Tephrostratigraphie und U-Pb-Altersbestimmungen mit magmatogenen Zirkonen. W+W Special Paper G-20-1, Baiersbronn.

https://www.wort-und-wissen.org/wp-content/uploads/Bentonit-Horizonte G-20-1.pdf

KOTULLA M (2020b) Gültigkeit und Grenzen geologischer Zeitbestimmung. Online-Loseblattsammlung, 2. Ergänzungslieferung.

https://www.wort-und-wissen.org/publikationen/geologie-loseblattsammlung/

KUKUK P (1938) Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes. Textband, Berlin.

- KUKUK P & HAHNE C (1962) Die Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebirges (Ruhrreviers). Herne.
- LARGE DJ & MARSHALL C (2015) Use of carbon accumulation rates to estimate the duration of coal seams and the influence of athmospheric dust deposition on coal composition. In: SMITH DG, BAILEY RJ, BURGESS PM & FRASER AJ (eds) Strata and Time: Probing the Gaps in Our Understanding. Geological Society, London, Special Publications 404, 303–315.
- LEEDER MR, NAMI M, SCOTT AC & GARDINER A (1984) Studies on the sedimentology, palaeontology and palaeoecology of the Middle Coal Measures, (Westphalian B, Upper Carboniferous) at Swillington, Yorkshire. II. Centroclinal cross strata preserved around an in situ vertical tree trunk. Transactions of the Leeds Geological Association 10, 17–21.
- LOGAN WE (1842a) On the beds of clay immediately below the coal-seams of South Wales, and on coal-boulders in the Pennant Grit of that district. Proceedings of the Geological Society of London *3*, 275–277 (Session 1839–1840).
- LOGAN WE (1842b) On the Coal-fields of Pennsylvania and Nova Scotia. Proceedings of the Geological Society of London *3*, 702–712 (Session 1841–1842).

LOGAN WE (1845) Section of the Nova Scotia coal measures as developed at Joggins on the Bay of Fundy, in descending order, from the neighborhood of the west Ragged Reef to Minudie, reduced to vertical thickness. Geological Survey of Canada, Report of Progress for 1843, Appendix, 92–159.

LOTZE R (1922) Jahreszahlen der Erdgeschichte. Stuttgart.

- LYELL C (1832) Principles of Geology, being an Attempt to Explain the Former Changes of the Earth's Surface, by Reference to Cause Now in Operation. Vol. II, London.
- LYELL C (1845) Travels in North America; with geological observations on the United States, Canada, and Nova Scotia, Vol. 2, London.
- LYELL C (1846a) On the upright Fossil-trees found at different levels in the Coal strata of Cumberland, Nova Scotia. Proceedings of the Geological Society of London *4*, 176–178 (Session 1842–1843).
- LYELL C (1846b) Charles Lyell's Reisen in Nordamerika mit Beobachtungen über die geognostischen Verhältnisse der Vereinigten Staaten, von Kanada und Neu-Schottland. Halle.
- LYELL C (1881) Letter to his sister: July 30. In: LYELL KM (ed.) Life, letters, and journals of Sir Charles Lyell, Bart. London, Volume 2, 64–66.
- LYELL C & DAWSON JW (1853) On the remains of a reptile (*Dendrerpeton acadianum* Wyman and Owen), and of a land shell discovered in the interior of an erect fossil tree in the coal measures of Nova Scotia. Quarterly Journal of the Geological Society of London *9*, 58–63.
- McCABE PJ (1991) Tectonic controls on coal accumulation. Bulletin de la Société Géologique de France 162, 277– 282.
- MENNING M, WEYER D, DROZDZEWSKI G, VAN AMEROM HWJ & Wendt I (2000) A Carboniferous Time Scale 2000: Discussion and Use of Geological Parameters as Time Indicators from Central and Western Europe. Geol. Jahrb. *A156*, 3–44.
- MILLS DAC & HULL JH (1976) Geology of the Country Around Barnard Castle, Explanation of 1-inch Geological Sheet 32. Institute of Geological Sciences, London.
- MURAWSKI H & MEYER M (2010) Geologisches Wörterbuch. 12. Auflage, Stuttgart.
- MURCHISON RI, DE VERNEUIL & VON KEYSERLING A (1845) The Geology of Russia in Europe and the Ural Mountains. Vol. I. Geology. London.
- O'BRIEN NR (1964) Origin of Pennsylvanian Underclays in the Illinois Basin. Bull. Geol. Soc. Amer. 75, 823–832.
- ODOM JE (1967) Clay fabric and its relation to structural properties in mid-continent Pennsylvanian sediments. J. Sediment. Petrol. *37*, 610–623.
- OGG J & LUGOWSKI A (2013, 2014) TSCreator visualization of enhanced Geologic Time Scale 2004 database (Version6.2; 2014), <u>http://www.tscreator.org</u>
- PARHAM WE (1964) Lateral clay mineral variations in certain Pennsylvanian underclays. Proc. 12th Conf. Clays and Clay Minerals, 581–602.
- ROESCHMANN G (1962) Wurzelböden des Ruhrkarbons. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. 3, 497–524.
- Ross CS & SHANNON EV (1926) The minerals of bentonite and related clays and their physical proberties. Journal of the American Ceramic Society *9*, 77–96.
- RUPKE NA (1969) Sedimentary Evidence for the Allochthonous Origin of *Stigmaria*, Carboniferous, Nova Scotia. Geological Society of America Bulletin *80*, 2109–2114.
- RUPKE NA (1970) Sedimentary Evidence for the Allochthonous Origin of *Stigmaria*, Carboniferous, Nova Scotia: Reply. Geological Society of America Bulletin *81*, 2535–2538.
- RYGEL MC, LALLY C, GIBLING MR, IELPI A, CALDER JH & BASHFORTH AR (2015) Sedimentology and stratigraphy of the type section of the Pennsylvanian Boss Point Formation, Joggins Fossil Cliffs, Nova Scotia, Canada. Atlantic Geology 51, 1–43.
- RYGEL MC, SHELDON EP, STIMSON MR, CALDER JH, ASHLEY KT & SALG J (2014) The Pennsylvanian Springhill Mines Formation: sedimentological framework of a portion of the Joggins Fossil Cliffs UNESCO World Heritage Site. Atlantic Geology *50*, 249–289.
- SALVADOR A (1994) (Ed.) International Stratigraphic Guide. 2nd ed.
- SCHÄFER A (2010) Klastische Sedimente. Fazies und Sequenzstratigraphie. Durchgesehener und korrigierter Nachdruck, Heidelberg.
- SCHIEBER J, SOUTHARD J & THAISEN K (2007) Accretion of Mudstone Beds from Migrating Floccule Ripples. Science 318, 1760–1763.
- SCHULTZ LG (1958) Petrology of Underclays. Bull. Geol. Soc. Amer. 69, 363-402.
- SCOTT AC & STEPHENS RS (2015) British Pennsylvanian (Carboniferous) coal-bearing sequences: where is the time? In: SMITH DG, BAILEY RJ, BURGESS PM & FRASER AJ (eds) Strata and Time: Probing the Gaps in Our Understanding. Geological Society, London, Special Publications 404, 283–302.
- SHEARER JC, STAUB JR & MOORE TA (1994) The conundrum of coal bed thickness: A theory for stacked mire sequences. Journal of Geology 102, 611–617.

- STEININGER FF & PILLER WE (1999) (Hrsg.) Empfehlungen (Richtlinien) zur Handhabung der stratigraphischen Nomenklatur. Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg 209, 1–19.
- STEPHAN EL, ASHLEY KT & RYGEL MC (2009) Sedimentology of the Pennsylvanian Ragged Reef Formation, Cumberland Basin, Nova Scotia. Geological Society of America, Abstracts with Programs 41 (3), 27.
- STEVENSON JJ (1911a) The formation of coal beds. I. An historical summary of opinion from 1700 to the present time. Proceedings of the American Philosophical Society *50*, 1–116.
- STEVENSON JJ (1911b) The formation of coal beds. II. Some elementary problems. Proceedings of the American Philosophical Society *50*, 519–643 [177–241].
- STEVENSON JJ (1912) The formation of coal beds. III. The rocks of the Coal Measures. Proceedings of the American Philosophical Society *51*, 423–553.
- STEVENSON JJ (1913) The formation of coal beds. IV. Proceedings of the American Philosophical Society 52, 31– 162.
- STÖFFLER D (1963) Neuere Erkenntnisse in der Tonsteinfrage auf Grund sedimentpetrographischer und geochemischer Untersuchungen im Flöz Wahlschied der Grube Ensdorf (Saar). Beitr. Miner. Petrogr. 9, 285–312.
- STRASSER A, HILGEN FJ & HECKEL PH (2006) Cyclostratigraphy concepts, definitions, and applications. Newsl. Stratigr. 42, 75–114.
- TEICHMÜLLER M & TEICHMÜLLER R (1982) The geological basis of coal formation. In: STACH E, MACKOWSKY M-T, TEICH-MÜLLER M, WAYLOR GH, CHANDRA D & TEICHMÜLLER R (eds.) Stach's Textbook of Coal Petrology. 3rd, rev. and enlarged edition, 5–86.
- TYE RS & COLEMAN JM (1989) Depositional processes and stratigraphy of fluvially dominated lacustrine deltas: Mississippi Delta plain. Journal of Sedimentary Petrology 59, 973–996.
- UTTING J, GILES PS & DOLBY G (2010) Palynostratigraphy of Mississippian and Pennsylvanian rocks, Joggins area, Nova Scotia and New Brunswick, Canada. Palynology *34*, 43–89.
- VAIL PR, AUDEMARD F, BOWMAN SA, EISNER PN & PEREZ-CRUZ C (1991) The Stratigraphic Signatures of Tectonics, Eustasy and Sedimentology an Overview. In: EINSELE G, RICKEN W & SEILACHER A (Eds.) Cycles and Events in Stratigraphy, 617–659.
- VAN HINSBERGEN DJJ, ABELS HA, BOSCH W, BOEKHOUT F, KITCHKA A, HAMERS M, VAN DER MEER DG, GELUK M & STEPHENSON RA (2015) Sedimentary geology of the middle Carboniferous of the Donbas region (Dniepr-Donets basin, Ukraine). Scientific Reports 5, DOI:10.1038/srep09099.
- WALDRON JWF & RYGEL MC (2005) Role of evaporite withdrawal in the preservation of a unique coal-bearing succession: Pennsylvanian Joggins Formation, Nova Scotia. Geology 33, 337–340.
- WELLER JM (1930) Cyclical sedimentation of the Pennsylvanian period and its significance. J. Geol. 38, 97–135.
- WINTER J (1969) Stratigraphie und Genese der Bentonitlagen im Devon der Eifeler Kalkmulden. Fortschr. Geol. Rheinl. Westf. *16*, 425–472.
- WHEWELL W (anonym publiziert) (1832) Principles of Geology [...] by Charles Lyell [...]; Vol. II, London. The Quarterly Review 47, 103–132.
- WONG C (2014) Lidar survey of the Joggins Formation in the Coal Mine Point section, Cumberland Basin (Nova Scotia, Canada). Dalhousie University, Halifax, B. Sc. thesis.
- YAWAR Z & SCHIEBER J (2015) Flume studies with graded quartz and mixtures of quartz, kaolinite and illite Implications for silt laminated shales in the rock record. Adapted from oral presentation. AAPG Annual Convention & Exhibition 2015. Search & Discovery Article #51141.

Anmerkung: Die Übersetzung der verwendeten Zitate erfolgte durch die Verfasser.

Impressum

Studiengemeinschaft Wort und Wissen e. V. Geschäftsstelle Rosenbergweg 29, 72270 Baiersbronn Tel.: 07442-81006 E-Mail: sg@wort-und-wissen.de Internet: www.wort-und-wissen.org