

Karbonzeit: Wie ent- standen die Kohlenablagerungen?

Mitte des 19. Jahrhunderts versuchten führende Geologen, die Entstehung der karbonischen Kohlenlager zu entschlüsseln: War das Pflanzenmaterial an Ort und Stelle gewachsen – verwurzelt im Untergrund – (autochthon) oder war es antransportiert und abgelagert worden (allochthon)? Die Autochthonie/Allochthonie-Frage gilt seit Lyell und Dawson zu Gunsten der Autochthonie als geklärt. – Eine voreilige Entscheidung. Denn werden neuere Erkenntnisse entsprechend ausgewertet, liegen zahlreiche Indizien für eine allochthone Entstehung vor.

Michael Kotulla

Einleitung

Die Kliffe von Joggins (Nova Scotia, Kanada) gelten als der weltbeste Aufschluss kohleführender karbonischer Schichten und sind berühmt für ihre verschütteten, aufrecht stehenden Bäume (Abb. 1, Kasten 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“ (WALDRON & RYGEL 2005).¹

Nach DAVIES et al. (2005) hätten Charles LYELL und William DAWSON realisiert,² dass es sich bei „Joggins“ um urzeitliche Landschaften handle, die von bemerkenswerten Pflanzen und Tieren bewohnt waren. Diese Landschaften sol-

len charakterisiert sein durch ein wiederholtes Wachsen und Ausbreiten von Vegetationsdecken (die späteren Kohlenflöze), die episodisch von Sediment überschüttet wurden.

Diese urzeitlichen Landschaften – Waldsumpfmoores (Abb. 2, Abb. Z1–Z2) – soll es in allen Regionen mit kohleführenden, oberkarbonischen Ablagerungen des euramerischen Raumes gegeben haben, – mit Bezug auf einige der heutigen Staaten – von den USA und Kanada über Großbritannien, Frankreich, Deutschland, Tschechien und Polen bis in die Ukraine.

Belege für Autochthonie

Unter den meisten Geologen gilt heute als allgemein akzeptiert, dass das ursprüngliche Pflanzenmaterial der euramerischen Kohlenflöze fast ausschließlich an Ort und Stelle gewachsen,

Abb. 1 Lycopsiden-Stamm mit anhängenden Stigmarien. In aufrechter (Wachstums-) Position; Steinkern-erhaltung, Joggins-Formation (Oberkarbon), Cumberland-Becken, Nova Scotia (Kanada). Neigung der Schichten „korrigiert“; Maßstab: s. Geologenhammer. Foto: Michael C. RYGEL, 2001 (Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0).

verändert und eingebettet wurde – so schreiben TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER (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.“³

Vorgehensweise

Zur Autochthonie/Allochthonie-Frage werden neuere Erkenntnisse präsentiert und die von TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER (1982) konkret genannten Belege für Autochthonie diskutiert. Dafür verwendet der Verfasser Teile aus KOTULLA (2020) und KOTULLA & DRÜEKE (2021); ggf. sind weitere Einzelheiten und weitere Referenzen dort zu finden. In Kasten 1 werden die Fossilklüfte von Joggins vorgestellt. In Kasten 2 wird gezeigt, dass die Interpretationen zu den Bildungs- bzw. Ablagerungszeiten ausgehend von einer Autochthonie- oder Allochthonie-Sichtweise in einem krassen Verhältnis zueinander stehen.

Die Schlüsselfrage neu gestellt: autochthon oder allochthon?

Die Sedimentgesteinsfolgen

Die über 900 m mächtige Joggins-Formation besteht hauptsächlich aus Ton-, Silt- und Sandsteinen (Siliciklastika). Ihr sind 75 Kohlenflöze zwischengeschaltet; 63 „Horizonte“ führen Lycoposiden*-Stämme und 220 „Horizonte“ zusammengesetzte Stigmarien-, „Wurzeln“ (Stand: DAVIES et al. 2005).⁴

Im Ruhr-Karbon ist das kohleführende, siliciklastische* Gesteinspaket 3–4 km dick; es enthält etwa 250 Flöze.⁵ Wichtige Leithorizonte sind marine* Einschaltungen sowie vulkanische Aschenlagen, sog. (Kaolin-) Kohlentonsteine (BURGER et al. 2005).

Im Donez-Becken sind einer etwa 5 km mächtigen, siliciklastischen Folge etwa 250 Kohlenflöze und mehr als 250–300 (marine) Kalksteinhorizonte zwischengeschaltet. Die Gesamtmächtigkeit der Kohlen beträgt etwa 60 m; durch den aktiven Kohlenbergbau gehört das Donez-Becken zu den größten Kohlenrevieren der Welt. Es sind mindestens 37 vulkanische Aschenlagen bekannt, 25 davon treten im Flözverband auf (DAVYDOV et al. 2010).

Kompakt

Die Frage der Entstehung der karbonischen Kohleablagerungen wird neu aufgegriffen. Es wird dargelegt, dass die mutmaßlichen Belege für Autochthonie – Wurzelböden und aufrechte Stämme – keine gültigen Kriterien darstellen. Insgesamt liegen nur Indizien vor, die darauf hinweisen, dass die Sediment- und Pflanzenakkumulationen (die späteren Kohlen) durchweg unter Wasserbedeckung stattfanden, also keine mutmaßlichen Waldsumpfmoor-Landschaften bestanden haben können. Demnach muss auch das Pflanzenmaterial antransportiert worden sein, sodass die Frage zugunsten einer Allochthonie entschieden werden müsste.



Die kohleführenden Schichtenfolgen zeichnen sich durch das wiederholte Auftreten der einzelnen Schichtglieder aus.

Natur der Kohlen(flöze)

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

Großskalig betrachtet sind Kohlen(flöze) linsenförmige Einschaltungen (von Pflanzensubstanz) im Sedimentkörper. 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. I. d. R. sind Ober- und Unterseite der Kohlenflöze scharf begrenzt.

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

Aufbau und Struktur der Kohlenflöze im Kontext der gesamten Sedimentgesteinsfolge legen insgesamt nahe, dass das Pflanzenmaterial

Abb. 2 (Re)konstruktion der Landschaft zur „Steinkohlenzeit“. 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. (...)“.

Hinweis zu den Anmerkungen: Die Anmerkungen enthalten umfangreiche Zitate und weitere Informationen; sie sind deshalb – wie die Z-Verweise – als Zusatzmaterial zum Artikel ausgelagert und unter www.si-journal.de/jg29/heft1/karbon.pdf abruf- bzw. herunterladbar.

Mit einem Stern* versehene Begriffe werden im Glossar erklärt.

wie auch das umgebende siliciklastische Material antransportiert und abgelagert wurde.

Trockenfallen (subaerische Exposition)?

Im Falle der Joggins-Formation interpretieren DAVIES et al. (2005) die Sedimentgesteine als Küsten- oder küstennahe Ablagerungen; dabei unterscheiden sie temporäre, eingeschränkt-marine Konditionen sowie terrestrische* Konditionen einer „sumpfigen“ oder „trockenen Überschwemmungsebene“ (autochthone Sichtweise). Sie betonen aber, dass kein Trockenfallen (subaerische* Exposition) zu erkennen ist. Es würden Anhaltspunkte wie tiefgreifende Taleinschnitte oder gut entwickelte Paläoböden fehlen.

Da keine Indizien für ein Trockenfallen vorliegen, ergänzt dies die Folgerung des vorhergehenden Abschnitts dahingehend, dass es sich durchweg und kontinuierlich um Ablagerungen handelt, die unter Wasserbedeckung entstanden.

Es können keine Waldsumpfmoor-Landschaften bestanden haben.

Vulkanische Aschen (Kohlentonsteine)

Kohlentonsteine und Bentonite treten in oberkarbonischen, euramerischen Sedimentfolgen verbreitet auf, u. a. im westfälischen Becken (Ruhr-Karbon, 38 Kohlentonsteine), im britischen Becken, im oberschlesischen Becken und im Donez-Becken. Kohlentonsteine (Bezeichnung für im Flözverband auftretend) und Bentonite sind umgewandelte, d. h. ummineralisier-

te vulkanische Aschen. Sie führen häufig noch primär-magmatogene Komponenten wie die resistenten Schwerminerale Zirkon und Apatit. Die Horizonte (oder Lagen) sind häufig nur millimeter- bis dezimeterdick, aber seitlich (lateral) weit aushaltend. Ihre räumliche Verbreitung kann mehrere 100.000 km² betragen. Vulkanische Aschenlagen liefern nicht nur Leithorizonte, sondern echte Isochronen, d. h. exakte Zeit-Bezugsflächen – denn ein Aschenniederschlag einer explosiven Eruption erfolgt quasi gleichzeitig während einer Spanne von Stunden oder wenigen Tagen (KOTULLA 2020).

Die Aschen explosiver vulkanischer Eruptionen der Karbonzeit sind im Wasser (aquatisch) abgesetzt worden (z. B. STÖFFLER 1963; FÜCHTBAUER & MÜLLER 1977). 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. Sie bilden i. d. R. scharfe ebene Unter- und Obergrenzen. Die derzeit einzige an der Oberfläche beobachtbare Kohlentonstein-Lage des Ruhr-Karbons tritt im Flöz Angelika auf (Aufschluss Kampmannbrücke in Essen-Heisingen, Abb. 3).

Die Aschenüberlieferung zeigt an, dass zum Zeitpunkt eines Aschenniedergangs kein (Vegetations-) Relief vorhanden war, also zu keinem Zeitpunkt ein mutmaßliches Waldsumpfmoor (Abb. 2) bestanden haben kann. Vielmehr lag zum Zeitpunkt des Aschenniedergangs eine Schicht-artige Pflanzenakkumulation unter Wasserbedeckung vor.

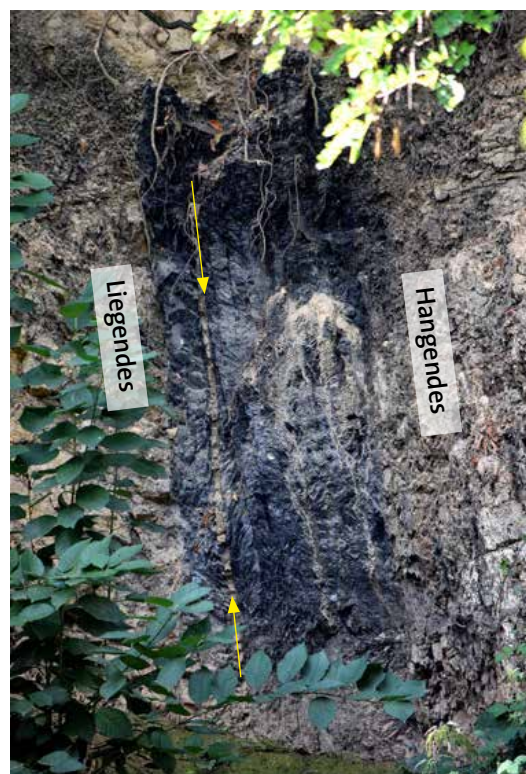
Die Aschenüberlieferung zeigt des Weiteren an – anders als in einem anzunehmenden Waldsumpfmoor –, dass selbst die dünnsten Aschenlagen 1) *nicht* durch ein Weiterwachsen der Vegetation von unten her und 2) *nicht* durch ein Einwurzeln einer neuen Vegetation(sdecke) von oben her durchdrungen wurden. In keinem Fall ist eine Wachstumsaktivität an Ort und Stelle erkennbar.

„Wurzelböden“

Die sogenannten „Wurzelböden“ sind kleiner 0,2 bis größer 3,0 m mächtig; sie sollen häufig im Liegenden der Flöze vorkommen (Bsp. Ruhr-Karbon, KUKUK 1938; Abb. 4).

Die „Wurzelböden“ zeigen – verglichen mit heutigen Böden – keine bodenbildenden Produkte wie Umwandlung, Horizonte etc. (SCHULTZ 1958). FÜCHTBAUER & MÜLLER (1977, 269) zufolge hat sich die Auffassung durchgesetzt, dass „Wurzelböden“ mit Sicherheit keine

Abb. 3 Kohlentonstein-Lage im Flöz Angelika, Ruhr-Karbon. Das Flöz Angelika hat hier eine Mächtigkeit von 65 cm; der Kohlentonstein (gelbe Pfeile) – eine umgewandelte vulkanische Aschenlage – ist etwa 3 cm dick (Detail s. Abb. Z-3). Das Flöz wird unmittelbar von Tonsteinen unter- und überlagert (vgl. KASIELKE 2013). Bochum-Formation; geologische Wand Kampmannbrücke, Essen-Heisingen. Foto: M. KOTULLA, 2020.



Bodenbildungen sind“. 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).

„Wurzelböden“ sind keine Böden.

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. Die Beobachtung führte u. a. zu der Aussage, dass „Wurzelböden“ kein „Beweis“ für die Autochthonie der Flöze seien (JESSEN 1961, 313).

Dies zeigt sich auch nach der Neuaufnahme des Profils der Fossilkliffe von Joggins (DAVIES et al. 2005). Demnach liegen 220 punktuelle oder Horizont-beständige Vorkommen von Stigmarien-„Wurzeln“ vor, davon 20 unter den insgesamt 75 Flözen. LOGAN (1845) hatte seinerzeit angegeben, dass – bis auf einen Fall – alle Kohlenflöze einem „Wurzelboden“ aufliegen.

Aus den „Wurzelböden“ – den Basisorgane führenden Sediment(gestein)en – werden fast ausschließlich Stigmarien und Stigmarien-Appendices beschrieben (Abb. 4). Von den im Wesentlichen hohlen (horizontalen) Stigmarienachsen gehen lateral radialstrahlig die hohlen Appendices ab (Abb. 5–7). Diese bezeichnende allseitige Anordnung der Appendices weist auf Charakteristika von Wasserpflanzen und nicht von Landpflanzen hin. Dennoch entwerfen z. B. HETHERINGTON et al. (2016) das Bild von Lycophyten-Bäumen mit ausgedehnten, unterirdischen Wurzelsystemen in einem Kohlensumpfwald (Abb. 7).

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. 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



Abb. 4 „Wurzelboden“, zum Flöz Finefrau gehörend (Witten-Formation, Ruhrkarbon). Flachgepresste Stigmarien mit flachgepressten Appendices. Museum Zeche Nachtigall, Muttental (Witten). Bildbreite etwa 1,2 m. In der Objektbeschriftung im Museum heißt es u. a.: „Das versteinerte Stück Waldboden (...)“. Foto: M. KOTULLA, 2020.

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 Kalksteine – zeigen keine Anzeichen einer subaerischen Exposition (s. o.). Das deutet darauf hin, dass ihre Oberflächen – die „Böden“ der mutmaßlichen

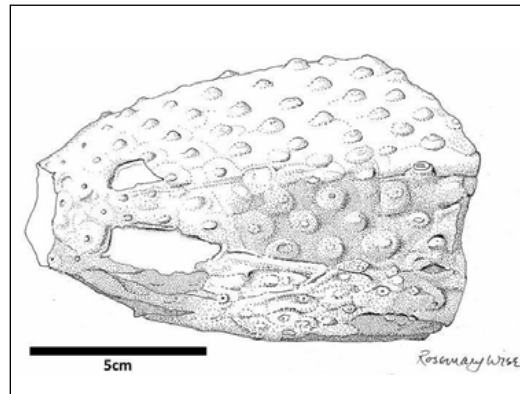


Abb. 5 „Zylindrische, unzerdrückte Stigmariie mit Abbruchnarben der Appendices; die Narben (Stigmen) sind namensgebend. Abbildung: Wiedergabe von Fig. S7 (Teil B, gezeichnet nach ihrer Fig. S7A) aus HETHERINGTON et al. (2016) in *Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS), Verwendung gemäß „Rights & Permissions“.



Abb. 6 Hohle Stigmarien-Appendices mit jeweils einem Leitbündel. Ausschnitt eines Dünnschliffs eines Torfdolomits (mineralisierte, nicht inkohlte Konkretion in Kohlenflözen). Wiedergabe der Fig. 195 aus GOTHAN (1921). Original-Beschriftung: „Appendices von *Stigmaria ficoides*, quer durchschliffen; das Leitbündel und der gewebefreie Raum in den Appendices ist deutlich sichtbar. Vergr.“

Glossar

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

in situ: Am Ort; hier: an Ort und Stelle gewachsen, wo eingebettet.

Lycopside: 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.

siliciklastisch: Material, welches sich aus Silicium-haltigen Mineralen zusammensetzt; oft zur Abgrenzung von Karbonatgesteinen.

stratigraphisch: Hier im Sinne von fein-stratigraphisch; die Beschreibung eines Gesteinskörpers und die Altersfolge seiner Einheiten.

subaerisch: Bezieht sich auf Prozesse, die an der freien Luft bzw. an der Erdoberfläche (unter freiem Himmel) auftreten.

Uniformitarismus: Ein von WHEWELL (1832) geprägter Begriff zur Charakterisierung der „geologischen Prinzipien“ von LYELL (1832). Das „Uniformitäts- oder Gleichförmigkeitsprinzip“ (auch „Aktualitätsprinzip“) ist heute das vorherrschende regulative (Interpretations-) Prinzip in der Geologie.⁸

terrestrisch: Das Land betreffend; bezieht sich auf Prozesse, Kräfte und Bildungen, die auf dem Festland auftreten.

Landvegetation – stets unter Wasser lagen. Es scheint sich durchgängig um aquatische Sedimentationsräume zu handeln, nicht um Untergründe („Böden“), in welche „eingewurzelt“ wurde.

Aufrecht stehende Bäume

Aufrechte Baumstämme in Wachstumsposition werden von zahlreichen Lokalitäten beschrieben (vgl. KOTULLA & DRÜEKE 2021, Tab. 5). Einzigartig ist aber – hinsichtlich ihrer Häufigkeit und Zugänglichkeit – nach wie vor der natürli-

che Aufschluss der Kliffe von Joggins (Abb. 9–12). Im Ruhr-Karbon sind sie nur vereinzelt beobachtet worden;⁶ nach Kenntnis des Verfassers gibt es derzeit keinen Aufschluss an der Oberfläche, der einen aufrechten Lycopside-Stamm zeigt.

Aufrecht stehende Bäume sind kein zwingendes Indiz für ein Wachstum am Ort der Einbettung.

Die große Mehrzahl der aufrechten Lycopside-Stämme der Joggins-Formation (59 aus 63) tritt in reinen siliciklastischen Abfolgen auf, ohne einen Bezug zu einem Kohlenflöz; nur 4 „liegen“ unmittelbar einem Kohlenflöz auf (DAVIES et al. 2005, Appendix A). Anders die Darstellung von LYELL (1845; seine Fig. 2); seine schematischen Zeichnungen präsentieren – mit einer Ausnahme – alle aufrechten Stämme als Kohlenflözen aufliegend.

Die Position der Stämme in der Orientierung des Wachstums ist nicht zwangsläufig ein Indiz für ein In-situ-Wachstum. Transportierte Bäume (mit ihren Basisorganen) mögen in einer stabilen Gleichgewichtslage (= Wachstumsorientierung) zum Absatz gekommen sein. Im Ruhr-Karbon 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.⁷

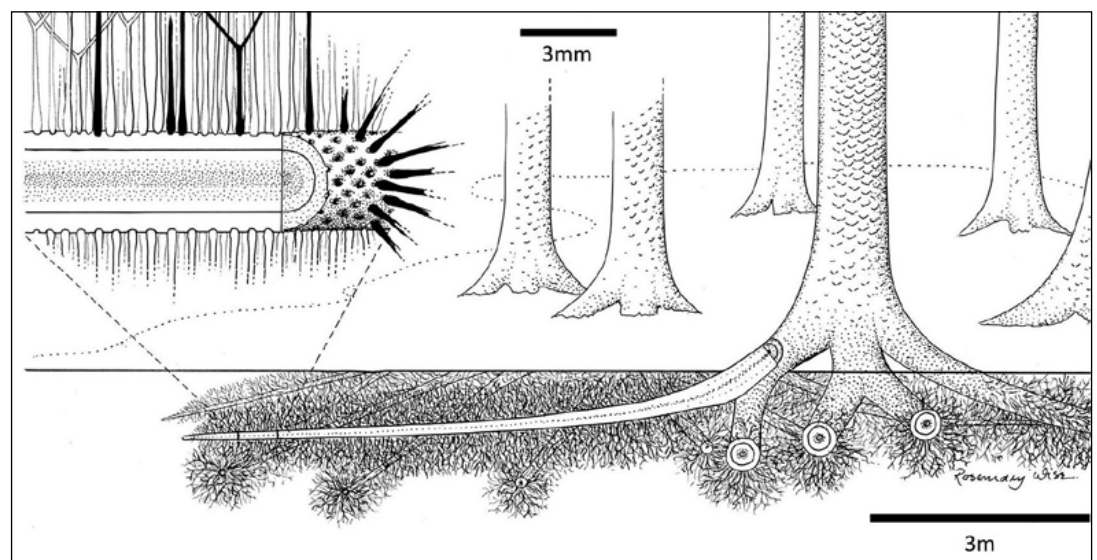


Abb. 7 Eine (Re)konstruktion des Stigmarien-„Wurzel“systems. Nach HETHERINGTON et al. (2016) bildeten die gigantischen Lycopside-Bäume – eines mutmaßlichen Kohlensumpfwaldes – ein unterirdisches (subterranes) Wurzelsystem. Von den im Wesentlichen hohlen, mit einem Zentralzylinder versehenen Stigmarienachsen (interpretiert als Hauptwurzeln) gehen lateral radialstrahlige (Vergrößerung oben links) die sog. Appendices ab (interpretiert als „Wurzelchen“ 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 „Wurzelchen“ zu etwa 25.600 pro Meter Strang. Dieser ausgedehnte „Wurzelteller“ (root plate) hätte den Bäumen u. a. Halt gegeben. Allerdings ist die radialstrahlige Anordnung der Appendices vielmehr ein deutliches Merkmal einer Wasserpflanze (siehe Textteil). Abbildung: Wiedergabe von Fig. 4 (Ausschnitt) aus HETHERINGTON et al. (2016) in Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), Verwendung gemäß „Rights & Permissions“.

1 | Die Fossilkliffe von Joggins (Nova Scotia, Kanada)



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. 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 (Abb. 9).

Die 915 m mächtige Joggins-Formation 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.

UNESCO-Welterbe

Die Fossilkliffe von Joggins sind 2008 auf Antrag der kanadischen Provinz Nova Scotia in die UNESCO-Welterbeliste aufgenommen worden. 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).⁹ Demnach wird die autochthone Entstehung des akkumulierten Pflanzenmaterials (die späteren Kohlen) als Tatsache aufgefasst bzw. präsentiert.

Aufrecht stehende, verschüttete Lycopside-Stämme – Bilddokumentation

KOTULLA & DRÜEKE (2021, Anhang) liefern eine neuere Bilddokumentation der Fossilkliffe, die hauptsächlich den Kliffabschnitt der Joggins-Formation umfasst. Es werden u. a. zahlreiche Fotografien von aufrecht stehenden, verschütteten Lycopside-Stämmen gezeigt

Abb. 9 Teil der Fossilkliffe von Joggins, Nova Scotia, Kanada. Blick auf die unteren 600 Profilmeter der Joggins-Formation; von vor dem Coal Mine Point aus gesehen. Die nach Süden einfallenden oberkarbonischen Schichten werden diskordant von rötlichen, pleistozänen Sedimenten überlagert. Foto: Michael C. RYCEL, 2008 (Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0).



Abb. 10 Joggins-Formation: mindestens fünf aufrecht stehende Lycopside-Stämme (Übersichtsaufnahme). Etwa 1 km NO Coal Mine Point (vgl. Abb. 9). Wechselfolge aus Ton-/Siltsteinen und Sandsteinen. Zu b siehe Detailaufnahme (Abb. 11); a ist fraglich (eine Detailaufnahme fehlt). Kliffhöhe etwa 20 m. Foto: S. DRÜEKE, 2017.



Abb. 11 (Bild links) Detail zu Abb. 10: aufrecht stehender Lycopside-Stamm (Position b). Der Stamm verbreitert 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. Foto: S. DRÜEKE, 2017.

Abb. 12 (Bild rechts) Joggins-Formation: aufrecht stehender Lycopside-Stamm. Etwa 0,8 km S Coal Mine Point (vgl. Abb. 9). Steinkern, an der Basis (links) Stigmarien-Fortsatz (gelber Pfeil). Die Basis des Stammes ist von Ton-/Siltstein, der Stammteil darüber von Sandstein umgeben. Foto: S. DRÜEKE, 2018.

(Auswahl s. Abb. 10–12). Abb. 10 ist eine Übersichtsaufnahme eines kleinen Kliffausschnitts, in welchem alleine mindestens fünf Lycopside-Stämme aufgeschlossen sind.

2 | Zur Bildungszeit karbonischer Kohlenlager

Ob die karbonischen Kohlenlager autochthon oder allochthon entstanden sind, hat maßgeblichen Einfluss auf ihre Bildungs- bzw. Ablagerungszeiten. Dies wird in nachfolgender Gegenüberstellung ansatzweise dargelegt. Zu ausführlichen Betrachtungen sei auf KOTULLA (2020) sowie KOTULLA & DRÜEKE (2021) verwiesen.

Autochthone Sichtweise

Bereits LYELL (1855) schrieb einem 12–15 m dicken Flöz bei Pottsville (Pennsylvania) eine Pflanzenakkumulation [an Ort und Stelle, MK] zu, die Tausende von Jahren angedauert haben müsse (S. 394f).

1 m Kohle (vgl. Abb. 3) repräsentieren – unter Einbeziehung einer Verdichtung – eine Zeitdauer von etwa 5–10 Tausend Jahren (z. B. TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER 1982, 17f). Dies wird von der Bildung von Torf abgeleitet; es werden Akkumulationsraten von durchschnittlich 1–2 mm pro Jahr genannt.¹⁰

Im Falle der aufrechten Baumstämme werden Sedimentationsraten 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 Sedimentakkumulation (unter Einbeziehung einer Verdichtung; z. B. BAILEY 2011).¹¹

Allochthone Sichtweise (nach KOTULLA & DRÜEKE 2021)

Das Pflanzenmaterial (die späteren Kohlen) wurde – vermutlich als Matten-artige Vegetationsdecken – antransportiert und abgelagert. Hierbei sind Akkumulations- bzw. Sedimentationsraten von einem Meter in Stunden vorstellbar (s. u.).

Größere Sedimentationsunterbrechungen sind nicht erkennbar.

Die aufrecht stehenden Lycopside-Bäume (insbesondere Lokalität Joggins, Kasten 1) wurden antransportiert und in aufrechter, stabiler Lage abgelagert. 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 Hohlstämmen (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. Da kein unterschiedlicher Grad der Verrottung vorliegt, ist eine rasche und zugleich vollständige Verschüttung wahrscheinlich. Es wird die Perspektive einer Minimalbetrachtung vorgeschlagen mit einer Akkumulationsrate von einem Meter in Stunden. Größere Sedimentationsunterbrechungen sind nicht erkennbar.

Vergleich der Bildungs- bzw. Ablagerungszeiten

Ein überschlägiger Vergleich der Bildungs- bzw. Ablagerungszeiten zeigt, dass – auf Basis der präsentierten Interpretationen – ein Unterschied von mehreren Größenordnungen vorliegt; jeweils allochthon zu autochthon:

- Kohlenvegetation: Stunden versus Tausende Jahre (etwa 1 zu 10.000.000).
- Lycopside-Stämme führende Siliziklastika: Stunden versus Dekaden Jahre (etwa 1 zu 10.000).

Ergebnis und Schlussfolgerung

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). „Wurzelböden“ – besser: Basisorgane führende Sediment(gestein)e – waren keine Böden; es ist auch nicht in das Sediment (den Untergrund) hinein eingewurzelt worden. Der Begriff „Wurzelboden“ ist irreführend und taugt nicht als Beleg bzw. Kriterium für Autochthonie. Aufrechte Stämme treten häufig ohne einen Bezug zu einem Kohlenflöz – also nicht einem Kohlenflöz aufliegend – auf; die aufrechte Position kann als stabile Gleichgewichtslage während des Transports und Absatzes erklärt werden. Alleine be-

trachtet sind diese aufrechten Bäume kein zwingender, kein eindeutiger Beleg für Autochthonie und passen in Zusammenhang mit den Fehlen von wirklichen Wurzelböden und den dargestellten, primär sedimentären Indizien vielmehr in einen allochthonen Kontext.

Die Autochthonie/Allochthonie-Frage – so zeigt das umfangreiche Schrifttum der letzten knapp 200 Jahre – ist eine essenzielle Frage; sie ist Ausdruck über Vorstellungen der (geologischen) Vergangenheit und der möglicherweise wirkenden Prozesse (WALDRON & RYSEL 2005). Der Verfasser schlägt eine allochthone Entstehung der euramerischen Kohlen vor. Eine allochthone Entstehung der Kohlen hat weitreichende Schlüsse zur Folge. So müssten Entwicklungen in der Wissenschaft der Geologie, die von der Autochthonie-Vorstellung der Kohlenentstehung tiefgreifend beeinflusst worden sind, überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden. Dies würde beispielsweise auf Ablagerungsumgebungen, Bildungs- bzw. Ablagerungszeiten (Kasten 2) und insgesamt auf die Prinzipien des Uniformitarismus zutreffen.

Schlussergänzung

Zum Thema der karbonischen Kohlenablagerungen ist von der Studiengemeinschaft Wort und Wissen 1986 das Buch *Karbonstudien* von Joachim SCHEVEN herausgegeben worden (Abb. 8). SCHEVEN (1986) fragt u. a., ob „die Wälder unserer Steinkohlenflöze in Hunderttausenden von Jahren herangewachsen“ sind. Er zeigt an zahlreichen Beispielen aus dem Ruhr-Karbon und der Joggins-Küstenlokalität auf, dass die Sedimente zwischen den Pflanzenakkumulationen (Zwischengesteine der späteren Kohlenflöze) sehr rasch und ohne größere Sedimentationsunterbrechungen abgelagert worden sind. Des Weiteren legt er dar, dass die „Wurzelböden des Karbons mit den sie enthaltenden Wurzelorganen gleichzeitig abgelagert worden sind.“ Dabei sind seine Ausführungen in vielen Teilen weitaus umfangreicher, als es dieser begrenzte Beitrag leisten kann.

Dank

Mein Dank gilt Dr. Reinhard JUNKER und Dr. Martin ERNST für die Durchsicht des Manuskripts und wertvolle Hinweise.

Literatur

- BAILEY RJ (2011) Buried trees and basin tectonics: A discussion. *Stratigraphy* 8, 1–6.
- BURGER K, BIEG G & PEISTERER W (2005) Klassische und primitive Kaolin-Kohlesteinen im Ruhrkarbon. In: Deutsche Stratigraphische Kommission



Abb. 8 Buchcover von *Karbonstudien* (SCHEVEN 1986).

- (Hrsg.) Stratigraphie von Deutschland V – Das Oberkarbon (Pennsylvanien) in Deutschland. Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg 254, 169–180.
- 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.
- FÜCHTBAUER H & MÜLLER G (1977) *Sediment-Petrologie Teil II. Sedimente und Sedimentgesteine.* 3. Auflage, Stuttgart.
- GOTHAN W (1921) *Pontonié's Lehrbuch der Paläobotanik.* Zweite umgearbeitete Auflage, Berlin.
- GOULD SJ (1990) *Die Entdeckung der Tiefenzeit. Zeitpfeil oder Zeitzyklus in der Geschichte unserer Erde.* München Wien.
- HETHERINGTON AJ, BERRY CM & DOLANA L (2016) Networks of highly branched stigmarian rootlets developed on the first giant trees. *PNAS* 113, 6695–6700.
- 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.
- KOTULLA M (2020) 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 & DRÜEKE S (2021) Die Fossilkliffe von Joggins, Nova Scotia, Kanada: Zur Entstehung der karbonischen Kohleablagerungen. *W+W Special Paper G-21-1*, Baiersbronn. https://www.wort-und-wissen.org/wp-content/uploads/Joggins_G-21-1.pdf
- KUKUK P (1938) *Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes.* Textband, Berlin.
- KUKUK P & HAHNE C (1962) *Die Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebirges (Ruhrreviers).* Herne.
- 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.
- LYELL C (1830–33) *Principles of Geology. Being an Attempt to Explain the Former Changes of the Earth's Surface by Reference to Cause Now in Operation.* London.
- LYELL C (1845) *Travels in North America; with geological observations on the United States, Canada, and Nova Scotia, Vol. 2.* London.
- LYELL C (1855) *A Manual of Elementary Geology.* 5th ed., London.
- MURAWSKI H & MEYER M (2010) *Geologisches Wörterbuch.* 12. Auflage, Stuttgart.
- SCHVEEN J (1986) *Karbonstudien: neues Licht auf das Alter der Erde.* Wort und Wissen, Band 18. Neuhausen-Stuttgart.
- SCHULTZ LG (1958) *Petrology of Underclays.* Bull. Geol. Soc. Amer. 69, 363–402.
- STÖFFLER D (1963) *Neuere Erkenntnisse in der Tonsteinfrage auf Grund sedimentpetrographischer und geochemischer Untersuchungen im Flöz Wahlschied der Grube Enseldorf (Saar).* Beitr. Miner. Petrogr. 9, 285–312.
- TEICHMÜLLER M & TEICHMÜLLER R (1982) The geological basis of coal formation. In: STACH E, MACKOWSKY M-T, TEICHMÜLLER M, WAYLOR GH, CHANDRA D & TEICHMÜLLER R (eds.) *Stach's Textbook of Coal Petrology.* 3rd, rev. and enlarged edition, 5–86.
- 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.
- WHEWELL W (anonym publiziert) (1832) *Principles of Geology, being an Attempt to Explain the Former Changes of the Earth's Surface, by Reference to Causes now in Operation.* By Charles Lyell, Esq. F.R.S., Professor of Geology in King's College, London. Vol. II. London. 1832. *The Quarterly Review* 47, 103–132.

Weitere Literaturangaben siehe o. a. Zusatzmaterial.

Anschrift des Verfassers:

*Michael Kotulla, SG Wort und Wissen,
Rosenbergweg 29, 72270 Baiersbronn;
E-Mail: m.kotulla@wort-und-wissen.de*