Berichte Naturwiss. Verein für Bielefeld und Umgegend **59** (2022), S. 150 – 161

Wie das Leben aus den Meeren auf das Festland kam

Klaus STOEVESANDT, Leopoldshöhe

Mit 6 Abbildungen

Inhalt **Seite**

1 Pflanzen, die Pioniere in der Eroberung des Festlandes 151
2 Die „Grüne Lunge" der Landmassen schaffte eine neue Atmosphäre 154
3 Eine Atmosphäre im Fließgleichgewicht 158
4 Quellen 160

Verfasser:
Klaus Stoevesandt, Kolmarer Str. 21, 33818 Leopoldshöhe, E-Mail: stoevemail@freenet.de

1 Pflanzen, die Pioniere in der Eroberung des Festlandes

Es gab einmal eine Zeit vor etwas mehr als 400 Millionen Jahren, da war der Anteil des Treibhausgases Kohlendioxid in der Luft unserer Erde fast siebenmal so hoch wie heute. Tatsächlich enthielt die Luft vor jener Zeit also mehr als 0,2 % CO_2. Das erscheint zwar erstaunlich gering, jedoch am heutigen ansteigenden Wert von 0,03 bis 0,04 % gemessen zeigt sich ein erheblicher Unterschied zu den uns gewohnten Verhältnissen. Bedenken wir, wie die vom Menschen verursachten Emissionen diese Werte wider besseren Wissens immer noch höher treiben, könnte deutlich werden, dass ein Vergleich mit jener Epoche der Evolution zum Nachdenken anregen kann.

Nur in den Meeren gab es Pflanzen- und Tierleben, dies aber in großer Vielfalt der Arten. Darum wird diese Evolutionsepoche auch als Zeitalter der Fische bezeichnet. Geologen sprechen hier vom Devon, das nach den Ablagerungen der „Old-Red" Sandsteine in der englischen Grafschaft Devon benannt wurde. Jenes Klima soll weltweit sehr warm und trocken gewesen sein, mit geringen Temperaturunterschieden sogar zwischen den Äquatorregionen und den Polargebieten. Diese waren deswegen sogar eisfrei. So war auch der Meeresspiegel entsprechend hoch angestiegen, viel höher wohl, als wir es heute bei der uns drohenden Klimakatastrophe befürchten müssen.

Mit seinem verhältnismäßig hohen Anteil Kohlendioxid war das im Devon also ein ganz anderes Gasgemisch der Luft, eine ganz andere Atmosphäre. Allerdings war schon zu jener Zeit der Gehalt von freiem Sauerstoff auf bald ein Fünftel der Luft angestiegen, lag damit schon nahe seinem heutigen Wert. Kein Wunder also, wenn sich schon einige, sehr wenige Tierarten am Rande des Meeres ein wenig über die Ufer hinausgewagt hatten, beispielsweise zunächst vor allem Insekten, dann auch sogenannte Lungenfische wie die Quastenflosser und Amphibien. Das waren Tiere, die sich sowohl im Wasser als auch an Land und dort nur mehr oder weniger in der Nähe der Uferzonen aufhalten konnten. Im größeren Abstand zu den stabilen Verhältnissen ihrer gewohnten Wasserwelt begegnete diesen Wesen unwirtliche und lebensbedrohliche Wetterverhältnisse.

Ganz anders die Welt der Pflanzen. Schon hunderttausend Jahre vorher hatten sich vorwiegend aus Grünalgen Moose entwickelt. Sie waren aus dem Meer vielleicht auch vor Fressfeinden „geflüchtet". Dort absterbend hatten sie vom Ufer ausgehend Schicht für Schicht Mutterboden auf felsigen Grund aufgetragen. Abgestorbene Reste der Pflanzen erzeugten auf kompostierende Weise also erst jenes Substrat, das wir mit dem Wort Erde bezeichnen. Diese, von Kleinstlebewesen und Bakterien durchsetzte, lebendige Bodenkrume, bildete die allerwichtigste Voraussetzung für nachfolgende Moosteppiche und für sich weiter ausdifferenzierende Pflanzenwelten, die das Festland weitergehend begrünten. So konnten sich die Bodenpflanzen von den Moosen ausgehend zunächst völlig ungestört in zunehmender Artenvielfalt entwickeln. Das weiter vordringende und sich entfaltende Grün auf der Landfläche benötigte Wasser, Sonnenlicht und Kohlendioxid für die Photosynthese, um in dieser neuartigen Umgebung zu überleben. Genug Regen wurde notwendig, aber auch reichlich Sonnenlicht, das hier auf dem Land unmittelbarer wirken konnte. Im Gegensatz zur Umwelt, die wir Menschen erleben, waren die Pflanzen mit fast 0,5 % Kohlendioxid in der Luft in der Zeit vom Devon beginnend fast überversorgt [1]. Bald war aber der Boden immer vollständiger bedeckt und einige Pflanzen reckten sich dem Licht entgegen, sie wuchsen, wollten höher hinaus, dem Licht entgegen.

Doch mit größerem Abstand vom Boden ging Halt verloren. Wind und Wetter rissen an den Trieben, die sich hier hervorwagten. Aufstrebende Zellen mussten feste Materie ausbilden, um sich gegen die auf dem Lande wirkende Schwerkraft und gegen Wind und

Wetter emporrecken zu können. Schon im Meer hatten zwar Tiere, um Fressfeinden zu entkommen, feste Kalkschalen erzeugt, mit denen sie ihre Körper schützten. Die Pflanzen entwickelten dagegen hier am Land wohl Schritt für Schritt ein rein biologisches Material, das sehr fest, zäh und im Gegensatz zu kalkartigen Strukturen vor allem Bruchfestigkeit aufweist. Diese neuartige Materie bezeichnen wir heute mit dem Namen Lignin, vom lateinischen Wort lignum abgeleitet, was Holz bedeutet. Pflanzen waren es also, die das Holz „erfanden". Bestimmte pflanzliche Zellen entwickelten so die Fähigkeit zu verholzen, um gegen die Schwerkraft wachsen zu können. Heute gewinnen wir Menschen daher aus Baumstämmen einen Baustoff, den es offensichtlich nur auf dem Erdplaneten geben kann. Er wurde von Anfang an für die Menschheit zu einer wichtigen Ressource, die sich aus der lebenden, natürlichen Umwelt entwickelt hatte.

Mit der Ausbildung des Lignins, dieses sehr fest gefügten riesigen polymeren Makromoleküls, konnten Pflanzen Stämme ausbilden, um aus der Fläche des Erdbodens heraus ihre Massen in die Höhe zu treiben. Hier im Abstand zum Boden, wo sich die Luft wind- und wetterbedingt viel intensiver bewegt, wo Verschattungen leichter zu vermeiden sind, herrschen einmal mehr wesentlich bessere Bedingungen für die lebensnotwendige Arbeit der Photosynthese. Bis in eine Höhe von etwa 10 Metern sind auch die blattähnlichen, das Chlorophyll enthaltenden Organe in den oberen Kronenspitzen gut mit Wasser zu versorgen. Der Luftdruck hilft, die dem Sog folgenden Wassersäulen gegen die Schwerkraft zu stützen. Man muss sich hier noch einmal in Erinnerung rufen, welche Voraussetzungen für das Chlorophyll erfüllt sein müssen, um in den grünen Organen energiereichere Glukose als biologischen Grundstoff erzeugen zu können: Sonnenlicht, Kohlendioxid und vor allem Wasser. Vom Wasser trennt das Chlorophyll den hierfür auch benötigten Wasserstoff ab und entlässt freien Sauerstoff in die Atmosphäre. Das Kohlendioxid wird energiegetrieben in eine weitere, ringförmige Reaktionskette eingeschleust, die in ihrem Zyklus die höherwertigen Kohlenwasserstoffe erzeugt. So wurde die Welt der Pflanzen immer vielfältiger und ihre Fähigkeiten erheblich erweitert, über die Photosynthese in größerem Umfang biologische Materie aufzubauen, angetrieben vom Energiestrom des Sonnenlichts. Es entstanden die ersten weit ausgedehnten Wälder, vor allem in den tropischen, sumpfigen Gebieten. Das Devon markiert also den Beginn der weiträumigen Eroberung des Festlandes durch Pflanzen. Da vorläufig nur Amphibien in den Uferbereichen des Landes existierten, konnten sich Wälder ungestört immer weiter ausbreiten.

Das besondere, einmalige Merkmal dieser Entwicklung ist also die kaum gestörte Vermehrung in der Masse ihrer floralen Artenvielfalt. Die Pflanzen waren in jener Zeit die Pioniere in der Eroberung des Landes. Auf unwirtlichem, felsigem Grund bereitete die Pflanzenwelt, die Flora jener Epoche die Bodenkrume, die wir heute als Erde bezeichnen. Sie ist der Boden, ohne den auch pflanzliches Leben auf dem Lande gar nicht möglich geworden wäre. Üppiges pflanzliches Leben wiederum brachte immer mehr Sauerstoff in die Luft. So schuf sich das entfaltende Leben selbst Voraussetzungen für seine wunderbare weitere Entwicklung. Unter diesen Voraussetzungen lässt sich leicht erklären, dass sich der



Abb. 1: Sumpfige Niederwaldungen im Devon [2].

Anteil des Sauerstoffs in der Atmosphäre des Devonzeitalters weiter um etwa 5 % steigerte bis auf fast 20 %, erstmals auf einen Wert also, der etwa auch dem Sauerstoffgehalt der Luft unserer Zeit etwa entspricht.

Kein Mensch hat je diese Waldungen sehen können, die schon vor über dreihundertfünfzig Millionen Jahren herangewachsen waren. Trotzdem hat man für bildliche Darstellungen versucht zu rekonstruieren, anhand der versteinerten Pflanzenteile, die man in den Ablagerungen jener Zeit finden konnte: Urfarne, riesige Schachtelhalme, Bärlappgewächse mit nadelförmigen Blättern. Immerhin musste bei diesen schon recht großen Pflanzen viel Wasser gegen die Schwerkraft bis in die Spitzen der blattartigen oberen Zweige gelangen können. Sonst hätte sich ein Höhenwachstum baumartiger Pflanzen ja nicht weiterentwickelt [2].

Im Vergleich zu den Bäumen der Wälder unserer Zeit hatte das Pflanzenwachstum im Devon vielleicht noch nicht diese Höhen erreichen können. Um die weiteren Entwicklungen zu verstehen, muss man den Wassertransport in die Höhe gegen die Schwerkraft genauer betrachten. Der ist physikalisch nicht ohne Probleme möglich. In allen Blattorganen braucht das Chlorophyll wie schon beschrieben eine dem Ablauf der Synthese entsprechende Menge Wasser. Außerdem verdunstet je nach Witterung viel Wasser im warmen Sonnenlicht durch die sogenannten Spaltöffnungen hindurch in die Außenluft. Dieser doppelte Wasserverlust verursacht eine Sogwirkung über das Wasserleitsystem der verholzten Stämme bis ins Wurzelwerk. Weil der atmosphärische Luftdruck den auf diese Weise entstandenen Wassersäulen bis in eine Höhe von 10 Metern das Gleichgewicht halten kann, hat die Schwerkraft bis in diese Höhe kaum einen begrenzenden Einfluss auf die Wasserversorgung.

Die Bäume jedoch, wie wir sie heute in unzähligen eindrucksvollen Exemplaren erleben, konnten offensichtlich in ihrer Entwicklung um Größenordnungen höher hinaufwachsen. Oberhalb von zehn Meter Höhe wächst der Einfluss der Schwerkraft aber beträchtlich an. Wie wurde es trotzdem möglich, diese Höhe, um ein Mehrfaches zu übersteigen?

Wir betrachten eine gesunde Tanne. Sie möge eine Höhe von 60 Metern haben. Wassersäulen aus der Spitze angesaugt würden in diesem Fall gegen den Sog mit einem abwärts gerichteten Zug zerren, der fünfmal so hoch wäre wie der atmosphärische Druck. Angenommen, eine solch lange 60 Meter herunterhängende Wassersäule hätte einen Durchmesser von nur 0,5 cm, dann wäre diese mit dem Zug einer Masse von knapp einem Kilogramm belastet, die sie wohl an mehreren Stellen auseinanderreißen würde. So käme es zu Dampfblasenlücken, zu sogenannten Embolien in der hoch hinaufreichenden Wassersäule, und der Wasserstrom nach oben wäre unterbrochen, womöglich gleich an mehreren Stellen.

Wie lange mag es wohl gedauert haben, bis die Natur Wege „fand", diese blockierenden Wasserdampfblasen zu umgehen? Heute wissen wir natürlich, dass sich eine Lösung für dieses physikalische Problem schon in jener Zeit ergeben haben musste, wo sich Vorfahren der Bäume immer höher hinauf reckten. Auch die großen Bäume unserer Wälder sind ja ein Beweis. Außerdem wissen wir von den riesigen Kohlevorkommen des Karbonzeitalters, das dem Devon folgte. Sie sind „versteinerte und verkohlte" Zeugen der riesigen Wälder und das zeigen auch einige Exemplare großer verkohlter Bäume, damals ertrunken in den verbreiteten Sümpfen jener Zeit,

Wie es den baumartigen Pflanzen „gelang", diese physikalisch gegebene Grenze der Ansaughöhe von ca. 10 Metern zu umgehen, kann man nur in Gedanken mit dem Wissen unserer Zeit nachvollziehen, allerdings immer noch ohne Anspruch auf eine vollständige Erklärung. Seit langem weiß man, wie schon oben beschrieben, dass jedes Blatt Wasser transpiriert und deswegen eine saugende Kraft bis in das Wasserleitsystem des Stammes ausübt. Was geschieht aber, wenn sie nicht weiter hinab reicht als höchstens 10 Meter,

wenn Luftblasen, sogenannte Embolien die längeren „Wasserfäden“ unterbrechen. Offenbar haben diese Pflanzen „verstanden“, diese Unterbrechungen als Stufen zu nutzen, wo das aus den Wurzeln kommende Wasser zunächst ins Stammgewebe eindringen und hier in unterschiedlichen Höhen im Gewebe gehalten werden kann. Erst in letzter Zeit hat man Mechanismen im Leitsystem beobachtet und beschrieben, über welche der Wasserstrom der Schwerkraft trotzend diese Stufen zu überwinden befähigt würde: über Bypässe oder Reparaturen der Embolien direkt am Ort der Fehlstelle.

Ein Bypass umgeht die unterbrechende Fehlstelle [3]. Dem im Stammzellgewebe gehaltenen Wasser wird unter Aufwendung molekularer Energie über einen Ionenaustausch ermöglicht, oberhalb der Luftblase ins Leitsystem zurückzugelangen (Abbildung 2). So kann es dem Sog über die nächsten Stufen wie auf einer Treppe bis in die transpirierenden Blätter folgen. Dieser molekulare Mechanismus könnte in ähnlicher Weise auch genutzt werden, um eine Luftblase in einer Art Reparatur wieder mit Wasser zu füllen. So könnte man den Wassertransport in höhere Baumkronen, der die rein physikalischen Bedingungen mit solch einem Mechanismus überspringt, als ein Stufenmodell verstehen.

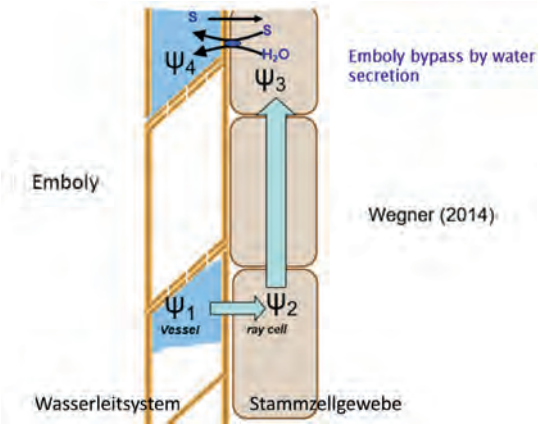


Abb. 2: Luftblase im Wasserleitsystem vom Bypass übersprungen [3].

Ein großer Baum setzt auf molekularer Ebene zusätzliche Energie zur Wasserversorgung ein, um Wasser Stufe um Stufe höher heraufzubringen. Seine bruchstückhaften Wassersäulen überspringt er kleinräumig, dort wo durch Unterbrechungen Stufen entstanden waren.

Mit solchen Verfahren, welche die lebende Natur in ihrem Fortschreiten entwickelt haben musste, konnten offensichtlich dann auch höher aufstrebende Baumkronen gegen die Schwerkraft ausreichend mit dem für die Photosynthese notwendigen Wasser versorgt werden. Diese neu erworbenen Fähigkeiten, ein Wachstum vom Erdboden aus in noch größere Höhen zu treiben, bildete einen entscheidenden Vorteil und die Voraussetzung für eine noch vielfältigere Entwicklung hoher Bäume. So entstanden schließlich ausgedehnte Wälder großer Bäume auf den Festlandmassen, die zum Kennzeichen der nachfolgenden Epoche des Karbons wurden, die sich vor etwa 359 Millionen Jahren anschloss.

2 Die „Grüne Lunge“ der Landmassen schaffte eine neue Atmosphäre

Übergänge in ein neues Zeitalter sind auch oft deutlich durch dramatische Ereignisse oder katastrophale Epochen markiert. Ablagerungen des Kellwassertales im Harz oder auch am Hagenberg im Rheinischen Schiefergebirge deuten auf gewaltige Ereignisse eines Artensterbens, gerade im Übergang vom Devon- zum Karbonzeitalter. Wohl nur die Hälfte der Meerestierarten überlebte.

Es waren ja alles noch Tiere der Meere. Dieser katastrophalen Epoche des Übergangs fielen vor allem Arten der flachen tropischen Meere wie Korallen, Trilobiten und auch Fischarten dieser Regionen zum Opfer. Den Übergang kennzeichnete auch eine deutliche Abkühlung des Klimas.

Es bildeten sich große Eisschilde in den Polregionen, was auch zum Absinken des Meeresspiegels führte. So erklärt sich wohl



Abb. 3: Hohe Bäume auf den Sümpfen des Karbonwaldes [4].

auch eine der Ursachen des Aussterbens vieler Arten jener Zeit, weil viele der tropischen flachen Schelfmeere einfach austrockneten.

Während Tiere bis dahin fast ausnahmslos die Meere als ihren Lebensraum bevölkerten, hatten die Pflanzen schon längst, wie im letzten Kapitel beschrieben, weite Teile des Festlandes erobert. Man kann sich gut vorstellen, wie der absinkende Meeresspiegel diese Entwicklung zusätzlich begünstigte.

Auch vor dem Übergang in das kühlere Zeitalter des Karbons waren ja schon große Waldgebiete entstanden. Die von seinen Bäumen ausgebildete Fähigkeit, Baumkronen auch in einer Höhe des Vier- bis Fünffachen einer normalen Ansaugstrecke gegen die Schwerkraft mit genug Wasser zu versorgen, trug noch einmal erheblich dazu bei, die gesamte Leistung der Photosynthese der großen Wälder bis in die folgende Zeit des Karbon gewaltig zu steigern [4].

Es war die biologische Leistung des Chlorophylls in den Blättern aller pflanzlichen Lebewesen. Hier werden mit Hilfe des einwirkenden Sonnenlichts das Kohlendioxid und der Wasserstoff zu einem Kohlenhydrat zusammengefügt, das wesentlich mehr Energie enthält als die aufgenommenen Bausteine. Alle Pflanzen benötigen es als energiereichen Rohstoff in ihrem darauf aufbauenden Stoffwechsel zum Leben.

Diese Synthese ist die allererste Voraussetzung für das Leben jeder Pflanze. Gleichzeitig geht aber auch eine Spaltung voraus. Der für die Synthese notwendige Wasserstoff wird im Chlorophyll vom Wassermolekül abgetrennt. Dabei wird Sauerstoff freigesetzt und wie eine Art Abfall an die Luft abgegeben. Diese Fähigkeiten hatte die Natur allerdings schon vor unvorstellbar langer Zeit entwickelt (vor mehr als 2 Milliarden Jahren) und damit eine vorübergehende Sauerstoffkatastrophe ausgelöst für viele der anaeroben Mikroben. Doch nun, mit der Ausdehnung umfangreicher Wälder auf den Landmassen im Karbon begann der Sauerstoffanteil in der Luft wieder einmal gewaltig anzuwachsen (siehe Abbildung 4).

Der erste Abschnitt von etwa 10 Millionen Jahren des neuen Erdzeitalters des Karbons, abgeleitet vom lateinischen Wort „carbo“ für Kohle, verzeichnete nach einer deutlichen Abkühlungsphase noch einmal ein Warmklima, in welchem sich unter einem erneuten Anstieg des Meeresspiegels neue flache Schelfmeere bildeten. Wenn wir uns an den Erdkundeunterricht unserer Schulzeit erinnern, beispielsweise über die Bergbaugebiete an der Ruhr oder auch in England, fallen einem Bilder von mächtigen Kohleflözen ein, jene großen unterirdischen Lagerstätten von Steinkohle, die nach Norden hin immer tiefer abfallen. Es sind wohl die Landstriche, auf denen sich im Karbon damals noch in Äquatornähe jene ausgedehnten hochstämmigen Tropenwälder entwickeln konnten. Ihre Wurzeln drangen tief ein in die sumpfigen Böden, die das Wasser aus den Schelfmeeren der Umgebung unter den Baumkronen der Urwälder im Karbon gebildet hatte. Diese Moorwälder nahmen über ihre Sümpfe ähnlich, wie es Mooren unserer Zeit geschieht, zusätzlich Kohlendioxid auf. Der hierdurch absinkende Kohlendioxidgehalt der Luft wurde damit zur Ursache einer erneuten Phase der Abkühlung.

In den 60 Millionen Jahren dieser Epoche versanken wohl riesige Massen abgestorbener Bäume in solchen Sümpfen. Unter Luftabschluss bildeten sich schrittweise über

sogenannte Inkohlungsstufen [6] bis in unsere Zeit hinein mächtige Steinkohleschichten unter der Last eines darauf gelagerten Deckgesteins. In jener Zeit erreichte die Ausdehnung der Sumpflandschaften in der „Steinkohlezeit" des Karbons ihr Maximum. Dieses erdgeschichtliche Merkmal hatte in der jüngsten Menschheitsgeschichte vor 150 Jahren den Einstieg in den Steinkohlebergbau hervorgerufen. Zuerst gefeiert als Errungenschaft des wirtschaftlichen Fortschritts, wurde von hier der Weg in die Industrialisierung ermöglicht. Aktuell aber beginnen wir die Schäden zu erkennen, die nun mit einem kaum noch aufzuhaltenden Klimawandel drohen. Fallen wir klimatisch allmählich in ein dem Devon ähnliches Zeitalter zurück?

Die über weite Landmassen ausgedehnten Wälder mit ihren hoch aufgereckten Blätterdächern hatten die erste Warmzeit im beginnenden Karbon im Sonnenlicht genutzt, um die Menge der Biomasse weiter und weiter zu vermehren. Der Wasserstoff aus den Molekülen des Wassers ging in diese Biomasse ein, doch der Sauerstoff aus jedem Wassermolekül wurde, wie schon seit langer Vorgeschichte, an die Atmosphäre abgegeben, wie es auch heute noch bei allen Pflanzen geschieht. In jener Zeit konnten die Karbon-Urwälder in ihrer Photosynthese eine solch extrem hohe Aktivität leisten, weil noch keine nennenswerte Tierwelt in den Wäldern als Konsument nach Nahrung suchte. So stieg der Sauerstoffgehalt der Luft sprunghaft an von etwa 20 % auf den höchsten, bisher ein einziges Mal erreichten Wert von 35 %. Ein Zeichen für die noch nicht etablierte Tierwelt.

Tierarten, die nun auch begannen, das Land zu erobern, waren vor allem Insekten und Amphibien und später auch Reptilien.

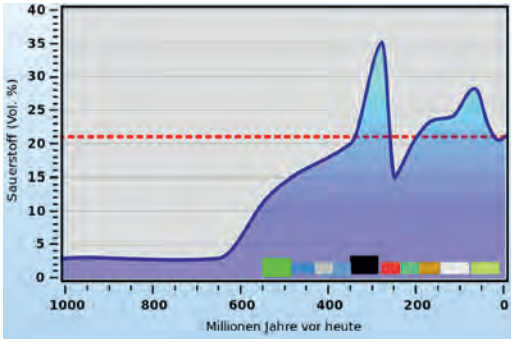


Abb. 4: Ein Sauerstoffspitzenwert markiert das Karbonzeitalter [5].

Die gesamte Tierwelt, die sogenannte Fauna, stand auf dem Lande ja erst am Anfang ihrer Entwicklung. Hier hatten alle Pflanzen, so auch die großen Bäume der Karbonwälder, also die gesamte Flora, einen enormen Entwicklungsvorsprung. Dies führte zu jenem einmalig bemerkenswerten Sauerstoff-Spitzenwert (O_2-Peak) der Erdgeschichte.

Ihren deutlichsten Ausdruck fanden diese Vorgänge jedoch auch in einem einmalig steilen Abfall der Konzentration des Kohlendioxids in der Atmosphäre. Es ist wohl ein Zeichen dafür, welche Mengen von Kohlendioxid „verbraucht" worden sind in der Photosynthese, um daraus diese gewaltigen Mengen biologischer Materie aufzubauen.

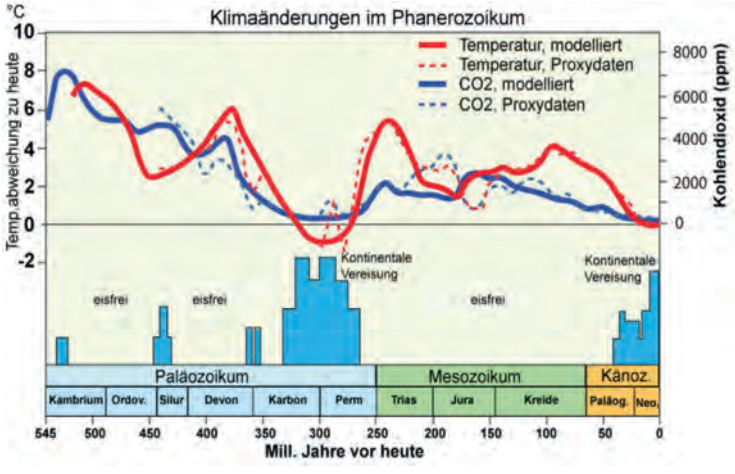


Abb. 5: Kohlendioxidgehalt der Luft beeinflusst das Klima durch die Erdzeitalter [7].

Deutlich ist dies in dem Übergang vom Devon zum Karbon in der abfallenden blauen Kurve dieser Grafik zu den Klimaänderungen erkennbar. Besonders eindrucksvoll ist zu sehen, in welchem Maße die klimatischen Temperaturwerte auch von der Kohlendioxidkonzentration beeinflusst wurden. Seit längerem ist uns der vom CO_2 beeinflusste Treibhauseffekt ja bekannt. Anhand der sogenannten Proxydaten, solchen Daten also, die in Stichproben einmal wirklich ermittelt werden konnten (gestrichelt), lassen sich sogar ein paar Detailbeobachtungen anstellen.

Hier vor allem, in der ersten eisfreien Warmzeit im Anfang des Karbon, in einer Epoche von etwa 15 Millionen Jahren mit der wohl höchsten Leistung durch Photosynthese während des gesamten Phanerozoikums, wörtlich übersetzt – dem Zeitalter sichtbaren Lebens, bildete sich ein Wendepunkt, der gleichzeitig auch die folgende Abkühlungsphase „einläutete".

Damit war die Atmosphäre im Karbonzeitalter in extremer Weise mit Energie aufgeladen. Sie befand sich, wie wir heute mit Ilya Prigogine sagen würden, weit entfernt vom thermodynamischen Gleichgewicht. Seit der Zeit vor dem Kambrium war aus einer reduzierenden eine immer stärker oxidierende Atmosphäre der Erde entstanden. Vielleicht erst seit dem Devon konnte sich auf dem Erdplaneten überhaupt ein Feuer entzünden, hätten Tiere auf dem Lande Luft atmen können, um sich auch dort überhaupt einen neuen Überlebensraum zu erschließen. Unsere eigene Angst vor einem Ersticken lehrt uns ja, dass wir keine 10 Minuten ohne diese besondere Luft auskommen könnten.

Für das Pflanzenwachstum herrschten vor allem am Anfang des Karbons wesentlich bessere Bedingungen als wir sie heute kennen. Ein steigender Meeresspiegel bildete in den dicht bewaldeten Ebenen Sumpfböden und führte wohl reichlich Wasser hinzu. Es war wieder wärmer geworden. Entscheidenden Einfluss hatte aber vor allem der eingangs noch hohe Gehalt des Kohlendioxids in der Luft im Übergang vom Devon zum Karbon. Mit 0,2 % war er fast 10-mal so hoch wie in heutiger Zeit. So bildete diese am Beginn der Karbonzeit noch ungewöhnlich hohe CO_2-Konzentration eine Art Wachstumsbeschleuniger. Die Gesamtfläche aller Baum- und Pflanzenblätter wuchs ständig weiter und vermehrte so die Syntheseleistung zu immer höheren Werten. Diese wachsenden Potentiale von Sonnenenergie wurden so im Kohlenstoff der Biomassen und im Sauerstoff der Atmosphäre und schließlich auch in den erdgeschichtlich gewachsenen Kohleflözen gespeichert.

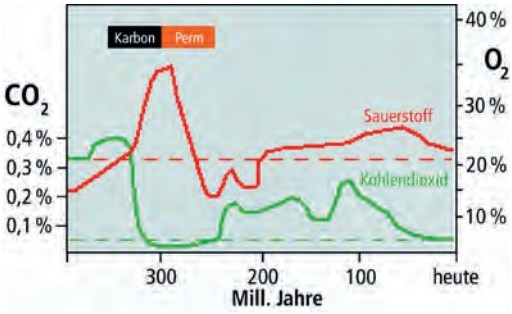


Abb. 6: Leistung der Photosynthese im Karbon: Der markante Sauerstoffspitzenwert (rot) und der radikale Kohlenstoffdioxidabsturz (grün) [8]. Die gestrichelten Linien zeigen die jeweiligen heutigen Werte an.

Auf die entscheidenden, bisher nicht umkehrbaren Veränderungen in der Atmosphäre während der Karbonzeit weist noch deutlicher Abbildung 6 hin [8]. Hier haben die Pflanzen Bedingungen seit dem mittleren Devon geschaffen, in welchen größere Landtiere hier zum Leben überhaupt erst Nahrung und genug Sauerstoff aus der Atemluft bekamen.

Riesige Insekten soll es im Verlauf des Karbons gegeben haben. In Frankreich fand man 1880 in einem Kohleflöz den Abdruck einer Libelle mit einer Flügelspannweite von 70 cm. Man gab ihr den bezeichnenden Namen Meganeura. Wirbeltiere, die nun in immer größerem Umfang ans Land kamen, waren Amphibien und danach vor allem die Reptilien. Sie konnten ebenfalls wegen des wachsenden Sauerstoffgehalts immer größer werden. Man fand in den Ablagerungen dieser Zeit Skelettreste mit einer Länge bis zu

6 Metern. Eine besondere Voraussetzung für den Landgang der Tiere war dann aber das sogenannte amniotische Ei für ihre Fortpflanzung. Erst in einem solchen Ei konnte aus einer befruchteten Keimzelle einer Landtierart ein Embryo unabhängig von Gewässern heranwachsen. Nur aus Eiern mit einer Fruchtblase konnte ein neues, junges Lebewesen auf dem Lande aus seinem Ei schlüpfen, gewissermaßen auf dem Festland „geboren" werden. Erst so konnten sich Tiere unabhängig vom Wasser fortpflanzen.

Der extrem hohe Sauerstoffgehalt verursachte aber auch, wie schon angedeutet, die verheerendsten großflächigen Waldbrände der Erdgeschichte, deren Rauchwolken immer mehr Sonnenlicht absorbierten. Auch solche Katastrophen erklären vielleicht die während der mittleren Karbonzeit einsetzende starke Abkühlungsphase. Sie führte schließlich bis zu einer kontinentalen Vereisung weit ins nachfolgende Perm hinein, wie man es leicht aus der Abbildung 5 herauslesen kann. In der abschließenden grafischen Darstellung lässt sich schließlich eine andere wichtige Entwicklung erkennen. Man sieht, wie sich in der Erdatmosphäre das uns heute vertraute Gleichgewicht von Sauerstoff und Kohlendioxid pendelnd einstellt.

Die Meere zogen sich zurück. Die Sümpfe in den Wäldern waren wohl über längere Zeit in dem kälteren Klima noch verblieben. Massen von Totholz aus erhaltenen oder auch verbrannten Wäldern fielen in sich zusammen und ertranken in den moorähnlichen Sümpfen. Hier begann der Inkohlungsprozess vom Holz über Torf, Braunkohle zur Steinkohle. Vor allem das hierdurch aus der Luft entzogen Kohlendioxid, reduziert und strikt vom Sauerstoff getrennt, führte zu einer rapiden Klimaphase der Abkühlung, die sich dann wohl zur der am längsten anhaltenden Eiszeit der Erdgeschichte des Lebens, im Phanerozoikum auswuchs.

3 Eine Atmosphäre im Fließgleichgewicht

Wenn man die Kurvenverläufe der Sauerstoff- und Kohlendioxidanteile (siehe Abbildung 6) über die Erdzeitalter bis in unsere Zeit verfolgt, zeigen sich einige gegenseitige Abhängigkeiten. Der gegensätzliche Sauerstoff-Kohlendioxidsprung am Eintritt ins Karbon markiert als „Meilenstein" eine Art „Türöffner" zur Entfaltung der Tierwelt außerhalb der Meere. Weil die Pflanzenwelt sich seit dem Devon und dem Karbon üppig über die Landmassen ausgebreitet hatte und das Niveau des Sauerstoffvorrates in der Atmosphäre sich stark erhöht hatte, wurde auch das Land zu einem neuen Lebensraum für eine Tierwelt. Sie konnte sich hier rasant entfalten und in die verschiedensten Linien der Entwicklung ausdifferenzieren. In der Folge der Zeiten variierte die Kohlendioxidkonzentration deutlich stärker als der Verlauf für den Sauerstoff, mit Ausnahme des steilen Abfalls, der das Ende des Karbonzeitalters markiert. Möglicherweise waren auch gewaltige Vulkanausbrüche und Brandkatastrophen Ursache hierfür.

Wenn wir heute aus einer Tabelle über das Gasgemisch der Erdatmosphäre die folgenden Zahlenwerte nüchtern lesen: Stickstoff 78,08 %, Sauerstoff 20,95 %, Argon 0,93 % Kohlendioxid 0,04 %, so registrieren wir überhaupt nicht diesen außergewöhnlichen, nicht ganz ungefährlichen Zustand. Diese Bilanzen können für Kohlendioxid und Sauerstoff nur durch eine ständige Energiezufuhr aufrechterhalten werden. Sie blieben seit jenem Türöffner vor 350 Millionen Jahren ohne allzu große Veränderungen bis heute bestehen. Diese Werte für Sauerstoff und Kohlendioxid befanden sich seit etwa 100 Millionen Jahren in einem schwankenden Fließgleichgewicht mit einem entsprechend hohen Vorrat potentieller Energie. Vom Zentralgestirn des Sonnensystems fließt täglich jahreszeitlich sortiert aus geeignetem Abstand Energie für alles sich entwickelnde Leben. Alle Pflanzen und besonders die Bäume in den Wäldern

absorbieren Sonnenenergie in der Photosynthese, emittieren dabei befreiten Sauerstoff an die Atmosphäre, halten so den Wert des Anteils von 20,95 % relativ konstant. Im gleichen Prozess entnehmen die Pflanzenblätter Kohlendioxid aus der Luft, um Kohlenhydrate aufbauen zu können und halten den Kohlendioxidgehalt so niedrig, auf etwa 0,04 %. Ohne die täglich zufließende Sonnenenergie und ohne die lebende Pflanzenwelt würden diese Werte auf ein statisch energieärmeres Gleichgewicht zurückfallen. Der Sauerstoffgehalt würde absinken und das Niveau der Kohlendioxidwerte rapide zunehmen. Im System der Lufthülle würden sich Werte über eine entsprechende Zeit einstellen, die vielleicht vor dem Karbonzeitalter bestanden. Alles Leben, vor allem das auf dem Festland, wäre schon in diesem Jahrhundert auf das Äußerste bedroht.

Vor 170 Jahren wurde im Ruhrgebiet begonnen, Steinkohle, das „Schwarze Gold“, aus den Ablagerungen der Karbonzeit industriemäßig zu fördern. Sonnenenergien, in einem Zeitraum von etwa 20 Millionen Jahren in der Tiefe des Erdreichs gespeichert, wurden unmittelbar verfügbar.

Natürlich nutzbare Energiepotentiale, Muskel- Wind- oder Wasserkraft konnten durch Maschinen ersetzt werden, die mit ihrer Entwicklung zu immer größeren Energieleistungen befähigt wurden. Es entstanden immer größere industrielle Konzerne und ihre betriebswirtschaftlichen Methoden fassten schließlich sogar in der Landwirtschaft Fuß. Mit einer gewissen Bedenkenlosigkeit trieb man diese Entwicklungen als Fortschritt der Menschheit voran. Zwar versprach z. B. Willy Brandt dann im Bundestagswahlkampf 1961 „den blauen Himmel über der Ruhr". Acht Jahre später wurde unter Brandts Kanzlerschaft die Abteilung Umweltschutz im Bundesministerium des Innern gegründet. Trotzdem blieb es bis heute bei der Forderung der „Wirtschaftsweisen“, die Natur müsse sich den kurzfristigen Erfordernissen der vom Menschen eingerichteten, globalen Märkte anpassen, und dürfe dem Wachstum der Industrienationen nicht im Wege stehen.

Immer deutlicher wird erkannt: Die Schäden sind nun immens. Man befürchtet einen Kipppunkt, der dann keine Umkehr mehr zulässt. Das „Schwarze Gold“ des Karbons vermittelte uns die Illusion, ungestraft pro arbeitenden Menschen immer größere Energiepotentiale einsetzen zu können. Doch wie alle anderen fossilen Energieträger ist dieses „Schwarze Gold“ nicht regenerierbar. Das beginnt man zu verstehen. Im industriellen Komplex, in den individuellen Haushalten jedoch will man nicht auf die heute gewohnten Energiepotentiale verzichten. Darin liegt ein kaum zu lösendes Problem für die Zukunft. Es ist die Frage nach dem oft so genannten Maß des menschlichen Fußabdrucks vor allem in den Industrienationen.

Vielleicht zeigen Erinnerungen einen besseren Weg in die Zukunft, eine Mahnung der Natur, gerichtet an den Menschen: Er möge sich in geeigneter Weise, den in ihr angebotenen Bedingungen anpassen. Er möge seine Umwelt, und was in ihr lebt, sich wunderbar entwickelt hat als den Grund und die Voraussetzung seines eigenen Überlebens erkennen.

Wenn wir uns die Schritte noch einmal vor Augen führen, mit denen die Welt der Pflanzen vorauseilend den Boden und die Atmosphäre bereitet hatte für die ihr nachfolgenden Arten der Tiere, die aus den Meeren kamen, werden wir den Wert der Umwelt, die unser Leben überhaupt ermöglicht, noch besser erfassen können. Alle Tiere der Umwelt, so auch wir Menschen, sind nur Konsumenten (heterotrope Lebewesen) in diesem System. Alle Pflanzen leben im System als Produzenten (autotrophe Lebewesen). Produzenten und Konsumenten begrenzen sich gegenseitig im Wachstum, müssen sich in einem Gleichgewichtszustand halten. Nicht umsonst gingen die Produzenten an der Schwelle zum Karbon voraus, ihnen folgten danach erst die Tiere als ihre Konsumenten auf das Festland.

So waren es zunächst die abgestorbenen Algen und Moosreste, die das nackte durch Regen und Frost zerbröckelte Gestein mit Erde, mit einer Mutterbodenschicht bedeckten. In der Folge waren es die sich weiter ausdifferenzierenden Pflanzen, die hier auf dem Land das Lignin als biologischen Baustoff mit genug Festigkeit hervorbrachten. Damit wurde das Wachstum in die Höhe gegen die Schwerkraft ermöglicht. In noch größerer Anzahl nahm das Chlorophyll der Blätter an Sträuchern und Bäumen immer mehr Sonnenenergie auf, die in biologischer Materie gespeichert wurde. In den Arten der Bäume fand sich schließlich sogar noch ein Weg, auch die Baumkronen, die über die Ansaughöhe von zehn Metern strebten, mit genug Wasser zu versorgen. Der gespeicherte Energievorrat vergrößerte sich weiter und weiter.

An Land war ein Vorrat an energiereicher Nahrung entstanden, der nun allen Tieren zugute kam, die als potentielle Konsumenten aus den Meeren kommend ans Land strebten. Ein reichlich gedeckter „floraler Tisch" eröffnete ihnen hier Möglichkeiten des Überlebens. Zunächst waren das nur, wie schon beschrieben, einige Insektenarten und Amphibien, die vor allem in ihrer Fortpflanzung noch auf ihre Gewässer angewiesen blieben. Die vom Wasser unabhängigen Vierfüßler kamen zunächst alle als Kriechtiere an Land, entfalteten sich in großer Artenvielfalt und wegen des hohen Sauerstoffgehalts in ihren Linien zu sehr unterschiedlichen Größen. Unter ihrem Sammelnamen, den sogenannten Synapsiden, kann man die Vielfalt ihrer Arten und die sich anschließenden Wege der Entwicklung heute leicht im Internet erkunden [9]. Mehr oder weniger rasant wuchs eine Tierwelt mit imposanten Gestalten von Pflanzen- oder auch Fleischfressern heran. Sie mussten ja intensiv atmen. Dabei wurde der Spitzenwert des Sauerstoffs von 35 % schnell wieder auf einen Gleichgewichtswert abgebaut, der etwa bis heute besteht. Eindrucksvoll zeigt dies der Kurvenzug des Sauerstoffes in Abbildung 6.

So hatte eine kooperierende Pflanzenwelt auf ihrem Vormarsch an der Türschwelle zum Karbon Voraussetzungen geschaffen mit Lebensmöglichkeiten für eine sich vielfach entfaltende Tierwelt. Als Pionierleistung bereitete die Flora der Fauna den Weg vom Meer aufs Land. Doch die Fauna bildete nun mit der Flora ein neues System auf dem Land, das sich in der gesamten Natur im Gleichgewicht gehalten hat und hält. Aus dem ständigen Strom der Sonnenenergie, der täglich die Erde erreicht, erhält alles, was Teil dieser Natur ist, Energie und damit auch den Willen zum Leben.

Und wir Menschen? – Bauen wir künstlich erdachte Umwelten? – Dienen die allem Leben?

Der vom Menschen verursachte Klimawandel setzt Nutzpflanzen und andere Lebewesen an Land einem starken Anpassungsdruck aus, nicht unähnlich dem Anpassungsdruck, der notwendig war, als Algen und später Landpflanzen erstmals das Land eroberten [10].

4 Quellen

[1] *https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoffdioxid_in_der_Erdatmosph%C3%A4re#Ordovizium_bis_Karbon*

[2] *https://de.wikipedia.org/wiki/Devon_(Geologie)#Entwicklung_der_Flora*

[3] Bentrup, F.-W.: Salzburg Präsentation für UNI Jena 2016

[4] *http://www.astrolehrbuch.de/Erde/System_Erde_48.pdf*

[5] *https://de.wikipedia.org/wiki/Entwicklung_der_Erdatmosph%C3%A4re#Dritte_Atmosph%C3%A4re*

[6] *https://de.wikipedia.org/wiki/Inkohlung#Phasen_der_Inkohlung*

[7] *https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Phanerozoikum*

[8] *https://bildungsserver.hamburg.de/klimageschichte/2047210/das-phanerozoikum/*
Die aussagestarke Grafik in diesem Artikel wurde in der genannten Internetdatei gelöscht. Der Grund: Eine CO_2-Skala mit falschen Prozentwerten. Darum habe ich die Grafik bearbeitet und eine Skala mit plausibleren Werten eingefügt, um diese markanten Kurvenzüge zu erhalten.

[9] *https://de.wikipedia.org/wiki/Synapsiden*

[10] *https://www.cell.com/trends/plant-science/fulltext/S1360-1385(22)00143-1*–Concluding remarks

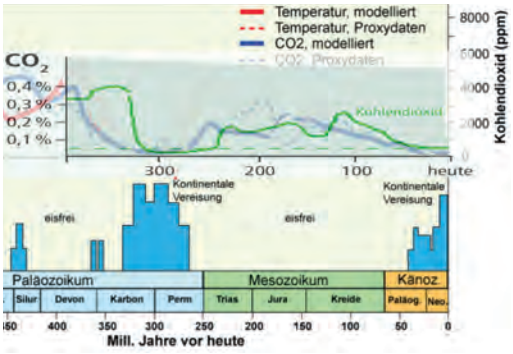
Letzter Abruf aller Adressen am 26.08.2022.

Kleines Nachwort zur den Abbildungen 5 und 6

Klimatische Verhältnisse, die vor 300 Millionen Jahren herrschten, sind sicher nur annäherungsweise zu ermitteln und entsprechend darzustellen. Dies gilt ganz besonders für die Grafiken 5 und 6. Für uns konnte das in der Entwicklungsgeschichte der Darstellung beider Abbildungen spannend nachvollzogen werden.

An dieser Stelle habe ich deshalb Björn Kähler herzlich zu danken für seine einfühlsame und kompetente Zusammenarbeit bei der Übernahme meines Aufsatzes in diesen Bericht. Eine klare Darstellung der Abbildungen im zweispaltigen Buchtext war gewiss keine leichte Aufgabe.

Der Fußnote [8] ist andeutungsweise zu entnehmen, dass es sich hierbei um einen besonderen und durchaus spannenden Arbeitsgang handelte. Das heute nicht mehr existente Original mit den Kurvenzügen Sauerstoff und Kohlendioxid hatte mich im ersten Satz des Aufsatzes zunächst verleitet, von einem noch viel höheren Unterschied der CO_2-Gehalte auszugehen. Sehr schnell musste ich feststellen, dass hier die Skala der CO_2-Werte um Zehnerpotenzen falsch war. Die Entdeckung der Abbildung 5 führte in meiner Korrespondenz mit dem Hamburger Bildungsserver zur Löschung und zum Bildersatz dort. Das ist schade, denn die vollständige Grafik (hier wurde ja nur ein Ausschnitt verwendet) war abgesehen von der falschen CO_2-Skala sehr informativ und aussagestark.



Björn Kählers raffinierte Kombination beider Bilder, die ich hier nicht vorbehalten möchte, führte zu einer sehr ansprechenden Lösung. Wenn man genau hinschaut, gibt diese Darstellung gewiss ausreichend Hinweise für eine vielleicht fruchtbare Diskussion.

Eine entscheidende Rolle dürfte hierbei wohl auch die Vereisungslücke (15 bis 20 Millionen Jahre) im Anfang des Karbon spielen.

Auch in diesem markanten Beispiel zeigt sich, wie notwendig es ist, sich wie auch hier der nur bedingten Genauigkeit in der Aussagekraft solcher Grafiken bewusst zu bleiben. In der Zusammenschau klären sich manche Bilder und Vorstellungen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte des Naturwissenschaftlichen Verein für Bielefeld und Umgegend

Jahr/Year: 2022

Band/Volume: 59

Autor(en)/Author(s): Stoevesandt Klaus

Artikel/Article: Wie das Leben aus den Meeren auf das Festland kam 150-161