



De-Greiff-Straße 195 • D-47803 Krefeld
Postfach 10 07 63 • D-47707 Krefeld

Telefon: (0 21 51) 897-0
Telefax: (0 21 51) 897-542

Internet: <http://www.gd.nrw.de>
E-Mail: poststelle@gd.nrw.de

Gesch.-Z.:
Datum:

Das Erbe des Feuers – Was sagen schwarze Steine über die Umwelt der letzten 360 Millionen Jahre?

Christoph Hartkopf-Fröder
Leiter des Fachbereichs Paläontologie, Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen,
Krefeld

Mit Waldbränden verbindet man üblicherweise die Vorstellung von der Zerstörung wertvollen Holzbestandes und der Vernichtung artenreicher Ökosysteme. Spektakuläre Bilder von den Waldbränden im Mittelmeergebiet, in Kanada und den USA während des Jahrhundertssommers 2003 und die sich überschlagende Berichterstattung in den Medien haben diesen Eindruck in der Bevölkerung nur noch verstärkt. Seit einiger Zeit ist jedoch auch bekannt, dass regelmäßige Waldbrände zwar ein dramatischer aber integraler Bestandteil natürlicher terrestrischer Ökosysteme sind und dass sie eine enorme Bedeutung für die Zusammensetzung der Vegetation haben.

Obwohl großflächige Waldbrände in natürlichen, dynamischen Ökosystemen häufig vorkommen, sind sie geologisch kaum dokumentiert. Erstmals gelang 1992 durch NICHOLS & JONES der Nachweis eines katastrophalen fossilen Waldbrandes und seiner Folgen in einer älteren Abfolge und erst seit wenigen Jahren werden zunehmend die Spuren von längst vergangenen Waldbränden in den Gesteinen entdeckt. Die Bedeutung dieser fossilen Waldbrände auf Fauna, Flora und die Entwicklung der damaligen terrestrischen Ökosysteme ist noch so gut wie unerforscht.

Voraussetzung für Waldbrände ist, dass genügend brennbares Material vorliegt, ein ausreichender Sauerstoffgehalt in der Atmosphäre vorhanden ist und das organische Material entzündet wird. Die erste Bedingung war sicherlich erst seit dem Oberdevon, d. h. vor ca. 365 Millionen Jahren, erfüllt. Zu dieser Zeit fand ein tiefgreifender Wechsel in der Ausgestaltung der Vegetation statt. So entwickelten sich die ersten Bäume wie *Archaeopteris*, eine charakteristische Pflanze des Oberdevons und der erste bekannte Baum, der Waldbestände bildete und einen verholzten Stamm besaß. *Archaeopteris* erreichte immerhin eine rekonstruierte Höhe von ca. 30 m. Parallel mit der Zunahme der Wuchshöhe bildeten die Pflanzen ein dichteres und vor allem tieferes Wurzelwerk. Dies

war die Basis für eine bessere Wasserversorgung der Pflanzen, die somit unabhängiger von kurzzeitigen Niederschlagsschwankungen wurden. Außerdem entwickelten einige Pflanzen die ersten Samen und waren so in der Lage, auch trockenere Gebiete zu besiedeln. Diese drei Innovationen in der Vegetation des Oberdevons – Entwicklung hoher Bäume, tiefer Wurzeln und Samen – waren die Voraussetzung dafür, dass genügende Mengen an organischem Material gebildet wurden und auf dem Boden akkumulierten. Da spezielle Pilze, die eine der Hauptsustanzen von Holz, das Lignin, abbauen können, zu dieser Zeit noch nicht existierten, dürfte der Boden von erheblichen Mengen abgestorbener Pflanzenreste bedeckt gewesen sein. Der Mindestgehalt von Sauerstoff in der Atmosphäre, der notwendig ist, um ausgedehnte Waldbrände zu ermöglichen, wird mit mindestens 13 % angenommen. Ein Ansteigen des Sauerstoffgehalts auf 21 % würde die Feuerwahrscheinlichkeit deutlich erhöhen und bei einem Gehalt von 25 % kann selbst sehr feuchtes Pflanzenmaterial brennen. Für die Zeit des Oberdevons und auch schon davor wird ein Sauerstoffgehalt in der Paläoatmosphäre von ca. 12 – 24 % berechnet, sodass diese Bedingung erfüllt war. Später, als ausgedehnte Sümpfe im küstennahen Tiefland während des Oberkarbons entstanden und sich die Steinkohlelagerstätten bildeten, stieg der Sauerstoffgehalt beträchtlich an und erreichte Spitzenwerte zwischen 25 und 35 %. Entzündet wurde der größte Teil der damaligen Waldbrände sicherlich durch Blitze, für die Bäume von bis zu 30 m Höhe ein geeigneter Anziehungspunkt darstellten. Spuren von Blitzen sind fossil gelegentlich überliefert. Andere Ursachen für Waldbrände wie Selbstentzündung durch verrottende organische Substanz, Vulkanismus, Felsstürze mit Funkenflug oder gar Meteoriteneinschläge haben sicherlich eine geringere Rolle gespielt.

Fossil sind Waldbrände vor allem durch das Vorkommen von Holzkohle nachzuweisen. Die pflanzliche Biomasse wird bei einem Brand in Asche und unter anderem abhängig von der Temperatur und der Dauer des Feuers sowie der Sauerstoffzufuhr in teilweise verkohlte Pflanzensubstanz bis hin zu Holzkohle umgewandelt. Dabei bleiben die Strukturen der Pflanzen in feinsten Details erhalten. Laborversuche haben gezeigt, dass Holzkohle erst bei höheren Temperaturen, etwa ab 230 °C, entsteht. Holzkohle ist außerordentlich widerstandsfähig gegen oxidierende Lösungen bzw. mikrobiellen Abbau. Die bei Feuertemperaturen zwischen 230 °C und etwa 300 °C entstandene Holzkohle ist außerdem gegenüber dem Transport im Wasser relativ unempfindlich, da sie auf der Wasseroberfläche schwimmt. Bei Feuertemperaturen von deutlich über 300 °C bilden sich jedoch in den Zellwänden feine Risse, sodass die unter solchen Bedingungen entstandene Holzkohle leicht zerbricht und schon nach kurzem Transport nur in winzigen Resten („black carbon“) erhalten bleibt. Außerdem sinkt die bei diesen Temperaturen entstandene Holzkohle im Wasser sehr rasch zu Boden, sodass auch der Transport schwimmend auf der Wasseroberfläche nicht möglich ist. Holzkohle, die unter ganz bestimmten Temperaturbedingungen entstanden ist, ist daher wegen der außerordentlich gut erhaltenen Feinstrukturen und der Widerstandsfähigkeit des Materials ein begehrtes paläobotanisches Untersuchungsmaterial. Da selbst so zarte Strukturen wie Sporenbehälter, Farnblättchen oder Moosreste als Holzkohle minutiös überliefert bleiben, lassen sich Details beobachten, die bei normaler Fossilerhaltung verschwunden sind.

Der weltweit älteste sichere Nachweis eines Waldbrandes gelang CRESSLER vor zwei Jahren aufgrund des Vorkommens von Holzkohle in ca. 360 Millionen Jahre alten

Sedimenten des Oberdevons von Pennsylvania (U.S.A.). Geringfügig jünger ist der weltweit zweitälteste Nachweis. Dieses Vorkommen liegt in der Paffrather Mulde bei Köln, hat ein Alter von ca. 355 Millionen Jahren und wurde kürzlich detailliert durch MURIEL FAIRON-DEMARET (Universität de Liège) und CHRISTOPH HARTKOPF-FRÖDER (Geologischer Dienst NRW) untersucht. Auch hier wurden Holzkohlestücke in den Gesteinen gefunden. Die Fragmente haben eine Länge von wenigen Millimetern und weisen die typischen Eigenschaften von Holzkohle auf, d. h. sie sind schwarz, haben einen seidigen Glanz, die Pflanzenstrukturen sind bis in feinste Details und dreidimensional erhalten und die Zellwände sind homogenisiert. Überraschend ist die große Anzahl unterschiedlicher überlieferter Organe. So kommen verschiedene Holz-, Zweig- und Blatttypen, insgesamt sieben Typen von Sporenbehältern (= Sporangien) sowie einige schwer interpretierbare Pflanzenorgane vor. Die Zweigreste besitzen Spaltöffnungen, warzenförmige Verzierungen oder haarähnliche, über 0,2 mm lange Fortsätze. Letztere waren aus Pflanzenassoziationen dieser Zeit noch unbekannt. Außerdem kommen Zweige mit hakenförmigen Spitzen vor, wie sie für krautige Kletterpflanzen typisch sind. Die Blattfragmente sind teilweise ebenfalls mit warzenähnlichen Strukturen oder mit auffällig verzierten Zellwänden versehen. Auf der Oberfläche der Sporenbehälter, die meist zylindrisch bis zigarrenförmig und in Büscheln mit bis zu acht Exemplaren angeordnet sind, verlaufen die Zellen häufig als Spirale gegen den Uhrzeigersinn. Sehr auffallend sind bestachelte Sporenbehälter. Bemerkenswert sind das Vorkommen von „modernen“ Merkmalen wie sie aus dem Oberdevon noch nicht bekannt waren sowie die unerwartet hohe Artenvielfalt. Da die Holzkohle nicht in Lagen angereichert ist, sondern gleichmäßig verteilt über eine Sedimentmächtigkeit von ca. 32 m vorkommt, muss die Vegetation regelmäßig von Waldbränden beeinflusst worden sein. Der größte Teil der Pflanzenreste stammt offensichtlich von noch unbekanntem frühen Farnen und Nacktsamern (= Gymnospermen). Typische Pflanzen aus Sumpfbereichen sind selten. Da im Oberdevon die frühen Farne und Nacktsamer vermutlich trockene Standorte in höher gelegenen Arealen besiedelten, sind diese Pflanzen normalerweise äußerst selten überliefert. Die dank eines Waldbrandes in Holzkohle erhaltene Flora vermittelt daher einen Eindruck von einer bisher fast unbekanntem Vegetation und stellt einen noch rätselhaften Teil des terrestrischen Ökosystems im ausgehenden Devon dar.

Erheblich häufiger als im Oberdevon waren Waldbrände im Oberkarbon vor ca. 300 Millionen Jahren. Dies hängt wohl mit dem erhöhten Sauerstoffgehalt in der Paläoatmosphäre und mit der erheblichen Menge des organischen Materials, das in den Küstensümpfen akkumulierte, zusammen. Dabei ermöglichte der Sauerstoffreichtum auch das Verbrennen feuchter Pflanzenreste. Besonders in den Kohleflözen finden sich häufig beträchtliche Mengen von Holzkohle in einzelnen Lagen, die jeweils ein Waldbrandereignis darstellen, angereichert. So gibt es einige Flöze, in denen Holzkohle bis zu 20 % ausmacht. Da man die Bildungsdauer einer Torfschicht, aus der später das Kohleflöz entstand, recht genau bestimmen kann, lässt sich die Häufigkeit von Waldbränden abschätzen. Im Oberkarbon waren die Sumpfbereiche etwa alle 85 Jahre, teilweise sogar noch häufiger, von Waldbränden betroffen. Vor allem die Pflanzen auf trockenen Standorten und morphologischen Erhebungen wurden gelegentlich auch vollständig zerstört.

Auffallend ist ein drastischer Rückgang der Waldbrandhäufigkeit nach dem Oberkarbon für die nächsten 90 Millionen Jahre. Nur in den Kohlen der Südhalbkugel, die in der Permzeit vor 250 – 290 Millionen Jahren gebildet wurden, ist Holzkohle als Indiz für Waldbrände nicht selten. Die Gründe hierfür sind noch nicht erforscht.

Gut untersucht sind dagegen die Waldbrände aus der Jura- und Kreidezeit (ca. 205 – 65 Millionen Jahre). In einigen Ökosystemen dieser Zeit, zum Beispiel in einer von Koniferen, Ginkgo- und Cycadeen-Gewächsen dominierten Vegetation, waren Waldbrände häufig wiederkehrende Ereignisse. Auch die Koniferen-Vegetation hoch gelegener, trockener Gebiete wurde immer wieder vernichtet, da man in Deltaablagerungen dieser Zeit häufig holzkohlereiche Lagen findet, die regelmäßige Waldbrände dokumentieren. Erdölbohrungen in der Nordsee haben sehr interessante, ca. 170 Millionen Jahre alte Schichten mit Kohleflözen erschlossen, in denen die Waldbrände in einem Sumpfgebiet in der Küstenebene rekonstruiert werden können. Der hohe Anteil an Holzkohle in den Flözen wird als Folge von Waldbränden interpretiert, doch scheint auch der Torf, aus denen sich die Kohle bildete, gebrannt zu haben. Landwärts, also in Richtung trockenerer Gebiete, nahm die Häufigkeit der Feuer zu. Dabei verbrannte der Torf an Ort und Stelle bis zum Grundwasserspiegel. Dort wo der Grundwasserspiegel sehr hoch stand, wurde nur die Vegetation, nicht aber der Torf vom Waldbrand zerstört. Besonders wichtig werden Waldbrände in der Kreidezeit, also vor 140 – 65 Millionen Jahren. Vor etwa 120 Millionen Jahren entstanden die ersten Bedecktsamer (= Angiospermen), also die Pflanzen, die heute unsere Vegetation ganz überwiegend prägen. Gerade weil Pflanzenorgane, wie zum Beispiel zarte und kleine Blüten, in Holzkohle so vorzüglich erhalten sind, beruht unsere Kenntnis über die Entstehung dieser wichtigen Pflanzengruppe fast ausschließlich auf Fossilresten, die durch Waldbrände entstanden.

Auch die Fossilagerstätten in einigen Steinbrüchen bei Wülfrath stammen aus der Kreidezeit. Die Vorkommen sind alle an Karsthöhlen gebunden, liegen etwa 150 – 200 m unter der Geländeoberfläche und wurden in den letzten Jahren unter feuerökologischen und paläobotanischen Gesichtspunkten durch CHRISTOPH HARTKOPF-FRÖDER und AGNES VIEHOFEN untersucht. Da die kreidezeitlichen Ablagerungen in den Höhlen gut geschützt waren, ist die Erhaltung der Holzkohle hier besonders gut. Wegen der guten Aufschlussverhältnisse in den Steinbrüchen der RHEINKALK GmbH & Co. KG liefern die Vorkommen sehr genaue Informationen über die kreidezeitlichen Waldbrände, die betroffene Vegetation, die Morphologie und das Gewässernetz im Bergischen Land zur damaligen Zeit. Eines der Vorkommen wird im Anschluss an die Wissenschaftspressekonferenz in einem Steinbruch bei Wülfrath besucht. Eine detaillierte Beschreibung dieses Vorkommens finden Sie in dem beiliegenden Text.

Die Kreide/Tertiär-Grenze vor 65 Millionen Jahren ist wegen des gewaltigen Meteoriteneinschlags und dem folgenden Aussterben der Dinosaurier in der Öffentlichkeit bekannt. Von einigen Wissenschaftlern wurde spekuliert, dass der Meteoriteneinschlag globale Brände hervorrief. Dies würde zur Folge haben, dass an der Grenze große Mengen von Holzkohle konzentriert sein müssten. Dies ist allerdings nicht der Fall. Die vorhandenen Indizien deuten vielmehr darauf hin, dass regional Brände wie sie in den damaligen Ökosystemen üblich waren stattfanden und nicht mit dem Meteoriteneinschlag ursächlich zusammenhängen.

Im Tertiär, also zur Zeit als die Braunkohlelagerstätten in der Niederrheinischen Bucht gebildet wurden, ist der Gehalt an Holzkohle in den Gesteinen, speziell in den Kohleflözen auffallend gering. Das ist besonders überraschend, da in diesen Schichten eine große Anzahl von Pflanzenresten gefunden wurden, die aber nicht als Holzkohle erhalten sind. Wahrscheinlich nahm die Feuerhäufigkeit während des Tertiärs ab um im späten Quartär mit dem Erscheinen des Menschen wieder drastisch zuzunehmen.

Die Geschichte der Entwicklung terrestrischer Ökosysteme ist auch eine Geschichte häufiger Waldbrände. Sie formten – genauso wie heute – eine dynamische Abfolge von Vegetationstypen. Ohne Feuer in der Vergangenheit sähe die Pflanzenwelt auf den Kontinenten heute anders aus, sie wäre ärmer an Arten, spezielle ökologische Nischen hätten sich nicht bilden können und der Boden wäre von der Masse abgestorbener Pflanzenreste überdeckt. Keimende und junge Pflanzen hätten nie eine Chance gehabt, sich gegen die vorhandene Vegetation durchzusetzen. Die regelmäßige Erneuerung der Vegetation wäre zum Stillstand gekommen. Eine Welt ohne Feuer in der Vergangenheit ist nicht vorstellbar. Obwohl Waldbrände zerstörten, lieferten sie doch ein exklusives Archiv längst versunkener Floren in Form von Holzkohle. Unser Wissen über die Evolution der Floren basiert wesentlich auf diesem Archiv. Das Erbe des Feuers ist ein Schlüssel für die Entzifferung der Entstehung der Pflanzen.

Christoph Hartkopf-Fröder

Geologischer Dienst NRW
De-Greiff-Str. 195
47803 Krefeld
Fon (0 21 51) 8 97-2 55
Fax (0 21 51) 8 97-5 42
christoph.hartkopf-froeder@gd.nrw.de
<http://www.gd.nrw.de>