

## **Umwelt- und Klimaarchiv Braunkohle: Beitrag von Paläobotanik und Organopetrologie zur Moorfaziesrekonstruktion**

Mit 8 Abbildungen und 4 Tabellen

HENNY GERSCHEL, JOCHEN RASCHER, NORBERT VOLKMANN & NORA PFEIFFER

### **Abstract**

GERSCHEL, H.; RASCHER, J.; VOLKMANN, N. & PFEIFFER, N.: Lignite as a Natural Archive: Contribution of Palaeobotany and Organopetrology to Moor Facies Reconstruction

Natural climate archives such as ice cores, stalactites or ocean / lake sediments are used intensively for the reconstruction of paleoenvironmental and climatic conditions. Also, peat soundings of recent moors find their way into the climate research of the youngest geological past. The potential of lignite as an environmental and climate archive, on the other hand, is largely underestimated. Yet it is precisely lignite – as fossil testimony to former large-scale moorland landscapes – that has a high significance with regard to earlier ecological and climatic developments. The moor facies analysis thus goes far beyond a palaeobotanical or petrographically typing of lignite and consequently leads to the reconstruction of phytocenoses, biochemical degradation processes in the paleo-moor and their ecological boundary conditions. Therefore, this article gives an overview of the current state of knowledge on facies development in Tertiary moors. Furthermore, the palaeobotanical (mainly cuticular analysis and palynology) and organopetrographic (mainly liptinite analysis and macroscopic facies diagnosis) investigation methods are reviewed.

*Keywords:* Lignite, Cuticular analysis, Liptinite analysis, Macropetrography, Moor facies, Paleobotany, Palynology, Xylotomy

### **Kurzfassung**

Natürliche Klimaarchive wie Eisbohrkerne, Tropfsteine oder auch Ozean- / Seesedimente werden wissenschaftlich intensiv zur Rekonstruktion von Paläoumwelt- und Klimaverhältnissen genutzt. Auch Torfsondierungen rezenter Moore finden Eingang in die Klimaforschung der jüngsten geologischen Vergangenheit. Das Potenzial der Braunkohlen als Umwelt- und Klimaarchive hingegen ist weitläufig unterschätzt; dabei besitzen gerade sie – als fossile Zeugnisse einstiger großräumiger Moorlandschaften – hohe Aussagekraft bezüglich früherer ökologisch-klimatischer Entwicklungen. So geht die Moorfaziesanalyse weit über die paläobotanisch-petrographisch begründete Typisierung von Braunkohlen hinaus und führt folgerichtig zur Rekonstruktion der Phytozönosen, biochemischen Abbauprozessen im Paläomoor sowie deren ökologischen Randbedingungen. Vorliegender Artikel gibt daher einen Überblick zum gegenwärtigen Kenntnisstand der Faziesentwicklung im tertiären Moor

sowie den paläobotanischen (i. W. Kutikularanalyse und Palynologie) und organopetrographischen (i. W. Liptinitanalyse und makroskopische Faziesdiagnose) Untersuchungsmethoden.

*Schlüsselwörter:* Braunkohle, Kutikularanalyse, Liptinitanalyse, Makropetrographie, Moorfazies, Paläobotanik, Palynologie, Xylotomie

## 1 Einleitung

Der Begriff der Fazies wurde bereits im Jahre 1838 durch A. Gressly in die geologischen Wissenschaften eingeführt. Im klassischen Sinn bezeichnet die Fazies den Habitus eines Gesteins, den es durch seine Bildung in einem spezifischen Paläoenvironment erhalten hat, eingeschlossen aller strukturellen und textuellen Merkmale sowie des Fossilinhaltes. Nach detaillierter Aufnahme all dieser Merkmale sind so die bei der Ablagerung des Sedimentes herrschenden Bedingungen hinsichtlich Paläoökologie und Paläogeographie in einem konkreten Ablagerungsraum rekonstruierbar.

Der international gebräuchliche Terminus der „coal facies“ impliziert dabei sowohl die Pflanzenwelt im Moor als auch die Inkohlungsbedingungen, d. h. vorrangig Druck-Temperatur-Verhältnisse. Im deutschen kohlengeologischen Schrifttum hingegen wird der Begriff der Fazies in zweierlei Hinsicht gebraucht: Zum einen versteht sich unter der eher deskriptiv-petrographisch angelegten „Kohlenfazies“ die typische Paragenese kohlenaufbauender Komponenten sowie deren genetische Diagenese- und Inkohlungsprozesse (VOLKMANN 1990). Als Ausdruck der im Paläomoor herrschenden ökologischen Bedingungen steht die interpretativ geprägte „Moor-“ oder „Torffazies“ der historischen Definition von Gressly jedoch sehr viel näher.

Hierbei werden sowohl farbliche und textuelle Merkmale der einzelnen Braunkohlenlagen (Lithotypen) als auch deren Inventar an pflanzlichen Mikro- und Makrofossilien (Pollen, Sporen, Blätter, Früchte, Hölzer) genutzt, um Aussagen zu den syngenetischen Lebens- und Ablagerungsräumen zu erhalten. Vor allem hydrogeologische Bedingungen, wie der Wasserstand im tertiären Moor und dessen Quelle (grundwasserernährtes Niedermoor vs. oberflächenwassergespeistes Hochmoor) können so rekonstruiert werden. Aber auch Aussagen zu den damit assoziierten Besonderheiten des Biomasseabbaus, der Nähr- und Sauerstoff-Verhältnisse im Torfkörper und der Zusammensetzung der torfbesiedelnden Pflanzengesellschaft (Phytozönose) sind hierdurch möglich.

Anhand gerichteter Veränderungen in den Grundwasser- und Trophieverhältnissen – verursacht zumeist durch extrapalustrische Bedingungen, wie Meeresspiegelschwankungen und relative Höhenverstellungen des Untergrundes – entstehen schließlich zyklische, sukzessive Moorfazies-Abfolgen. Im Idealprofil entwickeln sich diese beginnend mit eutrophen Sumpfwald- und Buschmooren zu Kiefern-Zwischenmooren und schließlich hochmoorähnlichen (ombrotrophen) und oligotrophen Waldmoorstadien (SCHNEIDER 1978, 1992, 1995, 2007, 2010a; GÖTHEL & SCHNEIDER 2004; DOLEZYCH & SCHNEIDER 2006, 2007). Die Charakteristika der dabei akkumulierten, moorfaziell und petrographisch unterschiedlich ausgebildeten Torfe übertragen sich diagenetisch – unter Berücksichtigung der inkohlungsbedingten Veränderungen – auch auf die daraus resultierenden Braunkohlen (RASCHER 2015).

Die Kenntnis und Interpretation der äußerst sensiblen Reaktionen der Moorfazies auf geologische Veränderungen im lokalen oder regionalen Maßstab, der Flözentwicklung schlechthin, ist jedoch nicht nur für die Beantwortung allgemeiner kohlengeologischer

und lagerstättenkundlicher Fragen von Bedeutung. Als Einheit von pflanzlicher Substanz und definierten biochemischen Inkohlungsprozessen bildet die Moorfazies Grundlage für die an Struktur und organogenen Stoffbestand geknüpfte Rohstoffeignung (JURASKY 1936, TEICHMÜLLER 1958, SCHNEIDER 1978, ROSELT 1978, VOLKMANN 1990). Auch wenn die meisten Fragen der Braunkohlengenese überhaupt erst durch anwendungsorientierte Problemstellungen aufgeworfen wurden und deren Beantwortung bis heute erheblich zur Lösung bergbaulicher und kohlennutzungsorientierter Herausforderungen beiträgt, so ist die Moorfaziesanalyse doch auch von großem wissenschaftlichem Interesse. Insbesondere der sich gegenwärtig vollziehende Wandel der Kohlenforschung – weg von rohstoffgeologischen hin zu verstärkt Paläoumwelt-orientierten Aspekten – gibt daher Anlass, den Kenntnisstand der Entwicklung der Moorfazies-Analytik und der daraus resultierenden Moorsukzessionen mit ihrem direkten Bezug zur Flözausbildung und Kohlenqualität zusammenfassend darzustellen.

## 2 Paläobotanische Methoden der Moorfaziesanalyse

### 2.1 Mikropaläobotanische Methoden

#### 2.1.1 Kutikularanalyse

Die Kutikularanalyse ist eine der ersten, wichtigsten und bis heute in nahezu unveränderter Form angewandten Methoden der mikropaläobotanischen Kohlenuntersuchungen. Sie macht sich den Umstand zunutze, dass die als Untersuchungsgegenstand dienenden (fossilen) Oberhäute vor allem der Blätter (Kutikulen; lat. *cutis* „Haut“) aus dem – einhergehend mit ihren natürlichen, floristischen Schutzfunktionen – resistenten Biopolymer Cutin bestehen. So sind die Kutikulen auch in geologischen Zeiträumen sehr gut erhaltungsfähig. Gegenüber der Palynologie, ermöglicht die Kutikularanalyse zwar nur Aussagen über eine flächenbezogen geringere Artenzahl, dafür weisen Blätter aber eine geringe ökologische Dispersion auf. Somit ist die authochthone Phytozönose direkt erkennbar, wodurch moorfazielle Unterschiede in lateraler und zeitlicher Folge eindeutig abzuleiten sind.

Auch wenn heute als Begründer der Kutikularanalyse („bulk maceration“) der Geologe und Unternehmer JOHANN GEORG BORNEMANN (1856) gilt, so war es doch der Freiburger Paläobotaniker KARL ALFONS JURASKY (1929, 1934/35), der sich wesentlich um die systematische Herangehensweise der Kutikularanalyse verdient machte. Basierend auf seinen Untersuchungen von Kutikulen rezenter Gewächse und fossilen Belegmaterials gut bekannter Herkunft, entwickelte er eine botanisch angelegte Methode zur Identifikation des fossilen Pflanzeninhalts unterschiedlicher Sedimente. Grundlage seiner Arbeit waren dabei große, bevorzugt vollständig erhaltene Kutikulen, die anhand ihrer anatomischen Merkmale botanisch eindeutig identifizierbar sind. Unter Jurasky's Ägide entwickelte sich die Kutikularanalyse zu einem wichtigen Hilfsmittel bei der Klärung phylogenetischer Verwandtschaftsverhältnisse, der systematischen Stellung sowie der genauen Artbestimmung und -identifizierung. Für die Untersuchung des teils hervorragend erhaltenen fossilen Pflanzenmaterials in den tertiären Begleitsedimenten der Braunkohlenflöze (z. B. tonige Stillwasser-Ablagerungen mit Blatthorizonten) erreichte diese Herangehensweise internationale Anerkennung und findet bis heute wissenschaftlichen Einsatz.

Ab den 1950er Jahren wurde die Kutikularanalyse in nahezu allen deutschen Braunkohlenrevieren bei Fragen der Stratigraphie, Moorfazies und Genese von Kohlen und Tertiär-sedimenten herangezogen (u. a. KRÄUSEL & WEYLAND 1950; WEYLAND 1956; KLIPPER 1960; BENDA 1960; SCHWAB & FRANTZ 1962; LITKE 1966, 1967). Die direkte Übertragung dieser Methode auf die Untersuchung von Weichbraunkohlen hingegen sah sich mit mehreren Problemen konfrontiert: Zum einen tragen Blätter gegenüber den verholzten Pflanzenteilen kaum zur gesamten Torf- bzw. Kohlenmasse bei, sodass eher wenig Untersuchungsmaterial zur Verfügung steht. Darüber hinaus waren Gewächse an der Torfbildung beteiligt, deren nächste Verwandte bereits ausgestorben sind, sodass diese Gewebereste durch Vergleiche mit Rezentherbarien nicht identifiziert werden können. Zum anderen sind Torfe generell durch Destruktion und Humifikation geprägt, sodass die Gewebereste meist deutlich stärker aufgearbeitet sind und Kutikulen meist nur als Fragmente vorkommen, die selten ausreichend eindeutige Merkmale für eine direkte Zuordnung der Mutterpflanze zeigen.

Infolgedessen entwickelte W. Schneider eine Methode zur Untersuchung disperser Kutikulen, die sich anstelle botanischer Kriterien primär nach strukturellen Merkmalen richtete (SCHNEIDER 1966, 1969, 1979, 1982, 1986; ROSELT & SCHNEIDER 1969). So entstand ein Klassifikationssystem aus formtaxonomisch vergleichbaren Kutikulengruppen (Tab. 1), deren botanische Ursprünge zunächst teilweise unklar waren und erst seit den letzten Jahrzehnten sukzessive aufgeklärt werden konnten (z. B. SCHNEIDER 2000, 2009, 2010b, 2013b, 2014, 2015). Unter den streng botanisch arbeitenden Paläobotanikern galt seine Formtaxonomie daher anfangs als umstritten, fand aber schnell Anerkennung durch den Paläobotaniker Prof. Dr. Robert Potonié (ROSELT 1988).

**Tab. 1:** Klassifikation fossiler disperser Kutikulen-Gruppen nach SCHNEIDER (1969) bzw. ROSELT & SCHNEIDER (1969).

Formgattung	Levicutis – ROSELT & SCHNEIDER 1969	disperse Kutikulen von Gräsern
	Enormicutis – SCHNEIDER 1969	disperse Kutikulen von Taxodiaceae-Nadeln
	Versipalmicutis – SCHNEIDER 1969	disperse Kutikulen von Palmen
Organgattung	Sciadopitycutis – SCHNEIDER 1969	disperse Kutikulen der Schirmtanne <i>Sciadopitys</i>
	Pinicutis – SCHNEIDER 1969	disperse Kutikulen der Kiefernnadeln
Übrige cellareate Kutikulen		disperse Kutikulen, vorrangig der Angiospermen
<i>Pinus</i> -Korkgewebe		„Wisbar-Zellen“, Rindengewebe von Kiefern
<i>Marcoduria</i> -Gewebe		Wurzelreste

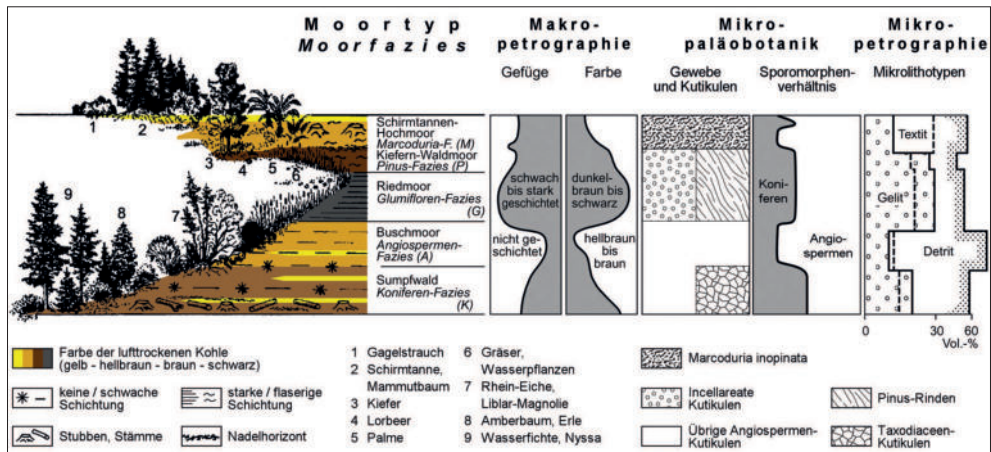
Als Novum gilt dabei bis heute nicht nur die entwickelte Klassifikation sondern auch der anwendungsorientierte, kohlengeologische Rückschluss: Aus charakteristischen Kutikulen-Vergesellschaftungen leitete SCHNEIDER (1978, 1980) verschiedene ökologische Moorfaziesbereiche ab (Tab. 2 / Abb. 1) und identifizierte deren typische Abfolge, ihren Einfluss auf die petrographische Beschaffenheit der Kohlen sowie deren Rohstoffeignung inkl. des veredlungstechnologischen Verhaltens. Das von ihm entwickelte Schema zur Faziesentwicklung repräsentiert somit nicht nur fundamentale Grundlagenarbeit, die auch heute breite Anwendung findet (z. B. bei der Korrelation von Flözen und Flözbänken; bei der Identifikation von Zwischenmitteläquivalenten im ungespaltenen Flözkörper; bei der

Abgrenzung von Kessel- und Brikettierkohlen, ferner als Grundlage für geochemische Verständnismodelle; etc.), sondern stellt zugleich die Basis für alle anderen Methoden der kohlengeologischen Moorfazieseinschätzung dar. Diese fundamentale Bedeutung für die Praxis wurde schnell erkannt, sodass die Methode bereits in den 1970er Jahren Anwendung in der US-amerikanischen Erdölerkundung fand (ROSELT 1988) und sich seither als Routinemethode der Braunkohlenerkundung bzw. als wissenschaftliche Methode kohlengeologischer Spezialuntersuchungen etablierte. Ihr Einsatzspektrum ist dabei lediglich durch den Kutikulengehalt und ihren Erhaltungszustand im Sediment begrenzt. Enthalten Kohlen aufgrund stärkerer primärer Aufarbeitung nicht ausreichend moorfaziell auswertbare Kutikulenfragmente, wie z. B. die eozänen Grundmassekohlen Mitteldeutschlands, sind andere Methoden der Moorfazies-Analyse anwendbar.

**Tab. 2:** Faziesbestimmung nach den Anteilen der Kutikulen und Gewebe im Mazerationspräparat (aus SCHNEIDER 1979).

Moorfaziesbereiche nach SCHNEIDER (1978)		Anteile von Geweben und Kutikulen
M	<i>Marcoduria</i> -Fazies	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Marcoduria</i>-Fragmente &gt; 50 %</li> <li>• Cuticulae dispersae von <i>Sciadopitys</i> sp.</li> </ul>
P	<i>Pinus</i> -Myricaceae-Fazies	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Pinus</i>-Korkgewebe &gt; 30 %</li> <li>• <i>Pinic蒂斯 hexacytica</i> SCH. (<i>Pinus</i>) &gt; 5 % Cuticulae dispersae von <i>Peltic蒂斯 parvirima</i> SCH. (= Kutikula von <i>Myrica crenata</i>) und <i>Peltic蒂斯 amplirima</i> SCH. (Myricaceae)</li> <li>• absolute Häufigkeit von Kutikulen und Geweben</li> </ul>
G	Glumifloren-Fazies	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incellareatae &gt; 20 %</li> <li>• Nachweis der faziestypischen Arten, wie z. B. <i>Alternic蒂斯 gibba</i> SCH. (Glumiflora)</li> </ul>
A	Angiospermen-Bruchwald-Fazies	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cellareatae &gt; Enormic蒂斯</li> <li>• Cuticulae dispersae von <i>Cunninghamia</i> und von <i>Quercus lusatica</i> JÄHN, absolute Armut an Geweben und Kutikulen</li> </ul>
K	Koniferen-Bruchwald-Fazies	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enormic蒂斯 &gt; Cellareatae</li> <li>• Cuticulae dispersae von Enormic蒂斯 div. fsp. (Taxodiaceae, z. B. <i>Taxodium</i>, <i>Glyptostrobus</i>)</li> </ul>
F	<i>Alnus-Liquidambar</i> -Farn-Fazies	<ul style="list-style-type: none"> <li>• entsprechend K und A,</li> <li>• Kriterium ist der Nachweis faziestypischer Arten, wie <i>Alnus</i> und <i>Acer</i></li> </ul>

Die heutigen Zentren kutikularanalytischer Arbeiten zum ostdeutschen Tertiär spiegeln dabei noch immer die historisch bewährte Teilung zwischen Kohlen- und Sedimentforschung wider. So findet der kutikularanalytische Ansatz von W. Schneider nach wie vor Berücksichtigung bei der Moorfazies-Diagnose der gewebereichereren, miozänen Lausitzer Braunkohlen durch die Laboratories for Applied Organic Petrology (LAOP) in Lautau (vgl. z. B. PFEIFFER et al. 2018). In der Sektion für Paläobotanik an den Senckenberg Naturhistorischen Sammlungen Dresden (Arbeitsgruppe um Herrn Dr. L. Kunzmann) hingegen kommt zur wissenschaftlichen Vegetationsanalyse durch die geologische Zeit sowie zur daraus hervorgehenden Rekonstruktion von Paläoumwelt und -klima noch immer die Kutikularanalyse im Sinne von K. A. Jurasky zur Untersuchung der meist besser erhaltenen makroskopischen Pflanzenreste aus den tertiären Kohlen-Begleitsedimenten zum Einsatz.



**Abb. 1:** Zusammenhang zwischen Fazies-Sukzession, Makro- und Mikropetrographie sowie Mikropaläobotanik neogener Weichbraunkohlenflöze (zusammengestellt nach SCHNEIDER 1978, 1992; RASCHER 1982, 2002; verändert nach RASCHER 2009).

## 2.1.2 Palynologie

Während sich die Kutikularanalyse vorrangig mit den Blatthäuten befasst, konzentriert sich die Palynologie („Pollenanalyse“; griech. *palynēin* „ausstreuen“ und *pale* „Staub“) im Wesentlichen auf die Untersuchung von Sporen und Pollen der Landpflanzen (Pteridophyten / Gymnospermen / Angiospermen). Deren äußere Wandung (Exine) besteht aus dem ebenfalls hochresistenten Biopolymer Sporopollenin, wodurch auch sie geologisch sehr gut erhaltungsfähig sind. Aufgrund ihrer biodiversen Abstammung zeigen sie (analog zu den Kutikulen) eine große Strukturevielfalt und sind häufig in Kohlen zu finden. Allerdings besitzen sie eine höhere biologische Dispersion (äolische oder auch fluviatile Verfrachtung über hunderte Kilometer). So ist gegenüber der Kutikularanalyse palynologisch zwar eine größere Artenzahl je Flächeneinheit erfassbar, allerdings repräsentiert die abgeleitete Florengemeinschaft oft nicht die autochthone Phytozönose. Vielmehr spiegelt sie einen floristischen Querschnitt der den Fundort ehemals umgebenden Pflanzengesellschaften wider. Somit gibt die Pollenanalyse wesentliche Aussagen zur Ausbreitung, Dominanz und Abwanderung der Arten und fundamentale Rückschlüsse zu pflanzengeographischen und paläoklimatischen Entwicklungen. Eine klare Differenzierung der verschiedenen Moorfaziesbereiche hingegen ist aufgrund der Standortuntreue des untersuchten Fossilmaterials nicht immer möglich, auch wenn eine grundsätzliche Parallelisierbarkeit von Kutikular- und Pollenanalyse gegeben ist (SONTAG & SCHNEIDER 1982).

Die paläobotanischen Grundlagen der Pollenanalyse schufen POTONIÉ (1931, 1934), KIRCHHEIMER (1933), THIERGART (1938, 1940) und TEICHMÜLLER (1958). Mit den 1950er Jahren wurde die Methode schließlich für den anwendungsorientierten Einsatz in der Erkundung und Rohstoffforschung von Braunkohlenlagerstätten maßgeblich weiterentwickelt (THOMSON 1950; THOMSON & PFLUG 1953; PFLUG 1952, 1957; HUNGER 1953; VON DER BRELIE 1956, 1968; VON DER BRELIE & REIN 1956; KRUTZSCH 1959; SONTAG 1963, 1966; VON DER BRELIE & WOLF 1981). Hervorzuheben ist dabei das auf SONTAG (1965) zurückgehende Verhältnis von Angiospermen- zu Koniferensporomorphem, angedacht als Eichmethode für die Erkundungspraxis (RAMMLER et al. 1964, 1967; SONTAG 1965; SONTAG & SÜSS 1969).

Auch wenn sich dieser Ansatz als isolierte Einzelmethode aufgrund der oben beschriebenen Probleme einer großflächigen Dispersion nicht durchsetzte (SCHMITZ & BÖNISCH 1988), gilt das Angiospermen-Koniferen-Verhältnis doch weiterhin als relevante Kenngröße (Abb. 1).

Fundamentale Bedeutung hat die Pollenanalyse jedoch bei der klimastratigraphischen Gliederung der vorwiegend kontinental bis paralisch geprägten Moorlandschaften und den sie begleitenden flachmarinen Ablagerungsräumen während des Tertiärs (KRUTZSCH 1969, LOTSCH et al. 1969, MAI 1969). So werden auf Basis detaillierter Untersuchungen von Palynomorphen tertiäre Schichten in sog. Sporomorphenzonen eingestuft. Hierbei hat sich methodisch die sporenstratigraphische Analyse i. S. von W. Krutzsch (KRUTZSCH et al. 1992, KRUTZSCH 2000, 2011) für das ostdeutsche Tertiär bewährt. KRUTZSCH et al. (1992) bzw. KRUTZSCH (2000) definieren 20 Sporomorphenzonen für das Paläogen sowie 16 für das Neogen. Diese ökologische Klimastratigraphie nutzt das klimatisch bedingte Einsetzen und/oder Verschwinden bestimmter Florengesellschaften und Leitformen (Marker) als Basis einer stratigraphischen Einstufung. Der Vorteil der Methode ist, dass sie auf Sedimente aus terrestrischen, marinen und ästuarinen Ablagerungsräumen anwendbar ist. Die stratigraphisch-zeitliche Auflösung kann deutlich unter 1 Mio. Jahren liegen, teilweise im Bereich von mehreren 100.000 Jahren.

Vor allem die Kombination von Kutikular- und Pollenanalyse vermittelt einen vertieften Einblick in die paläoökologischen und klimatischen Bedingungen der einstigen Torfbildung und den Einfluss dieser Parameter auf die petrographisch-organochemische Beschaffenheit der resultierenden Kaustobiolithe. Durch Nutzung der Sporomorphen als klimaanzeigende Fossilreste und die Interpretation der Kutikulen als moorfazieskritische Kohlenbestandteile lässt sich dieses Genesebild detailliert nachzeichnen (SONTAG & SCHNEIDER 1982). Heute findet die Pollenanalyse noch immer Anwendung in der biostratigraphischen Korrelation (z. B. STANDKE et al. 2010, ESCHER et al. 2016, GERSCHEL et al. 2017 und Zitate darin) sowie zur Klärung kohlengeologischer Spezialfragen (z. B. der Flözanomalie Nochten, vgl. PFEIFFER et al. 2018).

### 2.1.3 Xylotomische Untersuchungen

Der Methodenkomplex der mikropaläobotanischen Untersuchungen an Braunkohlen wird durch die xylotomischen (holzanatomischen) Untersuchungen an Xyliten (fossilem Holz) komplettiert. Dabei werden fossile Hölzer durchlichtmikroskopisch anhand der Zell- und Gewebestrukturen botanisch bestimmt. So sind erweiterte Aussagen bezüglich Zusammensetzung, taxonomischer Stellung und ökologischer Toleranz des verholzten Pflanzenbestandes im substratliefernden Paläomoor abzuleiten. Durch die stärkere Humifizierung alttertiärer Hölzer sind die holzanatomischen Bestimmungsmerkmale jedoch oft nur schlecht oder gar nicht mehr erkennbar. Dementsprechend können solche Proben nicht immer bis zur Gattung oder gar Art identifiziert werden.

Nach VULPIUS (2015) gelten insbesondere mit kutikularanalytischen Faziesuntersuchungen untermauerte Ergebnisse (z. B. DOLEZYCH & VAN DER BURGH 2004; DOLEZYCH & SCHNEIDER 2006, 2007) als aussichtsreiche Arbeiten für eine verbesserte makropetrographische Faziesansprache.

## 2.2 Makropaläobotanik

Da in den Kohlen nur selten ausreichend gut erhaltene Blätter oder karpologische Reste (Samen / Früchte) erhalten sind, kommen makropaläobotanische Untersuchungen in Braunkohlen nur selten zum Einsatz. Die wenigen Funde stammen zudem nur aus einzelnen Straten, sodass keine kontinuierlichen Profile mit moorfaziellen oder klimatischen Aussagen abzuleiten sind. Allerdings stellen auch Einzelfunde wichtige Orientierungspunkte der angewandten Geologie und Lagerstättenerkundung dar, bieten sie doch die Möglichkeit, die paläoökologischen Aussagen anderer Methoden zu validieren und ggf. zu verfeinern sowie zusätzliche phytostratigraphische Einstufungen vorzunehmen (MAI 1964, 1995, 2000; MAI & WALTER 1991; CZAJA 2003; KUNZMANN & WALTHER 2012; KUNZMANN et al. 2018).

## 3 Petrographische Methoden der Moorfaziesanalyse

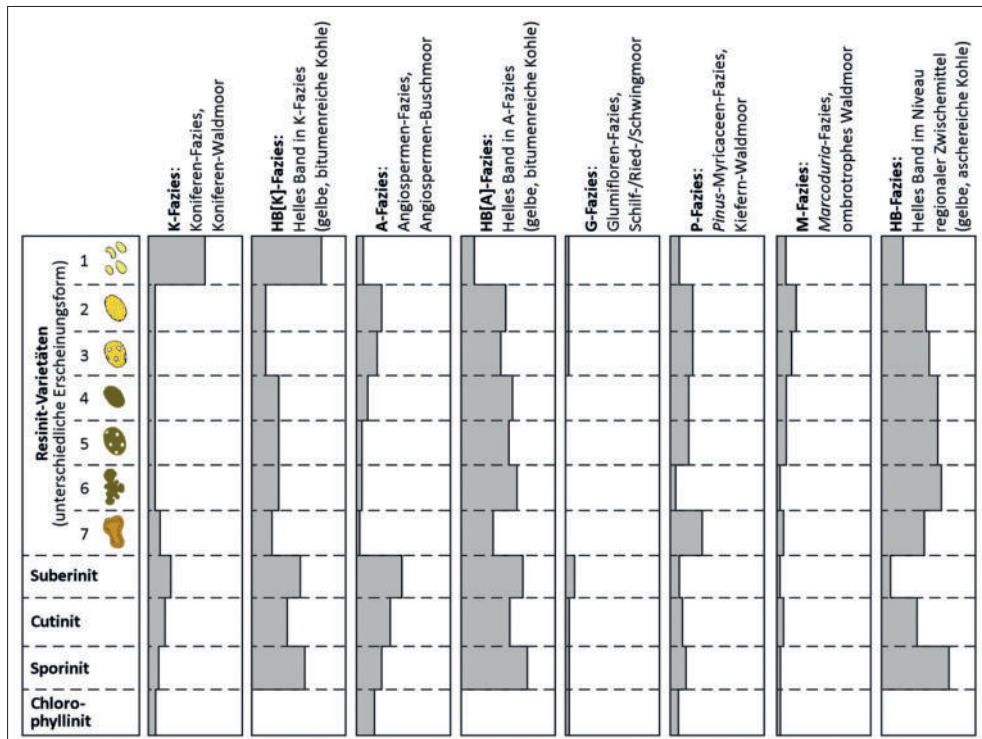
### 3.1 Mikropetrographische Methoden

#### 3.1.1 Liptinit-Fazies-Analyse

Das von W. SCHNEIDER (1978) erarbeitete Schema zur Faziesentwicklung jungtertiärer Paläomoore demonstriert den Einfluss der Ablagerungsbedingungen auf die resultierende Torf- bzw. Braunkohlenpetrographie. In Kenntnis dieser Grundlagen ist demnach auch der Rückschluss von petrographischen Charakteristika auf die sie hervorbringende Moorfazies möglich. Im mikroskopischen Bereich ist dabei die von N. VOLKMANN (1983) an kutikularanalytisch definierten Moorfaziesproben des 2. Miozänen Flözkomplexes der Niederlausitz entwickelte Liptinit-Fazies-Analyse von besonderer Bedeutung. Diese fluoreszenzmikroskopische Methode beruht auf der Quantifizierung der in allen Flözen ausreichend vorhandenen Liptinit-Macerale (bituminöse Kleinstbestandteile der Kohle). Durch die Charakterisierung ihrer speziellen Erscheinungsformen sowie relativen Verteilung sind vergleichbare „Maceralparagenesen“ in den Weichbraunkohlen zu erkennen, die als direkte Moorfaziesanzeiger gelten (Abb. 2). Auf diesem Wege ermöglicht die Liptinit-Fazies-Analyse die Bearbeitung der mittels Kutikularanalyse mangels ausreichend großer Reste nur schwer moorfaziell zu untersuchenden hochdestruierten Eozän-/Paläozänkohlen Mitteldeutschlands. Praktische Anwendung findet diese petrographisch orientierte Herangehensweise beim Fachbereich für Organische Petrologie & Geochemie am Institut für Geologie der TU Bergakademie Freiberg.

Grundgedanke dieser Methodik bildet die These, dass die Vielfalt fluoreszenzmikroskopisch aushaltbarer Liptinit-Erscheinungsformen nicht ausschließlich pflanzenphysiologisch geprägt, sondern darüber hinaus Ergebnis biochemischer Diageneseprozesse ist. Torfliefernde Phytozönose und Intensität des Biomasseabbaus wirken dabei nicht zufällig, sondern als eine eng verbundene Einheit. Die gute Erhaltungsfähigkeit der meisten Liptinite stellt die naturgegebene Grundlage für die Durchführbarkeit des Verfahrens dar. Ihre vielfältigen Erscheinungsformen hinsichtlich Form, Größe und Skulpturierung der Einzelmacerale ist dabei abhängig von Destruktion, partieller Veränderung des Polymerisationsgrades und Humifikation (VOLKMANN 1994). So zeigen die Mikrokomponenten Fluoreszenzemissionen verschiedenster Modifikation, die sowohl primär (rein stofflich) als auch sekundär (durch ablagerungsbedingte Einflüsse) entstanden sind (Abb. 2 / Tab. 3). Für letzteres sind





**Abb. 2:** Verteilungstendenzen figuriert Weichbraunkohlen-Liptinite in definierten Moorfaziesbereichen (nach VOLKMANN 1990). Dargestellte Resinit-Varietäten: 1 ... Leuchtend gelb fluoreszierende Resinite; 2 ... Goldgelb fluoreszierende Resinite; 3 ... Goldgelb fluoreszierende Resinite mit Blasenräumen; 4 ... (Dunkel)ocker fluoreszierende Resinite; 5 ... Analog 4, mit internen Blasenräumen; 6 ... Analog 4 bei ausgeprägter randlicher Korrosion; 7 ... Resinite verschiedener Fluoreszenz und innerer Struktur, teilweise korrodiert, stets mit dunkel fluoreszierendem randlichen Polymerisationssaum.

insbesondere stoffverändernde Prozesse in oberflächennahen Bereichen des Paläomoors, wie Sonneneinstrahlung, Sauerstoffverfügbarkeit und die damit verknüpfte aerobe Mikroorganismenaktivität, relevant. Die daraus resultierenden peripheren oder vollständigen Veränderungen durch Polymerisation / Depolymerisation oder Polykondensation zeigen sich im mikroskopischen Bild anhand des Zonarbaus oder diverser interner Texturelemente. Insbesondere der Resinit (foss. Pflanzenharz) neigt im sauren Milieu des Moores unter UV-Strahlung und aeroben Bedingungen zu Veränderungen seines primär pflanzenphysiologisch geprägten Polymerisations- bzw. Polykondensationsgrades. Periphere Korrosionserscheinungen können darüber hinaus auf die Anwesenheit und Aktivität von Mikroorganismen zurückgeführt werden (ebenfalls häufig an Resiniten zu beobachten). Die meist nur akzessorisch auftretenden Macerale Chlorophyllinit (foss. Pflanzenfarbstoffe) und Alginit (foss. Algenkörper und -kolonien) besitzen ebenfalls eine hohe genetische Aussagekraft. Analog zur Palynologie, ist die moorfazielle Aussage des Sporinits (foss. Sporen / Pollen) hingegen mit Ungenauigkeiten behaftet, da dieses Maceral als Durchläufer in allen Moorfaziesbereichen auftritt und vom Standort der biomasseproduzierenden Vegetation äolisch zum Teil mehrere hundert Kilometer weit transportiert wird und somit nur bedingt einen Rückschluss zum Paläomoor, dem eigentlichen Ablagerungsort, zulässt.

Zahlreiche Testreihen an unterschiedlichen Flözen des Tertiärs bestätigen die trotz der Variation von torfliefernden Pflanzengesellschaften vorhandene, weitgehende Substanzanalogie äquivalenter Phytobitumina. Dieser Sachverhalt bildet die entscheidende Voraussetzung für die Übertragbarkeit der Methodik unabhängig vom Humifikations- und Destruktionsgrad tertiärer Weichbraunkohlenflöze und gestattet den universellen Einsatz zur modellhaften Rekonstruktion der Paläomoorentwicklung (VOLKMANN 1990, RASCHER et al. 2013).

**Tab. 3:** Vorkommen und Erscheinungsbild der verschiedenen Resinit-Varietäten in den ausgehaltenen Moorfaziesbereichen (nach VOLKMANN 1983).

Moorfaziesbereiche nach SCHNEIDER (1978)		Resinit-Varietäten		
		Vorkommen	Farbe	Fluoreszenz
HB	„Helles Band“	Arm an Resinit; nur kleine Körper treten etwas stärker hervor	Gelbbraun mit dunklem Rand	Hochpolymerer dunkler Rand (Zonarbau)
M	<i>Marcoduria</i> -Fazies	Große Körper selten; gerundete Bruchstücke; Nadeln mit Harzkanälen selten	Gelbbraun und goldgelb	Hellocker (teilweise mit Blasenräumen); hellgelb
P	<i>Pinus</i> - <i>Myricaceae</i> -Fazies	Gering; selten angereichert	Gelb bis rötlichgelb; gelbe „Harzkanäle“ von <i>Pinaceae</i> -Nadeln	Hellgelb bis hellocker
G	Glumifloren-Fazies	Makroskopisch retinitfrei		
HB(A)	Helles Band in A-Fazies	Kleine Körper; abgerollt oder zerbrochen angereichert; große Resinite selten	Schmutzig-gelbbraun; Harzkanäle gelb	Hell- bis dunkelockerfarben (oft interne Blasenräume); teilweise randliche Rinden-Zonarstruktur
A	Angiospermen-Bruchwald-Fazies	Gering, selten angereichert; vereinzelt Harzkanäle in Koniferennadeln	Schmutzig-gelbbraun; Harzkanäle gelb	Hell- bis dunkelockerfarben (oft interne Blasenräume)
HB(K)	Helles Band in K-Fazies	Kleine Körper; abgerollt oder zerbrochen angereichert; große Resinite selten	Hellgelb bis grün; goldgelb	Leuchtend hellgelb bis goldgelb; teilweise randliche Rinden-Zonarstruktur
K	Koniferen-Bruchwald-Fazies	Gering bis mäßig; oft schichtförmig angereichert; häufig Harzkanäle	Hellgelb bis grün; goldgelb	Leuchtend hellgelb bis goldgelb

### 3.1.2 Analyse humoser Gewebe

Während sich die Liptinit-Fazies-Analyse eingehender mit den bituminösen Mikrokomponenten der Braunkohlen befasst, steht bei der „Quantitativen Mikropetrographischen Analyse mit histologischer Bewertung des Textites“ (QMAT) die Untersuchung humoser Gewebe im Fokus (Abb. 1). Grundlegend basiert diese Methode auf der von SONTAG et al. (1965) entwickelten „Quantitativen Mikropetrographischen Analyse“ (QMA), welche zunächst als reine Mikrolithotypenanalyse ausgelegt war. W. SCHNEIDER (1980, 1984) erweiterte diese um die Ansprache der textinitischen Komponenten (QMAT), wodurch die Methode weiter an Relevanz für die Rohstoffcharakterisierung gewann. Ähnlich der xylotomischen Analyse sind die von der QMAT abgeleiteten Aussagen allein zwar nicht immer moorfaziell aussagekräftig, ergänzen aber das Bild anderer Methoden um zusätzliche Informationen zur verholzten Phytozönose. Von Beginn an war die Methode jedoch routinemäßig zur rohstofflichen Gliederung der Braunkohlenflöze ausgelegt – ein Einsatzgebiet, das bis heute kontinuierlich Anwendung findet (NIEMZ & HENNE 2018).

### 3.2 Makropetrographische Faziesdiagnose

Die makropetrographische Faziesdiagnose als direkte Feldmethode geht ebenfalls auf die Ergebnisse Wilfrid Schneiders zurück. Umfangreiche Geländearbeiten in den späten 1970er bis in die 1980er Jahre (u. a. SEIFERT 1979, RASCHER 1982, BÖNISCH 1983) erarbeiteten die methodischen Grundlagen und wiesen deren Durchführbarkeit am Bohrkern bzw. am Tagebaustoß nach. Seither gilt die makroskopische Faziesdiagnose als Routinemethode für die miozänen Kohlen der Lausitz und wurde auch erfolgreich auf die altersgleichen Kohlen am Niederrhein sowie die paläogenen Flöze Mitteldeutschlands übertragen.

Diese Form der Moorfazies-Rekonstruktion nutzt dabei Gehalt und Zusammensetzung der makroskopisch erkennbaren pflanzlichen Gewebereste (Rinden, Koniferennadeln, Laubblätter, Holz- und Wurzelgewebe, Gräserreste, Samen / Früchte / Zapfen und Stengel) als Hauptmerkmale zur Rekonstruktion der Umweltbedingungen während des Torfstadiums im tertiären Moor (Abb. 3 / 4). Darüber hinaus gelten Schichtungsgrad, Grundmassenvergelung (Tab. 4), Kohlenfarbe und mineralische Einlagerungen als weitere relevante Kriterien (SEIFERT et al. 1978; SEIFERT & RASCHER 1979 a/b; RASCHER & SEIFERT 1980; RASCHER 1982; Bönisch 1983, 1984, 2010).

Besondere Bedeutung ist dieser Methodik beizumessen, dass sie mit relativ geringem Kartierungsaufwand und ohne umfangreiche Laboruntersuchungen erste Moorfaziesindikationen ermöglicht. So belegt BÖNISCH (1984), dass bereits ein einzelnes makroskopisch sicher bestimmbares, für einen Moorfaziestyp charakteristisches Blattfossil durch die Komplexansprache mit anderen Merkmalen wie Xylit- oder Gelführung, Textur, Struktur und Farbe eine sichere moorfazielle Einordnung der jeweiligen Kohlenstrate zulässt. Dieser makropetrographische Befund korreliert dabei auch mit dem kutikularanalytischen Nachweis (SCHMITZ & BÖNISCH 1988). So lassen sich vertikale und horizontale Moorfazieswechsel durch Detailkartierungen und deren höhere Auflösung deutlich besser nachvollziehen, als mit den räumlich weiter verteilten paläobotanischen Laborbefunden. In Kenntnis der flöz- bzw. tagebauspezifisch typischen Faziesabfolgen erleichtert dies die Orientierung innerhalb des Flözkomplexes sowie das Erkennen anomaler Lagerungsverhältnisse. Somit trägt die makroskopische Faziesdiagnose wesentlich zur Flözmodellierung, sortengerechten Charakterisierung und selektiven Gewinnung sowie zu einem effektivem Rohstoffeinsatz bei – Aufgabenstellungen, in denen diese Methode bis heute breiten Einsatz findet (PFEIFFER et al. 2018).

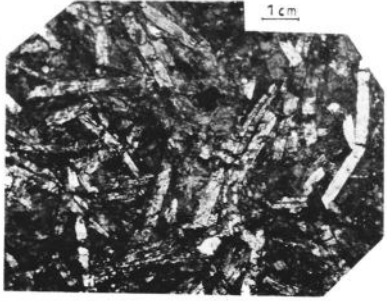
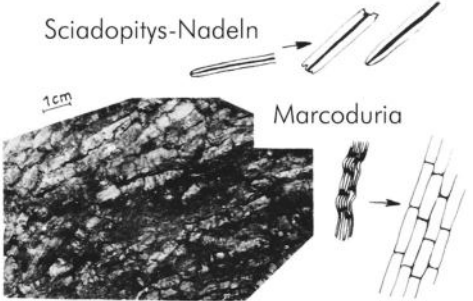
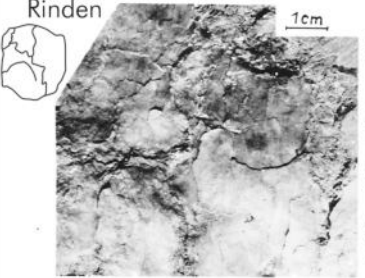
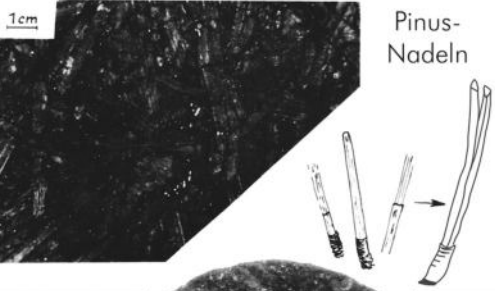

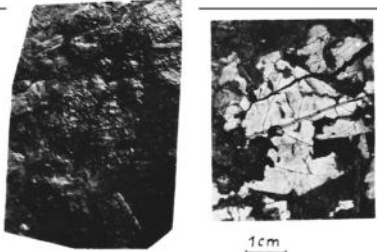
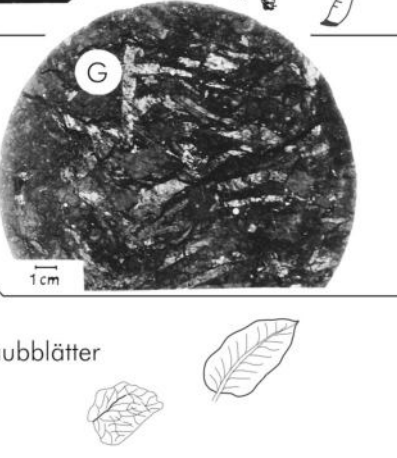
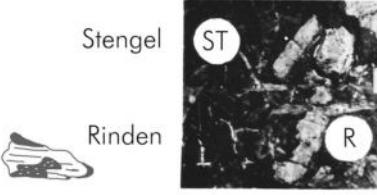
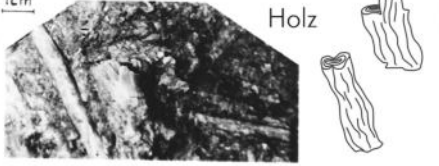
Fazies	Wichtige Gewebearten	
Marcoduria-Fazies		 <p>Sciadopitys-Nadeln</p> <p>Marcoduria</p>
Pinus-Fazies	 <p>Rinden</p>	 <p>Pinus-Nadeln</p>
Glumifloren-Fazies	 <p>Glumifloren sowie Gewebe anderer krautiger Monokotyledonen</p>	
Angiospermen-Fazies		 <p>Laubblätter</p>
Koniferen-Fazies	 <p>Stengel (ST)</p> <p>Rinden (R)</p>	 <p>Holz</p>

Abb. 3: Generalisierte Übersicht zu Moorfaziesbereichen und ihre typischen makroskopischen Gewebearten (aus RASCHER & SEIFERT 1980).

**Tab. 4:** Typische makropetrographische Ausbildung der Braunkohlen unterschiedlicher Moorfaziesbereiche (erweitert nach SCHNEIDER 1979).

Moorfazies nach SCHNEIDER (1978)		Braunkohlen-Lithotyp				
		Farbe	Schichtung	Vergelung	Xylitführung	Gewebe
HB	„Helles Band“	gelbbraun bis gelb	ungeschichtet	unvergelt	xylitarm bis -frei	gewebefrei, grundmassenbetont; teils erhöhter Mineralstoffanteil
M	<i>Marcoduria</i> -Fazies	hellbraun bis gelb	(schwach) flaserig geschichtet	unvergelt	xylitisch (Stubben)	<i>Marcoduria</i> -Wurzelgewebe, <i>Sciadopitys</i> -Nadeln (teils als Teppiche)
P	<i>Pinus</i> - <i>Myricaceae</i> -Fazies	dunkelbraun	schwach bis geschichtet	vergelt	xylitisch ( <i>Pinus</i> -Stämme)	gewebereich: <i>Pinus</i> -Nadeln, korkhaltige Rinden, Zapfen, Wurzeln, Samen, Laubblattfragmente, Retinit
G	Glumifloren-Fazies	schwarz	(stark) geschichtet	(stark) vergelt	xylitfrei	gewebereich: Glumifloren sowie Gewebe anderer krautiger Monokotyledonen
A	Angiospermen-Bruchwald-Fazies	hell- bis gelbbraun	schwach bis ungeschichtet	schwach bis unvergelt	xylitarm bis -frei	Laubblätter, Cupulae
K	Koniferen-Bruchwald-Fazies	braun	schwach bis ungeschichtet	schwach bis unvergelt	xylitreich (Aststücke, Stammlagen, Stubben)	gewebearm: Holzgewebe, Stengel und Rinden
F	<i>Alnus</i> - <i>Liquidambar</i> -Farn-Fazies	dunkel bis braungrau	schwach bis ungeschichtet	vergelt	teils xylitisch	gewebearm; hoher Mineralstoffanteil

Da die makropetrographische Diagnose auf paläobotanischen Grundlagen fußt, sollte sie jedoch nicht losgelöst von anderen moorfaziellen Untersuchungen sondern als ergänzendes Hilfsmittel betrachtet werden: Insbesondere, da sie die einzige Möglichkeit einer moorfaziesorientierten Probenahme für detailliertere mikropaläobotanische Analysen darstellt und somit die Palette der vielseitigen Fazies-Untersuchungsmethoden komplettiert.

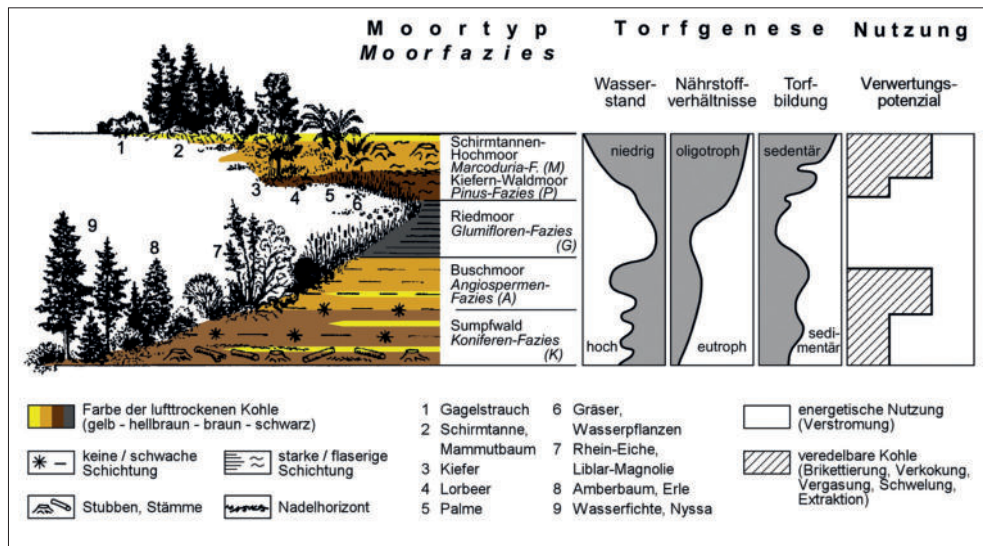
#### 4 Vorstellungen zur Faziesentwicklung im tertiären Moor

Das im Folgenden beschriebene Schema der Moorfaziesentwicklung im Braunkohlenmoor basiert im Wesentlichen auf den paläobotanischen Ergebnissen W. Schneider's und dessen wissenschaftlichen Vorgängern. 1978 stellte er die rhythmische Faziesabfolge F-K-A-G-P-M

für miozäne Flöze erstmals vor und belegte den Wert dieser paläobotanischen Aussagen für die Erkundungspraxis (Abb. 4). Heute ist diese durch zahlreiche Detailarbeiten belegt. Festzustellen bleibt aber auch, dass Kohlenbildung – entgegen der sequenzstratigraphischen Lehrmeinung – sowohl in trans- als auch regressiven Phasen stattfinden kann (STANDKE et al. 1992, 2002), wenn nur die Meeresspiegeländerungen und/oder Subsidenz des Flözbildungsraumes entsprechend langsam und konform mit dem phytogenen Mooraufwuchs verlaufen (RASCHER 2015). GÖTHEL & SCHNEIDER (2004) ordnen die vollständig entwickelten moorfaziellen Sukzessionen in den Braunkohlenflözen der transgressiven und die unvollständigen der regressiven Entwicklung zu. Mit SCHNEIDER (1986) wurde die Koniferen-Sukzession nochmals erweitert.

Bei einer idealisierten Moorfaziesabfolge besteht das unmittelbare Liegendesediment der meisten Kohlenflöze aus bindigem (d. h. tonig-schluffigem) Material. Dieses indiziert die abnehmende Dynamik des Sedimentationsraumes von Begleitsedimente schüttenden Verhältnissen (z. B. Flusslauf / Strand) hin zu einem ruhigeren, geringer energetischen Environment (z. B. Stillwasserbereiche, Altwasserarme, flache Lagunen).

Darüber folgen z. T. die Relikte eines Bewuchses aus sommergrünen Bäumen, wie Erlen (*Alnus*), Ahorn (*Acer*), Amberbaum (*Liquidambar*), Weiden (*Salix*), Magnolien (*Magnolia kristinae*) und Lorbeergewächsen (*Daphnogene*), sowie einer an Farnen reichen Krautschicht (SCHNEIDER 1980). Dieser Vegetationstyp bildet den eher kurzweiligen Übergang von einem aquatischen (terrestrischen oder marinen) Ökosystem hin zu einem festländischen (paralisch oder limnischen) Vermoorungsgebiet. In diesem frühen Stadium kommt es noch nicht zur ausgeprägten Torfbildung, sodass die Ablagerungen dieser sogenannten **Alnus-Liquidambar-Farn-Fazies (F)** – sofern überhaupt ausgebildet – meist sehr geringmächtig und stark mit mineralischen Beimengungen durchsetzt sind (BÖNISCH 2010). Moorfaziell verbirgt sich hinter diesen Einheiten die Auwaldvegetation eines Flusslaufes mit eutrophen Bedingungen (sog. „Verschluffungszone“).



**Abb. 4:** Zusammenhang zwischen Fazies-Sukzession, Torf-/Kohlengense und Verwertungspotenzial tertiärer Weichbraunkohlenflöze (zusammengestellt nach SCHNEIDER 1978, 1992; RASCHER 1982, 2002; verändert nach RASCHER 2009).

Die ersten Produkte der im Folgenden einsetzenden Vermoorungsphase sind somit in den flözbasalen Kohlen der **Koniferen-Bruchwald-Fazies (K)** zu sehen. Diese bildeten sich aus Torfen, die in einem von Wasserfichten (*Glyptostrobus*) dominierten Sumpfwald [u. a. aus Ahorn, Amberbaum, Erle, Tupelobaum (*Nyssa*), Magnolien- / Lorbeergewächse und Dünenkiefer] zur Ablagerung gelangten (Abb. 5). Durch ihre unmittelbare Nähe zum Begleitsediment sind auch in diesen Kohlen häufig hohe Anteile mineralischer Komponenten nachweisbar. Der hohe Wasserstand in diesen Moortypen führt dabei einerseits zum direkten Luftabschluss organischen Materials nach seiner Ablagerung, sodass oxidative Prozesse kaum die Torfsubstanz verändern können. Gleichzeitig wirken die Wasserbewegungen jedoch destruktiv auf die akkumulierten Gewebereste. Makroskopisch sind die entstehenden Kohlentypen darum zumeist ungeschichtet und arm an eingelagerten organischen Geweben (BÖNISCH 2010). Charakteristisch ist jedoch eine starke Xylitführung (fossile Hölzer), das Auftreten von Aststücken, Stammlagen und Stubben, welche von den nachfolgenden Kohlenstraten überlagert werden (SCHNEIDER 1978, 1992).

Als Zeugnis der eutrophen (nährstoffreichen) Umweltbedingungen und der daraus resultierend heterogen aufgebauten substanzliefernden Phytozönose, enthalten diese Kohlen mikroskopisch Suberinit, Cutinit, Sporinit, Chlorophyllinit und Resinit. Letztere treten einzeln oder gehäuft auf und sind isoliert in der Grundmasse oder in originärer Erhaltungsform in verkientem Gewebe eingelagert. Ihre meist hell- bis goldgelbe Fluoreszenzfarbe und das zugleich stark negative Alterationsverhalten werden von VOLKMANN (1983) als Anzeichen für eine genetische Abstammung von Koniferen gedeutet. Parallel dazu fehlen dunkellumineszierende und korrodierte Resinite hingegen fast gänzlich. Anhand dessen ist der durch den hohen Wasserstand nahezu direkte und vollständige Luftabschluss der organischen Substanz nach ihrer Sedimentation ohne die Möglichkeit aerob verlaufender Veränderungsprozesse erkennbar.

Durch sukzessives Aufwachsen des Torflagers nimmt der Flurabstand lokal zu, d. h. es kommt zu einem relativen Absinken des Grundwasserspiegels. Hier geht der Sumpfwald (K-Fazies) allmählich über in Buschmoore: Inselstandorte von Koniferen (wie Spießtanne *Cunninghamia miocenica*, Mammutbaum *Sequoia abietina*, Dünenkiefer *Pinus* und Taiwanie cf. *Taiwania schaeferi*, werden nun eingefasst von breiten Säumen hartlaubiger Sträucher (z. B. Sternanisgewächs *Phyllites senftenbergensis*, Magnolien- / Lorbeergewächse Magnoliaceae / Lauraceae). Diese und weitere bedecktsamige Bäume (u. a. Amberbaum *Liquidambar*, Eichen *Quercus* sp. sowie Palmen; vgl. Abb. 5) verleihen dem Moorstadium die Bezeichnung **Angiospermen-Bruchwald-Fazies (A)** (SCHNEIDER 1978, 1992). Die wiederholte Austrocknung und Überflutung des Torfkörpers führt dabei zu einer starken mechanischen Aufarbeitung und erhöhten Oxidation des Torfes, woraus sich makropetrographisch ein geringfügig hellerer, schwach bis ungeschichteter Braunkohlenlithotyp bildet. In dessen stark destrukturierter Grundmasse finden sich nur vereinzelt die Fruchtbecher (Cupulae) von Eichen oder Magnolien. Das Auftreten von Linsen mit Laubblättern der einstigen Phytozönose ist noch seltener zu beobachten (BÖNISCH 2010). Begünstigt durch die prinzipiell schnellere Zersetzung von Angiospermen-Hölzern gegenüber den Koniferen-Hölzern, sind auch Hölzer kaum erhalten und die Kohlen somit weitestgehend xylitfrei.

Mikroskopisch bestehen die Kohlen der A-Fazies aus einer vorzugsweise attrinitischen Grundmasse mit breiten, deutlich kutikularleistenbesetzten, oft ausgedehnten Cutiniten, großflächigen Suberinitgeweben und zahlreichen an Phyllo-Textinit gebundenen Chlorophylliniten. Die Resinite fluoreszieren hellocker und treten meist in der blasenfreien Varietät auf. Hingegen sind überprägte Resinite mit sekundären Korrosions- und Polymerisationserscheinungen – analog zur K-Fazies – nur vereinzelt vorhanden oder fehlen völlig.



**Abb. 5:** Rekonstruktion der Moorlandschaft eines Sumpfwaldes der Koniferen (K)-Fazies, am linken Bildrand übergehend in den Peripheriewald der A-Fazies (aus TEICHMÜLLER 1991); einige der hier dargestellten Arten und Gattungen sind nach neusten paläobotanischen Erkenntnissen jedoch anderen Faziesbereichen zuzuordnen.

Bei einer gleichmäßig-ruhigen Absenkung bzw. einem mehr oder weniger kontinuierlichen eustatischen Meeresspiegelanstieg bilden sich in den ausgedehnten Verlandungszonen flacher Mooren klassische Riedmoore (Abb. 6). Diese als **Glumifloren-Fazies (G)** bezeichneten Moortypen bestehen aus zum Teil großflächigen Ufergürteln, in denen Süßgräser (Poaceae), Riedgräser (Cyperaceae), Binsen (Juncaceae), Rohrkolben (*Typha*), Gagelstrauchgewächse (Myricaceae), Palmen (Palmae) und Torfmoose (*Sphagnum*) dominieren (SCHNEIDER 1978). Aufgrund des gegenüber den anderen Moorfaziesbereichen höchsten Wasserstandes gelangen die zahlreichen Reste zumeist oberirdischer Pflanzenteile [Gräser (= Glumifloren), Blätter, Samen] direkt nach ihrem Absterben unter Luftabschluss und werden so vor der oxidativen Zersetzung geschützt. Durch die zeitgleich geringe hydrologische Dynamik (geringe Fließgeschwindigkeiten bis hin zu stehendem Gewässer) sind die Gewebereste – anders als bei der K-Fazies – sehr gut erhalten. Der so entstehende Torf wandelt sich diagenetisch zu einem schwarzen, gewebereichen und stark geschichteten makroskopischen Kohlenlithotyp. Stark durchtränkt mit Humusgelen, sind die Glumifloren-Reste noch eindeutig erkennbar (BÖNISCH 2010).

Mit SCHNEIDER (2012) liegt auch die Beschreibung ombrotropher Schwingmoore für diesen Faziestyp vor: Diese vom Ufer seawärts wachsenden Grasteppiche bilden einen allmählich tragfähigen Schwingrasen, der seinerseits Lebensraum für weitere Pflanzen bietet. Hierzu zählen Gräser (z. B. *Graminophyllum wagneri*), Torfmoose (*Sphagnum*) sowie kleine Sträucher von *Silicophyllum heerlenense*, *Cyrilla* und *Lusaticutis ovirima*. Durch das Trockenfallen der Mooroberfläche beim Herauswachsen des Moores über den mittleren Grundwasserspiegel kommt es durch die Ansiedlung von Gehölzen zur Ausbildung von typischen Bruchwaldtorfen.



Aus mikropetrographischer Sicht ist für diese Moorfazies eine levigelinitische (hochvergelte) und zumeist homogene Grundmasse, ebenso wie ein außergewöhnlich geringer Gehalt an Liptiniten charakteristisch, wodurch das fluoreszenzmikroskopische Bild insgesamt sehr dunkel erscheint. Die wenigen vorhandenen Resinite gelten als eingeschwemmt und die sporadisch vorhandenen Sporinite als aus den Peripheriewäldern eingewehte Palynomorphen. Nach SCHNEIDER (1978) bestehen diese vorzugsweise aus Weiden und Dünenkiefern. Darüber hinaus finden sich zarte, gelblich-grün fluoreszierende Cutinite, die häufig keinerlei Kutikularleisten besitzen, bei denen VOLKMANN (1983) zufolge, eine Herkunft von riedtorfbildenden Pflanzen (Glumifloren) zu vermuten ist.

STANDKE et al. (1992) sehen in dem durch die Pflanzensukzession belegten Gang der Grundwasserspiegelschwankungen in den Paläomooren einen Hinweis darauf, dass sich der zeitliche Wendepunkt von der trans- zur regressiven Entwicklung bereits innerhalb der Kohlenablagerungen durch die Ausbildung von Moorfazies mit hohen Grundwasserständen – in den miozänen Flözen speziell des Glumifloren-Riedes – andeutet (vgl. Wasserstandskurve in Abb. 4). Kohlenbildung kann demnach sowohl in trans- als auch regressiven Phasen stattfinden (STANDKE et al. 1993, 2002).

Im weiteren Verlauf der Moorentwicklung sinkt der Grundwasserflurabstand durch Aufwachsen des Torfkörpers bzw. regressive Trends ab, es stellen sich nährstoffärmere (oligothrophe) Verhältnisse ein und die Torfbildung wird zunehmend sedimentär (durch abiogene Prozesse) beeinflusst. Es bildet sich ein Mischwaldmoor aus Kiefern (*Pinus*), Fächerpalmen (*Sabal*), Gräsern (Glumifloren), Heidekrautgewächsen (*Ericaceae*), Gagelsträuchern (*Myrica crenata*), Lorbeer (*Laurophyllum macrostoma*) und Sichel-tannen (*Cryptomeria*) (Abb. 7). Aufgrund der von der Moorkiefer (*Pinus*) dominierten Phytozönose wird dieser Moortyp



**Abb. 6:** Rekonstruktion der Moorlandschaft eines Riedmoores der Glumifloren (G)-Fazies (aus TEICHMÜLLER 1991); einige der hier dargestellten Arten und Gattungen sind nach neusten paläobotanischen Erkenntnissen jedoch anderen Faziesbereichen zuzuordnen.

als **Pinus-Myricaceae-Fazies (P)** bezeichnet (SCHNEIDER 1992). Die sich daraus ableitende Kohle zeigt meist eine Vielfalt an eingelagerten Geweben und Organen (Kiefernadeln mit Harzkanälen, korkhaltige Rinden, Zapfen und Wurzeln) in vollkörperlicher, fragmentarischer oder retinitischer Erhaltung. Darüber hinaus finden sich Laubblattfragmente, Samen, kleine Kiefernstämme (teils mit erhaltenen Rindenresten) und zahlreiche gelbfarbene Retinit-Nester. Infolge seines Gewebereichtums ist dieser Kohlenlithotyp (schwach) geschichtet. Durch kleinräumige Schwankungen des Wasserspiegels ist die P-Fazies ökologisch teils eng mit der G-Fazies verzahnt, sodass in P-faziellen Flözbereichen auch Kohlen der G-Fazies als schwarze Bänder auftreten können (BÖNISCH 2010).

In der Fluoreszenzmikroskopie bleibt das durch einen hohen Anteil von hochkondensiertem und stark vergeltem humosen Detritus hervorgerufene, allgemein dunkle Erscheinungsbild der G-Fazies erhalten. Die Verteilung der Liptinitmacerals ist jedoch eher vergleichbar mit der A-Fazies. Der Suberinit-Gehalt tritt deutlich zurück und es ist eine leichte Tendenz zu höheren Polymerisationsstufen zu erkennen, welche auf stärkere Phasen des Luftzutritts hinweist. Es finden sich ockerfarbene Resinite, die meist eine inhomogene Strukturierung – wahrscheinlich pflanzenphysiologischen Ursprungs – aufweisen und originär wahrscheinlich als Palmenharze angesehen werden können. Sie treten sowohl in Geweberelikten als auch als klar erkennbare „Harzkanäle“ in den Phyllo-Textiniten auf (VOLKMANN 1983).

Die höchste Entwicklungsstufe eines Moores repräsentiert schließlich das Schirmtannen-Hochmoor. Aufgrund des großen Flurabstandes und dem damit verbundenen Versagen der Kapillarkräfte, steht das Grundwasser den Pflanzen kaum noch zur Verfügung. Ein solches Hochmoor speist sich darum durch Oberflächenwässer (i. W. Regenwasser) und kann sich nur bei ausgesprochen humiden (feuchten) Klimaverhältnissen etablieren. Einhergehend mit diesen hydrologischen Umstellungen sinkt der Nährstoffeintrag erheblich. Vor allem die Schirmtanne bildet nun ein dichtes Wurzelwerk (*Marcoduria*) zur Nährstoffversorgung aus, welches namensgebend für die **Marcoduria-Fazies (M)** steht. Insgesamt nimmt die Biodiversität der Vegetation infolge der oligotrophen Verhältnisse jedoch deutlich ab; die sich ausbildende Phytozönose besteht im Wesentlichen aus Schirmtanne (*Sciadopitys tertiaria*), Cathaya-Tanne (*Cathaya roselti*) und strauchigen Gewächsen (Thomsonblatt / Gagelstrauch; Abb. 7) (SCHNEIDER 1978). Diagenetisch entstehen hieraus jene oft flaserig geschichteten, schwer hackbaren Kohlen, die im hangenden Bereich von Kohlenflözen das Ende der ursprünglichen Moorsukzession anzeigen. Aufgrund des für Hochmoortorfe typischen hohen Säuregrades ist die eingelagerte pflanzliche Substanz wenig biologisch degradiert. Vor allem die prägnanten Wurzeln der Schirmtanne (*Marcoduria*) sind in allen M-faziellen Kohlen nachweisbar und gelten aufgrund ihres Glanzes und ihrer welligen Struktur als makroskopisch eindeutig identifizierbare Faziesmerkmale. Darüber hinaus finden sich Stubben-Horizonte, deren Stubben nach BÖNISCH (2010) durch geringe Durchmesser (nur wenige Zentimeter), geneigte Lagerung sowie das Übergreifen in den nächsthöheren Faziesbereich gekennzeichnet sind. Die Nadeln der Schirmtanne (*Sciadopitys*) finden sich einerseits verteilt in der Kohle, zum anderen aber auch als ausgeprägte Nadelteppiche kurz vor dem oberen Abschluss dieser Baumhochmoor-Entwicklung.

Aus mikropetrographischer Sicht sind die Kohlen der M-Fazies eher arm an Liptinitmacerals. Sie verfügen über einen vergleichsweise geringen Cutinit-Anteil, der nach VOLKMANN (1983) nahezu zweifelsfrei Nadelkutikulen zugeordnet werden kann. Suberinit tritt nur äußerst selten in Erscheinung. Ebenso ist Chlorophyllinit nur akzessorisch und stets an Cutinit oder Phyllo-Textinit gebunden zu verzeichnen. Das Vorherrschen hellocker fluoreszierender Resinite erinnert an die A-Fazies, wohingegen zonar polymere Resinite

mit inhomogener Fluoreszenz eher Parallelen zur P-Fazies erkennen lassen (VOLKMANN 1990). Als fazieskritisch gilt jedoch der überdurchschnittlich hohe Gehalt des von *Marcoduria inopinata* (WEYLAND 1957) abstammenden Textinit-Macerals. Dieses erscheint als schwach bräunlich fluoreszierendes Gewebe mit Zellengrößen zwischen 50 und 200 µm und geraden, teilweise wulstig verdickten Radialwänden. Insbesondere in der Querschnittslage sind die *Marcoduria*-Sklerenchymzellen (pflanzliches Festigungsgewebe) als charakteristische sägezahn-ähnliche Leisten oder gut erhaltene ovale Querschnitte charakteristisch ausgebildet.

Neben den bisher beschriebenen, sedentär zyklisch aufwachsenden Moorfaziesbereichen finden sich in den Kohlenflözen meist geringmächtige, besonders helle (gelbe) Kohlen. Makroskopisch sind diese nahezu gewebefrei und weisen einen ungeschichteten, massigen Habitus (Grundmassenkohlen) auf: Sofern überhaupt vorhanden, ist meist nur pflanzlicher Detritus unklarer Zuordnung zu Lieferpflanze oder -organ nachweisbar. Bei diesen als „Helle Bänder“ bezeichneten Einheiten lassen sich zwei fundamental verschiedene genetische Typen differenzieren: Jene innerhalb eines Moorfaziesbereiches (HB 1) vs. jene am Ende einer Fazies sukzession (HB 2).

Die **Hellen Bänder innerhalb eines Moorfaziesbereiches (HB 1)** repräsentieren dabei Trockenphasen im Paläomoor, während derer Humusgele abgebaut und weggeführt bzw. bituminöse Anteile relativ angereichert wurden. Vor allem durch die normalerweise hohen Wasserstände in der K- und A-Fazies zeigen sich Trockenperioden bei diesen Moortypen besonders deutlich. Während der Absolutgehalt des liptinitischen Materials gegenüber den unter „normalen“ Faziesbedingungen angelegten Kohlen deutlich gesteigert ist, bleibt deren relative Verteilung erhalten (Abb. 2, VOLKMANN 1990). Lediglich der besonders



**Abb. 7:** Rekonstruktion der Moorlandschaft eines Kiefern-Waldmoores (P-Fazies), übergehend in ein Schirmtannen-Hochmoore der *Marcoduria* (M)-Fazies (aus TEICHMÜLLER 1991); einige der hier dargestellten Arten und Gattungen sind nach neusten paläobotanischen Erkenntnissen jedoch anderen Faziesbereichen zuzuordnen.

sauerstoffempfindliche Chlorophyllinit fehlt in den Hellen Bändern gänzlich. Allerdings ist bei den Resiniten aufgrund der verstärkten Aerobie eine Verschiebung zugunsten höherpolymerisierter, dunklerer Typen teils mit erkennbarem Zonarbau sowie ein gehäuftes Auftreten peripherer Korrosionserscheinungen festzustellen. Durch den Farbumschlag in den Fluoreszenzemissionen von dem für den Suberinit charakteristischen Gelb- bis Grünton hin zu einem Braun, zeigt sich auch hier der intensive biochemische Einfluss. Die hochgradige Oxidation in diesen Kohlen ist darüber hinaus auch am gesteigerten Gehalt der inertinitischen Macerale Macrinit und Fusinit zu erkennen.

Im Gegensatz dazu stellen **Helle Bänder am Ende einer Faziessukzession (HB 2)** deren Zyklenabschluss dar (SCHNEIDER 1978). Genetisch entsprechen sie muddeartigen Aufarbeitungs- und Umlagerungshorizonten, die lateral in Sande/Schluffe/Tone übergehen und damit fazielle Äquivalente der klastischen Zwischenmittel bilden (RASCHER et al. 2013).

Der insgesamt hohe Liptinitgehalt ist dabei durch einen gesteigerten Sporinit-Anteil bei gleichzeitig geringem Suberinit-Gehalt gekennzeichnet. Während der Sporinit als äolisch eingetragen gilt, beschränkt sich die Hauptmasse des Suberinit nach VOLKMANN (1983) auf die Relikte der Durchwurzelung durch die nachfolgende Pflanzengesellschaft.

## 5 Zusammenfassung

Für miozäne und oligozäne Moore sind die moorfaziellen Zusammenhänge durch kohlenpetrologische und paläobotanische, besonders kutikularanalytische Untersuchungen (u. a. JURASKY 1936; TEICHMÜLLER 1958; SCHNEIDER 1965, 1967, 1969, 1978, 1979, 1982, 1990, 1995, 2010c, 2013a; RASCHER 1982; BÖNISCH 1983, 2010; BÖNISCH et al. 1983; RASCHER & SEIFERT 1985; DOLEZYCH & SCHNEIDER 2007) sehr gut belegt. In den eozänen und älteren mitteleuropäischen Braunkohlenflözen ist diese Art der Moorfaziesanalyse infolge des starken Destruktions- und Humifizierungsgrades dieser unter wärmeren klimatischen Bedingungen gebildeten Kohlen und der damit verbundenen geringen Anteile erhaltener und moorfaziell auswertbarer Pflanzenreste erschwert. Pollen und Sporen sind nicht immer ortskonkret genug für eine moorfazielle Aussage (HUNGER 1957; SONTAG 1966; SONTAG & SCHNEIDER 1982), wohl aber für klimatische Interpretationen (KRUTZSCH et al. 1992; KRUTZSCH 2011) geeignet. Moorfazielle Interpretationen können aber auch aus lumineszenzmikroskopischen Analysen der Liptinite (Macerale aus harz- und wachshaltigen Pflanzenteilen) abgeleitet werden (VOLKMANN 1984, 1990; RASCHER et al. 2013). Generell gilt jedoch, dass der kombinierte Einsatz verschiedener Methoden stets ein umfänglicheres Bild bei der moorfaziellen Einordnung liefert. Eine zusammenfassende Darstellung der faziesabhängigen paläoökologischen Bedingungen, der sich stratigraphisch verschiebenden torfbildenden Florengemeinschaften sowie der jeweils resultierenden makropetrographischen Charakteristika der Kohlen gibt RASCHER (2015, 2018; Abb. 8).

So breit das Wissen über die hochkomplexen Wirkmechanismen und ihrer Einflussnahme bei der Torf- und Kohlenbildung heute auch sein mag, sei jedoch darauf hingewiesen, dass sowohl die paläobotanischen Grundlagen als auch die methodischen Ansätze nie zum wissenschaftlichen Selbstzweck entwickelt wurden. Vielmehr stand stets die Anwendungsorientierung im Fokus; von der Brikettierung als Basis der meisten industriellen Veredlungswege über die Entwicklung der BHT-Verkokung unter Prof. E. Rammler in Freiberg bis hin zur Hydrierung und Schwelung war stets das Verständnis von Genese und Rohstoffeignung fundamentale Grundlage. Kombiniert mit den unter den wirtschaftlichen Bedingungen

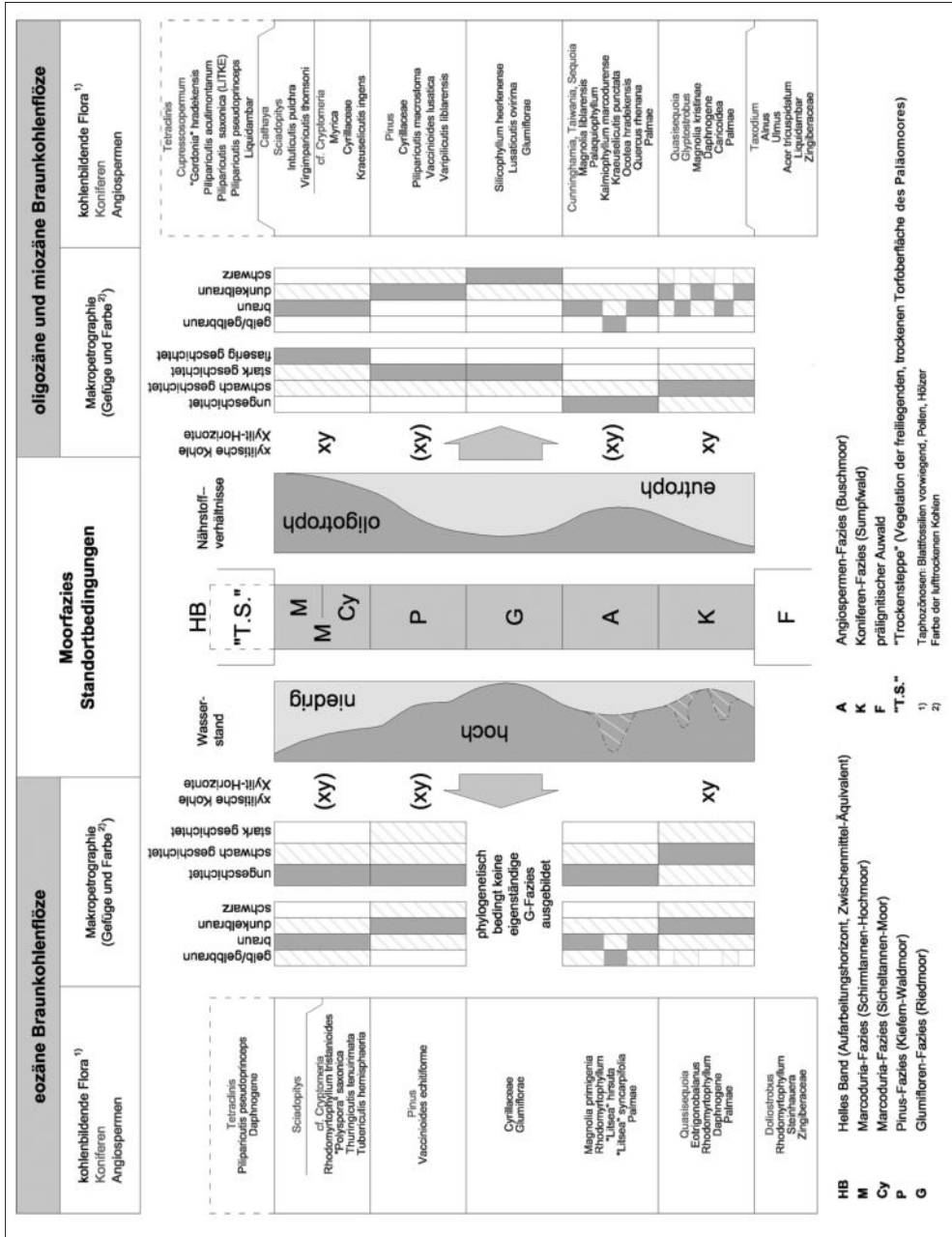


Abb. 8: Veränderung der Standortfaktoren, der Sukzession der Moorflora sowie der Moorfazies-Typen in eoazänen und oligoazänen/miozänen Braunkohlenflözen Mitteldeutschlands und der Lausitz (zusammengestellt nach SCHNEIDER 1978, 1986, 1992, 2013a; RASCHER 2002, 2009; aus RASCHER 2015).

der 1970er bis 1990er Jahre intensivierten, detaillierten Erkundungsmaßnahmen baute sich ein Kenntnisstand zu den ostdeutschen Braunkohlen, ihren Lagerstätten und rohstofflichen Charakteristika auf, dessen wissenschaftlicher Wert kaum ausreichend zu würdigen ist und selbst international seinesgleichen sucht. Das umfangreiche nationale und internationale Schrifttum hierüber findet darum bis heute nicht nur Anwendung in der Praxis, sondern stellt auch die Basis vieler Grundlagenforschungen in akademischen Einrichtungen dar. Insbesondere bei den gegenwärtig vermehrt in den Fokus der Forschung rückenden Fragen der Paläoumwelt-Rekonstruktion und der geologischen Klimaentwicklung ist die Moorfaziesanalyse in all ihren Ausprägungen von zentraler Bedeutung und unverzichtbar für petrologisch-geochemische Datenanalysen.

## 6 Gedenken und Dank

Dieses Mauritiana-Heft widmet sich dem Gedenken an Herrn Dr. Günter Krumbiegel. Als ehemaliger Direktor und Kustos des Hallenser Geiseltalmuseums befasste er sich jahrzehntelang mit der wissenschaftlichen Auswertung der Funde von Flora und Fauna aus der Braunkohlenlagerstätte des Geiseltales. In dieser Funktion haben ihn ein Teil der Autoren schon in den 1970er Jahren kennengelernt; zu vertieften Kontakten kam es nach seiner Pensionierung im Rahmen der Bernsteinforschung. In Herrn Krumbiegels Forschungen spielten (moor)fazielle Aspekte immer eine Rolle. Die Herausgabe dieses Gedenkbandes war deshalb für die Autoren ein willkommener Anlass, den – insbesondere aus der Untersuchung an mitteldeutschen und Lausitzer Weichbraunkohlen – gewonnen Kenntnisstand zusammenzufassen.

Ein derartig vielseitiger Themenkomplex, ist jedoch keinesfalls im Alleingang, sondern nur gemeinsam mit Kollegen unterschiedlicher Spezialisierungen zu bearbeiten. Die Autoren danken darum herzlich dem Nestor der Paläofaziesanalyse in Braunkohlen, Herrn Dr. Wilfrid Schneider, Hoyerswerda, für den steten fachlichen Austausch und die wertvollen Hinweise zu vorliegendem Artikel. Darüber hinaus gilt unser Dank Herr Dr. Lutz Kunzmann und Frau Dr. Martina Dolezych, Senckenberg Naturhistorische Sammlungen Dresden, für die vielen anregenden Gespräche. Auch Herrn Dr. Horst Blumenstengel (†) sei posthum Dank für die früher zahlreichen, fachlichen Diskussionen zum Thema Biostratigraphie und Sporomorphen-Untersuchungen gesagt.

## 7 Literatur

- BENDA, L. (1960): Beiträge zur Stratigraphie und Fazies des rheinischen Hauptbraunkohlenflözes aufgrund einer kutikularanalytischen Untersuchung der Tagebaue Vereinigte Vile, Berrenrath, Liblar, Lucretia, Sybilla, Fischbach und Fortuna. – N. Jb. Geol. Paläontol. Abh. **109**: 225–260.
- BÖNISCH, R. (1983): Zur Gliederung der faziellen Abfolgen und Zwischenmittel im 2. Lausitzer Flözhorizont. – Z. angew. Geol. **29** (9): 434–441.
- BÖNISCH, R. (1984): Zur makropetrographischen Faziesanalyse im 2. Lausitzer Flöz. – Freib. Forsch.-H. C **381**: 26–38.
- BÖNISCH, R. (2010): Makropetrographische Faziesanalyse des 2. Miozänen Flözes. – In: AUTORENKOLLEKTIV (Hrsg.): Die geologische Entwicklung der Lausitz. – Vattenfall Europe Mining AG, Cottbus: 86–94.

- BÖNISCH, R.; GRUNERT, K. & SCHNEIDER, W. (1983): Neue Erkenntnisse zum Stand der kohlengeologischen Erkundung im Förderraum Lausitz. – *Z. angew. Geol.* **29**: 65–132.
- BORNEMANN, J.G. (1856): Über organische Reste der Lettenkohlengruppe Thüringens. Ein Beitrag zur Fauna und Flora dieser Formation besonders über fossile Cycadeen, nebst vergleichenden Untersuchungen über die Blattstruktur der jetztweltlichen Cycadeengattungen. – Verlag Wilhelm Engelmann, Leipzig.
- CZAJA, A. (2003): Paläokarpologische Untersuchungen von Taphozöosen des Unter- und Miozäns aus dem Braunkohlentagebau Berzdorf / Oberlausitz (Sachsen). – *Palaeontographica B* **264** (1–6): 148 S.
- DOLEZYCH, M. & SCHNEIDER, W. (2006): Inkohlte Hölzer und Cuticulae dispersae aus dem 2. Miozänen Flözhorizont im Tagebau Welzow (Lausitz) – Taxonomie und vergleichende feinstratigraphisch-fazielle Zuordnung. – *Z. geol. Wiss.* **34** (3–4): 165–259.
- DOLEZYCH, M. & SCHNEIDER, W. (2007): Taxonomie und Taphonomie von Koniferenhölzern und Cuticulae dispersae im 2. Lausitzer Flözhorizont (Miozän) des Senftenberger Reviers. – *Palaeontographica B* **276** (1–3): 95 S.
- DOLEZYCH, M. & VAN DER BURGH, J. (2004): Xylotomische Untersuchungen an inkohlten Hölzern aus dem Braunkohlentagebau Berzdorf (Oberlausitz / Deutschland). – *Feddes Repert.* **115** (5–6): 397–437.
- ESCHER, D.; GERSCHEL, H.; GEISSLER, M.; HARTMANN, A.; RASCHER, J.; RASCHER, M.; RICHTER, L.; WITTEW, S.; PFEIFFER, N. & BLUMENSTENGEL, H. (2016): Geologische Erarbeitung digitaler Horizontkarten Tertiär Lausitz 1 : 50 000. – GEOmontan GmbH, i.A. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Abteilung Geologie (Hrsg.), Freiberg.
- GERSCHEL, H.; RASCHER, J.; ESCHER, D.; RICHTER, L.; WITTEW, S.; GEISSLER, M.; RASCHER, M.; HARTMANN, A. & STANDKE, G. (2017): Die geologische Neubearbeitung der Lithofazieskarten Tertiär der Lausitz im Maßstab 1 : 50.000 (LKT50). – *EDGG* **258**: 23–43.
- GÖTHEL, M. & SCHNEIDER, W. (2004): Die miozänen Ablagerungen und Pflanzenfossilien des Deckgebirges im Tagebau Cottbus-Nord im Rahmen der sequenzstratigraphischen Gliederung des Neogens der Lausitz. – *Brandenburg. Geowiss. Beitr.* **11** (1/2): 49–72.
- GRESSLY, A. (1838): Observations géologique sur le Jura Soleurois. – *Nouv. Mém. Soc. h Sci. natur., Neufchatel* **2**.
- HUNGER, R. (1953): Mikrobotanisch-stratigraphische Untersuchungen der Braunkohlen der südlichen Oberlausitz und die Pollenanalyse als Mittel zur Deutung der Flözgenese. – *Freib. Forsch.-H. C* **8**: 1–38.
- HUNGER, R. (1957): Makro- und mikropetrographische Flözcharakteristik der Braunkohle des Bornaer Reviers. – *Freiberg. Forsch.-H. C* **37**: 7–21.
- JURASKY, K.A. (1929): Neue Methoden und Ergebnisse der paläobotanischen Braunkohlenforschung. – *12. Ber. Freib. Geol. Ges.*: 48–57; Bergakademie Freiberg.
- JURASKY, K.A. (1934/35): Kutikular-Analyse. – *Biologia Generalis* **10** (2): 1–26, **11** (1): 227–244, **11** (2): 383–402.
- JURASKY, K.A. (1936): Deutschlands Braunkohlen und ihre Entstehung. – Gebr. Borntraeger Verlag, Berlin
- KIRCHHEIMER, F. (1933): Die Erhaltung der Sporen und Pollenkörner in den Kohlen sowie ihre Veränderung durch die Aufbereitung. – *Bot. Arch.* **35**: 134–187.
- KLIPPER, K. (1960): Pflanzenführung, Fazies und Bildungsverhältnisse im „Hauptflöz der Ville“, eine kutikularanalytische Untersuchung in den Tagebauen Neurath und Frimmersdorf-Süd des rheinischen Braunkohlenreviers. – *N. Jb. Geol. Paläontol. Abh.* **109**: 261–308.

- KRÄUSEL, R. & WEYLAND, H. (1950): Kritische Untersuchungen zur Kutikularanalyse tertiärer Blätter, I. – *Palaeontographica B* **91** (1–4): 7–92.
- KRUTZSCH, W. (1959): Mikropaläontologische (Sporenpaläontologische) Untersuchungen in der Braunkohle des Geiseltales. – Akademie-Verl., Berlin.
- KRUTZSCH, W. (1969): Die sporenstratigraphische Gliederung des älteren Tertiärs (Paläozän-Mitteloligozän), methodische Grundlagen und gegenwärtiger Stand. – *Abh. Zentr. Geol. Inst.* **12**: 15–45.
- KRUTZSCH, W. (2000): Stratigraphische Tabelle Oberoligozän und Neogen (marin-kontinental). – *Berliner geowiss. Abh. E* **34**: 153–165.
- KRUTZSCH, W. (2011): Stratigraphie und Klima des Paläogens im Mitteldeutschen Ästuar im Vergleich zur marinen nördlichen Umrahmung. – *Z. dt. Ges. Geowiss.* **162** (1): 19–46.
- KRUTZSCH, W.; BLUMENSTENGEL, H.; KIESEL, Y. & RÜFFLE, L. (1992): Paläobotanische Klimagliederung des Alttertiärs (Mittelozeän bis Oberoligozän) in Mitteldeutschland und das Problem der Verknüpfung mariner und kontinentaler Gliederungen (klassische Biostratigraphien – paläobotanisch-ökologische Klimastratigraphie – Evolutionsstratigraphie der Vertebraten). – *N. Jb. Geol. Pal. Abh.* **186** (1–2): 137–253.
- KUNZMANN, L. & WALTHER, H. (2012): Early Oligocene plant taphocoenoses of the Haselbach megafloreal complex and the reconstruction of palaeovegetation. – *Palaeobiodiv. Palaeoenviron.* **92** (3): 295–307.
- KUNZMANN, L.; UHL, D. & KRÜGER P.S. (2018): Whitish leaves in Eocene lignites in central Germany, a brief survey from the viewpoint of palaeobotany. – *Freib. Forsch.-H. C* **554**: 213–224.
- LITKE, R. (1966): Kutikularanalytische Untersuchungen im Niederlausitzer Unterflöz. – *Paläont. Abh. Abt. B II* (2): 327–426.
- LITKE, R. (1967): Kutikularanalytischer Nachweis für einen Wechsel von warmgemäßigten zu warmem Klima im Jungtertiär. – *Abh. zentr. Geol. Inst.* **10**: 123–127.
- LOTSCH, D.; KRUTZSCH, W.; MAI, D.; KIESEL, Y. & LAZAR, E. (1969): Stratigraphisches Korrelationschema für das Tertiär der Deutschen Demokratischen Republik. – *Abh. Zentr. Geol. Inst.* **12**: 1–438.
- MAI, D.H. (1964): Die Mastixioideen-Floren im Tertiär der Oberlausitz. – *Paläont. Abh.* **2** (1): 92 S.
- MAI, D.H. (1969): Die megaflorestische Gliederung des jüngeren Tertiärs (Oberoligozän-Pliozän), methodische Grundlagen und gegenwärtiger Stand. – *Abh. Zentr. Geol. Inst.* **12**: 49–66.
- MAI, D.H. (1995): Tertiäre Vegetationsgeschichte Europas, Methoden und Ergebnisse. – G. Fischer, Jena.
- MAI, D.H. (2000): Die untermiozänen Floren aus der Spremberger Folge und dem 2. Flözhorizont der Lausitz. Teil IV. – *Palaeontographica B* **254**: 65–176.
- MAI, D.H. & WALTHER, H. (1991): Die oligozänen und untermiozänen Floren NW-Sachsens und des Bitterfelder Raumes. – *Abh. Staatl. Mus. Min. Geol. Dresden* **38**: 1–230.
- NIEMZ, C. & HENNE, S. (2018): Die Entwicklung der Braunkohlenmikropetrographie und die Anwendung der Quantitativen Mikropetrographischen Analyse (QMAT) in der Praxis. – *Freib. Forsch.-H. C* **554**: 133–143.
- PFEIFFER, N.; BRETSCHNEIDER, F.; MEUSEL, M.; KNAPE, G. & ZOMACK, G. (2018): Palynologische und kutikularanalytische Untersuchungen eines Profils mit anomalem Flözaufbau im Tagebau Nochten. – *Freib. Forsch.-H. C* **554**: 193–207.
- PFLUG, H.D. (1952): Palynologie und Stratigraphie der eozänen Braunkohlen von Helmstedt. – *Paläont. Z.* **26** (1/2): 112–137.
- PFLUG, H.D. (1957): Die Untersuchung von Flözprofilen aus dem Nordrevier der rheinischen Braunkohle auf ihre Brikettiereigenschaften. – *Freib. Forsch.-H. A* **64**: 1–68.



- POTONIÉ, R. (1931): Pollenformen aus tertiären Braunkohlen. – Jb. Preuß. Geol. L.-Anst. **52**: 1–7.
- POTONIÉ, R. (1934): Zur Morphologie der fossilen Pollen und Sporen. – Arb. Inst. Paläobot. Petrogr. Brennst.; Preuß. Geol. L.-Anst. **4**: 5–24.
- RAMMLER, E.; SÜSS, M. & SONTAG, E. (1964): Untersuchung von petrographisch definierten Kohlenproben aus vollständigen Flözprofilen der Tagebaue Kleinleipisch und Klettwitz auf Brikettier- und Verkokungseigenschaften. – Freib. Forsch.-H. A **336**: 1–93.
- RAMMLER, E.; KNOPPE, E.; SÜSS, M. & SONTAG, E. (1967): Petrographische, brikettier- und schweltechnische Untersuchungen an Braunkohlenlithotypen der Lagerstätte Schleenhain bei Borna. – Freib. Forsch.-H. A **399**: 5–122.
- RASCHER, J. (1982): Wechsel der Kohlenfazies des 2. Lausitzer Flözes im südöstlichen Verbreitungsgebiet unter dem Einfluß der geologischen Verhältnisse. – Unveröff. Diss., Bergakademie Freiberg.
- RASCHER, J. (2002): Rohstoffgeologische Übersichtskarte des Freistaates Sachsen 1 : 400 000. Fossile Brennstoffe. – Sächs. Landesamt f. Umwelt u. Geologie, Freiberg.
- RASCHER, J. (2009): Braunkohlen. – In: PÄLCHEN, W. (Hrsg.): Geologie von Sachsen II. Georessourcenpotenzial und -risiken. – E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart: 24–51.
- RASCHER, J. (2015): Braunkohlenflöze: Auftreten, Entstehung und Qualität. – In: STACKEBRANDT, W. & FRANKE, D. (Hrsg.): Geologie von Brandenburg. – E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart: 323–333.
- RASCHER, J. (2018): Zur Anwendung moorfazieller Aspekte bei der feinstratigraphischen Gliederung von Braunkohlenflözen in Mitteldeutschland. – Freib. Forsch.-H. C **554**: 115–132.
- RASCHER, J. & SEIFERT, A. (1980): Makropetrographische Untersuchung an Weichbraunkohlen und ihre Bedeutung für die Praxis. – Z. angew. Geol. **26** (12): 611–619.
- RASCHER, J. & SEIFERT, A. (1985): Zur Anwendung kohlenpetrologischer und paläobotanischer Untersuchungsverfahren in der Braunkohlenerkundung. – Z. angew. Geol. **31** (4): 85–91.
- RASCHER, J.; ESCHER, D.; FISCHER, J.; RASCHER, M.; DARBINJAN, F.; HOTH, N.; VOLKMANN, N. & STANDKE, G. (2013): Fazies und Geochemie im Tertiär südlich von Leipzig. – Sächs. Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (Hrsg.), Dresden: Schriftenreihe 18/2013.
- ROSELT, G. (1978): Die Entstehung der Weichselbraunkohlen, Ursache der Kohlenqualität. – Neue Bergbautechnik **8** (4): 183–191.
- ROSELT, G. (1988): Die wissenschaftlichen Arbeiten von Dr. W. Schneider aus paläobotanischer und kohlengeologischer Sicht. – In: WALTHER, K. & BÖNISCH, R. (Hrsg.): Beiträge zur Faziesanalyse tertiärer Weichbraunkohlen. – Eigenverlag, Hoyerswerda: 5–8.
- ROSELT, G. & SCHNEIDER, W. (1969): Cuticulae dispersae, ihre Merkmale, Nomenklatur und Klassifikation. – Paläont. Abh. B **III** (1): 128 S.
- SCHMITZ, W. & BÖNISCH, R. (1988): 10 Jahre makropetrographische Faziesanalyse im miozänen 2. Lausitzer Flöz. – In: WALTHER, K. & BÖNISCH, R. (Hrsg.): Beiträge zur Faziesanalyse tertiärer Weichbraunkohlen. – Eigenverlag, Hoyerswerda: 17–25.
- SCHNEIDER, W. (1965): Zur faziellen Entwicklung im „Oberbegleiter des Lausitzer Unterflözes“ im Tagebau Spreetal. – Freib. Forsch.-H. C **189**: 203–226.
- SCHNEIDER, W. (1966): Beziehungen zwischen Pflanzeninhalt und petrographischer Beschaffenheit von Weichbraunkohlen am Beispiel der miozänen Braunkohlen der Oberlausitz. – Ber. dt. Ges. geol. Wiss. A Geol. Paläont. **11** (5): 615–633.
- SCHNEIDER, W. (1967): Tertiäre Cuticulae dispersae. Taxonomie, fazielle Aussage und praktische Bedeutung disperser Kutikulen aus Braunkohlen der DDR unter besonderer Berücksichtigung des 2. Lausitzer Flözes. – Unveröff. Diss., Bergakademie Freiberg.
- SCHNEIDER, W. (1969): Cuticulae dispersae aus dem 2. Lausitzer Flöz (Miozän) und ihre fazielle Aussage. – Freib. Forsch.-H. C **222**: 75 S.

- SCHNEIDER, W. (1978): Zu einigen Gesetzmäßigkeiten der faziellen Entwicklung im 2. Lausitzer Flöz. – Z. angew. Geol. **24** (3): 125–130.
- SCHNEIDER, W. (1979): Arbeitsvorschrift Kutikularanalyse. – Unveröff. Bericht, VEB BuS Welzow.
- SCHNEIDER, W. (1980): Mikropaläobotanische Faziesanalyse in der Weichbraunkohle. – Neue Bergbautechnik **10** (12): 670–675.
- SCHNEIDER, W. (1982): Zur Anwendung paläobotanischer Untersuchungsmethoden in der Braunkohlenerkundung. – Freib. Forsch.-H. C **377**: 111–127.
- SCHNEIDER, W. (1984): Angewandte Paläobotanik und Braunkohlenpetrologie – pflanzliche Gewebe als Gefügebilder in der Braunkohle. – Freib. Forsch.-H. C **381**: 14–19.
- SCHNEIDER, W. (1986): Die Vergelung im 2. Miozänen Flözhorizont der Lausitz, Genese und Erscheinung. – Wiss.-Techn. Inf.-Dienst A **27** (3): 31–39.
- SCHNEIDER, W. (1990): Floral succession in Miocene bogs of Central Europe. – Proceed. Symposium “Paleofloristic and paleoclimatic changes in cretaceous and tertiary” 1989: 205–212; Prague.
- SCHNEIDER, W. (1992): Floral Successions in Miocene swamps and bogs of Central Europe. – Z. Geol. Wiss. **20** (5/6): 555–570.
- SCHNEIDER, W. (1995): Palaeohistological studies on Miocene brown coals of Central Europe. – Int. J. Coal Geol. **28** (2–4): 229–248.
- SCHNEIDER, W. (2000): Myrica-Blattfossilien in den miozänen Braunkohlenschichten der Lausitz und angrenzender Gebiete. – Nat. u. Landsch. i. d. Niederlausitz **20**: 84–111.
- SCHNEIDER, W. (2007): Magnolia l. in peat-forming associations of the Miocene seams in Lower Lusatia (East Germany). – Acta Palaeobotanica **47** (1): 217–235.
- SCHNEIDER, W. (2009): Zur Paläobotanik des Tertiärs von Piskowitz bei Kamenz-Teil 1: Koniferen. – Veröff. Mus. Westlausitz **29**: 15–50.
- SCHNEIDER, W. (2010a): Paläobotanik der tertiären Moorlandschaften im Raum Gräbendorf/ Niederlausitz mit besonderer Berücksichtigung der Oberbank des 2. Miozänen Flözkomplexes. – Nat. u. Landsch. i. d. Niederlausitz **29**: 42–80.
- SCHNEIDER, W. (2010b): Zur Paläobotanik des Tertiärs von Piskowitz bei Kamenz-Teil 2: Das Kieselblatt *Silicophyllum heerlenense* WEYLAND, KLIPPER et BERENDT. – Veröff. Mus. Westlausitz **30**: 35–62.
- SCHNEIDER, W. (2010c): Paläobotanik & Mikropetrographie der Lausitzer Braunkohlen. – In: AUTORENKOLLEKTIV (Hrsg.): Die geologische Entwicklung der Lausitz. – Vattenfall Europe Mining AG: 86–94; Cottbus.
- SCHNEIDER, W. (2012): Das Schwingmoor von Piskowitz. – In: MUSEUM DER WESTLAUSITZ (Hrsg.): Klimawandel im Tertiär. Tropenparadies Lausitz?. – Begleitband zur Ausstellung: 178–213; Kamenz.
- SCHNEIDER, W. (2013a): Zur Paläobotanik des Krantzites – Beiträge und Schlussfolgerungen zur Bernsteingenese. – EDGG **249**: 90–103.
- SCHNEIDER, W. (2013b): Zur Paläobotanik des Tertiärs von Piskowitz bei Kamenz-Teil 3: *Graminophyllum wagneri* morphospec. nov. – ein Gras im Schwingmoor. – Veröff. Mus. Westlausitz **31**: 23–38.
- SCHNEIDER, W. (2014): Zur Paläobotanik des Tertiärs von Piskowitz bei Kamenz-Teil 4: Eine fragliche Bromeliaceae und Misteln im Kiefern-Moorwald. – Veröff. Mus. Westlausitz **32**: 29–60.
- SCHNEIDER, W. (2015): Zur Paläobotanik des Tertiärs von Piskowitz bei Kamenz-Teil 5: Phyllites limburgensis (KRÄUSEL & WEYLAND) SCHNEIDER. – Veröff. Mus. Westlausitz **33**: 53–90.
- SCHWAB, G. & FRANTZ, U. (1962): Beitrag zur Kenntnis des Lausitzer Unterflözes im Bereich des Braunkohlenwerkes „Glückauf“ Knappenrode (Niederlausitz). – Monatsber. Dt. Akad. Wiss. **4** (11/12): 729–739.

- SEIFERT, A. (1979): Methoden und Ergebnisse regionaler kohlenpetrologischer Untersuchungen zur Vergelung der Braunkohlen des Raumes Leipzig-Halle-Bitterfeld. – Unveröff. Diss., Bergakademie Freiberg.
- SEIFERT, A. & RASCHER, J. (1979a): Beitrag zur makropetrographischen Klassifikation von Weichbraunkohlen. Teil 1: Grundlagen zur Aufstellung einer internationalen makropetrographischen Klassifikation für Weichbraunkohlen. – *Z. angew. Geol.* **25** (10): 458–465.
- SEIFERT, A. & RASCHER, J. (1979b): Beitrag zur makropetrographischen Klassifikation von Weichbraunkohlen. Teil 2: Vorschlag und Begründung einer nationalen makropetrographischen Klassifikation für Weichbraunkohlen der DDR. – *Z. angew. Geol.* **25** (12): 582–587.
- SEIFERT, A.; RASCHER, J. & ROSELT, G. (1978): Beitrag zur makropetrographischen Ansprache von Weichbraunkohlen. – *Z. angew. Geol.* **84** (6): 250–256.
- SONTAG, E. (1963): Mikrobotanische und spektrochemische Untersuchungen am 2. Niederlausitzer Flözhorizont („Lausitzer Unterflöz“). – Unveröff. Diss., Bergakademie Freiberg.
- SONTAG, E. (1965): Pollenanalyse im Dienst der petrographischen Flözaufnahme im 2. Niederlausitzer Flözhorizont. – *Z. angew. Geol.* **11** (4): 193–198, **11** (5): 250–258.
- SONTAG, E. (1966): Mikrobotanische (palynologische) Untersuchungen am 2. Niederlausitzer Flözhorizont. – *Geologie, Beih.* **54**: 48 S.
- SONTAG, E. & SCHNEIDER, W. (1982): Zur mikropaläontologischen Gliederung des 2. Niederlausitzer Flözhorizontes. Ergebnisse und Probleme. – *Z. angew. Geol.* **28** (10): 470–480.
- SONTAG, E. & SÜSS, M. (1969): Beispiele petrologischer Untersuchungen zur Klärung rohstoffabhängiger verfahrenstechnischer Probleme der Braunkohlenveredlung. Teil 1: Rohkohlenaufbereitung und Entgasung. Teil 2: Vergasung und Verfeuerung. – *Bergbautechnik* **19** (5): 255–260, **19** (7): 395–399.
- SONTAG, E.; TZSCHOPPE, E. & CHRISTOPH, H.J. (1965): Beitrag zur mikropetrographischen Nomenklatur und Analyse der Weichbraunkohle. – *Z. angew. Geol.* **11** (12): 647–658.
- STANDKE, G.; RASCHER, J. & STRAUSS, C. (1992): Sea level changes in the Miocene of Eastern Germany. – Abstracts / Poster: 13<sup>th</sup> Regional Meeting on Sedimentology, September 1992; Jena.
- STANDKE, G.; RASCHER, J. & C. STRAUSS (1993): Relative Sea Level fluctuations and brown coal formation around the Early-Middle Miocene Boundary in the Lusation Braown Coal District. – *Geol. Rdsch.* **82**: 295–305.
- STANDKE, G.; RASCHER, J. & VOLKMANN, N. (2002): Lowstand cycles and coal formation in paralic environments: New aspects in sequence stratigraphy. – In: GUERS, K. (Ed.): Northern European Cenozoic Stratigraphy. – Proc. 8<sup>th</sup> Biann. Meet. RCNNS/RCNPS: 153–161, Flintbek.
- STANDKE, G.; ESCHER, D.; FISCHER, J. & RASCHER, J. (2010): Das Tertiär Nordwestsachsens. Ein geologischer Überblick. – Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.), Dresden.
- TEICHMÜLLER, M. (1958): Rekonstruktion verschiedener Moortypen des Hauptflözes der niederrheinischen Braunkohle. – *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.* **2**: 599–612.
- TEICHMÜLLER, M. (1991): Vergleichende mikroskopische und chemische Untersuchungen der wichtigsten Faziestypen im Hauptflöz der niederrheinischen Braunkohle. – Ergänzte Neuauflage, Sonderdruck Geol. Landesamt Nordrhein-Westfalen.
- THIERGART, F. (1938): Die Pollenflora der Niederlausitzer Braunkohle, besonders im Profil der Grube Marga bei Senftenberg. – *Jb. Preuß. Geol. L.-Anst.* **58**: 228–349.
- THIERGART, F. (1940): Die Mikropaläontologie als Pollenanalyse im Dienst der Braunkohlenforschung. – Enke Verlag, Stuttgart, Schriften Geb. Brennstoffgeol. **13**.
- THOMSON, P.W. (1950): Die Entstehung von Kohlenflözen auf Grund von paläontologischen Untersuchungen des Hauptflözes der rheinischen Braunkohle. – *Braunkohle* **2**: 39–49.

- THOMSON, P.W. & PFLUG, H. (1953): Pollen und Sporen des mitteleuropäischen Tertiärs. – *Palaeontographica B* **94** (1–4): 1–158.
- VOLKMANN, N. (1983): Zu einigen petrographisch-faziellen Aspekten des Vorkommens fossiler pflanzlicher Exkrete in tertiären Weichbraunkohlen. – *Z. angew. Geol.* **29** (1): 23–32.
- VOLKMANN, N. (1984): Die Phytobitumina der Weichbraunkohlen - Lumineszenzmikroskopische und genetische Untersuchungen an Weichbraunkohlen ausgewählter Lagerstätten der Deutschen Demokratischen Republik. – Unveröff. Dissertation, Bergakademie Freiberg.
- VOLKMANN, N. (1990): Zur Anwendung der Lumineszenzmikroskopie in der Faziesdiagnose. – *Z. Geol. Wiss.* **18** (10): 871–874.
- VOLKMANN, N. (1994): Die Lumineszenz der Weichbraunkohlen-Mikrokomponenten und ihre kohlen-genetisch-rohstoffliche Aussage - Teil I: Zur stofflichen und petrographischen Spezifik von Liptiniten und Huminiten. – *Freib. Forsch.-H. C* **452**: 35–77.
- VON DER BRELIE, G. (1956): Diatomeen als Fazies-Fossilien. – *Geol. Rdsch.* **45** (1): 84–97.
- VON DER BRELIE, G. (1968): Zur mikrofloristischen Schichtengliederung im rheinischen Braunkohlenrevier. – *Z. Dt. Geol. Ges.* **118**: 32.
- VON DER BRELIE, G. & REIN, U. (1956): Die Möglichkeiten pollenanalytischer Orientierung in mächtigen Flözen am Beispiel des rheinischen Hauptflözes in der Ville und in der Schachtanlage Morschenich. – *Braunkohle Wärme Energie* **8** (11/12): 209–219.
- VON DER BRELIE, G. & WOLF, M. (1981): Zur Petrographie und Palynologie heller und dunkler Schichten im rheinischen Hauptbraunkohlenflöz. – *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.* **29**: 95–163.
- VULPIUS, R. (2015): Die Braunkohlenlagerstätten Deutschlands, ein Überblick. – GDBM Verlag GmbH, Clausthal-Zellerfeld.
- WEYLAND, H. (1956): Die Bedeutung der Kutikularanalyse für die Braunkohlenforschung. – *Freib. Forsch.-H. C* **30**: 7–18.
- WEYLAND, H. (1957): Kritische Untersuchungen zur Kutikularanalyse tertiärer Blätter, III. Monocotylen der rheinischen Braunkohle. – *Palaeontographica B* **103** (1–3): 34–74.

Eingegangen am 28.08.2019

Dr. HENNY GERSCHEL  
 TU Bergakademie Freiberg  
 Institut für Geologie, Fachbereich Organische Petrologie und Geochemie  
 Gustav-Zeuner-Straße 12  
 D-09599 Freiberg  
 E-Mail: [henny.gerschel@geo.tu-freiberg.de](mailto:henny.gerschel@geo.tu-freiberg.de)

Dr. JOCHEN RASCHER  
 GEOMontan Gesellschaft für angewandte Geologie mbH  
 Am St. Niclas Schacht 13  
 D-09599 Freiberg  
 E-Mail: [j.rascher@geomontan.de](mailto:j.rascher@geomontan.de)

Prof. Dr. NORBERT VOLKMANN  
 TU Bergakademie Freiberg  
 Institut für Geologie, Fachbereich Organische Petrologie und Geochemie  
 Gustav-Zeuner-Straße 12  
 D-09599 Freiberg  
 E-Mail: [norbert-volkmann@geo.tu-freiberg.de](mailto:norbert-volkmann@geo.tu-freiberg.de)

NORA PFEIFFER  
LAOP – Laboratories for Applied Organic Petrology  
Straße der Freundschaft 92  
D-02991 Lauta  
E-Mail: [n.pfeiffer@laop-consult.de](mailto:n.pfeiffer@laop-consult.de)