

München, 31.12.2020

■ Manuscript:

received:

05.02.2020

revision:

accepted, 23.06.2020

available online, 17.11.2020

■ ISSN 0373-9627

■ ISBN 978-3-946705-08-6

Zur palynologischen Aussagekraft einiger Proben aus der Bohrung Bayerhof – eine Pilotstudie

Markus Sachse^{1*} & Christa-Charlotte Hofmann²

¹Rümannstraße 57, D-80804 München, Deutschland

²Paläontologisches Institut, Universität Wien, Althanstraße 14, A-1090 Wien, Österreich

*Author for correspondence and reprint requests; E-mail: sachse-m@gmx.de

Zitteliana 94, 85–97.

Zusammenfassung

Das aus dem obersten Oligozän bzw. untersten Miozän stammende Bayerhofer Maar ist hinsichtlich seiner Sedimentationsgeschichte bisher kaum untersucht. Im Rahmen dieser Studie konnten in fünf Proben aus dem Bohrkern etwa 65 Taxa (Sporen, Pollen, Grünalgen) mittels Licht- und Rasterelektronenmikroskop identifiziert werden. Ein Vergleich mit anderen Fossilfundstellen zeigt, dass dies dem erwartbaren Wert entspricht – unter Berücksichtigung von Probenmenge und Ablagerungsbedingungen für diesen Maarsee, der insgesamt wahrscheinlich bis zu 150 Taxa enthalten dürfte. Eine vorläufige Rekonstruktion der Pflanzenvergesellschaftung zeigt die zonale Vegetation eines warm-gemäßigten bzw. subtropischen Waldes bestehend aus immergrünen und sommergrünen Gewächsen, die den Kraterwall besiedelten. Auch Elemente der umliegenden Bergwälder des Fichtelgebirges und Oberpfälzer Waldes finden sich in den Ablagerungen. Entlang eines vermutlich in den See einmündenden Fließgewässers entwickelte sich ein Auenwald. In der Endphase des Sees bildeten sich Sumpf- und Moorvergesellschaftungen aus. Aufgrund der geringen Probenzahl und grundsätzlicher noch bestehender Unsicherheiten der bestehenden pollenstratigraphischen Zonierungen ist eine exakte Einstufung aus methodischen Gründen (noch) nicht möglich. Dennoch kann das mittels K/Ar-Datierung ermittelte Alter (23,3 bis 21,7 Millionen Jahre) bestätigt werden, da es sich um eine typische Vergesellschaftung des entsprechenden Zeitraumes handelt. Da die Bohrung die komplette Maargeschichte von der initialen Eruptionsphase bis zur Verlandung enthält, wäre bei entsprechend engerer Beprobung und multidisziplinärem Forschungsansatz ein sicherlich sehr viel detaillierteres Bild zur Klima- und Vegetationsgeschichte sowie stratigraphischen Gliederung des fraglichen Zeitraumes möglich. Denn hierfür bilden Maarablagerungen i.d.R. ideale Voraussetzungen.

Schlüsselwörter: Maarsee, Palynologie, Paläovegetation, Eger-Graben, Oberoligozän, Untermiozän

Abstract

The sediments of the Bayerhof Maar of presumably uppermost Oligocene to lowermost Miocene age have hardly been examined yet. In this preliminary study comprising five core samples 65 taxa (spores, pollen, green algae) were identified using light microscopy and scanning electron microscopy. Considering the small size of samples and the taphonomical conditions of the Bayerhof Maar, the comparison with other fossil sites with laminated sediments already investigated, probably would result in approximately up to 150 taxa. A preliminary reconstruction of the pollen data reveals a warm temperate or subtropical forest with evergreen and deciduous trees, growing on the crater walls. Elements of the surrounding mountain forests of the Fichtelgebirge and the Upper Palatinate Forest can be found as well in the sediments. Alongside a creek, which probably entered the lake, a floodplain forest developed. In the final phase of the lake swamp and moor communities were formed. Due to the small number of samples and, in principle, still existing uncertainties of the existing pollen stratigraphic zonation, the exact positioning is not (yet) available for methodological reasons. Nevertheless, the age determined by K/Ar dating (23.3 to 21.7 million years) can be confirmed, since a typical palynological association of the corresponding period was found. Since the drill core comprises the entire maar history from the initial eruption phase to silting up, a correspondingly narrower sampling and multidisciplinary research approach would certainly allow a much more detailed picture of the climate and vegetation history and stratigraphic structure of the period in question. For such purposes, maar sediments can offer ideal preconditions.

Key words: Maar lake, palynology, palaeo-vegetation, Eger rift, Oligocene, Miocene

1. Einführung

Das Bayerhof-Maar liegt als Teil eines tertiären Vulkanfeldes in einer noch heute tektonisch aktiven

Schnittzone zwischen Eger-Rift und der Fränkischen Linie im südlichen Steinwald am Rande des Böhmisches Massivs (Textfig. 1). Die bisherigen geophysikalischen und radiometrischen Untersuchungen



Textfigur 1. Lage des Bayerhofer Maares (roter Pfeil) am Rande des Böhmisches Massivs. Karte entnommen der LFU-Ausstellung: Geologische Wanderung durch Bayern, Teil 2. Vom Frankenwald ins Nördlinger Ries.

sind in den Arbeiten von Gabriel (2003), Rohrmüller (2003), Rohrmüller & Horn (2003), Wiederhold (2003) und Wonik (2003) zusammengefasst. Detaillierte Bearbeitungen der Sedimente fehlen hingegen noch.

Das von Rohrmüller (2003) vorgestellte Bohrprofil (BG015117, Textfig. 2, Taf. 1, Fig. 1, 2) erfasst die komplette Abfolge beginnend bei der Diatrembrekzie der eruptiven Initialphase bis zum Abschluss der Sedimentauffüllung (Torf- und Sumpfstadium). Es bietet somit mittels der für Maarseen typischen Feinschichtung die Möglichkeit zur hochauflösenden Rekonstruktion von Vegetations- und Klimaentwicklung (vgl. Brauer & Negendank 2002). Im vorliegenden Fall ist ausnahmsweise damit die vollständige Vegetationsabfolge nachvollziehbar, beginnend mit den ersten posteruptiven Pionierpflanzen bis zur Klimax-Vergesellschaftung des Waldökosystems.

Hierüber hinaus sind anhand des von Rohrmüller & Horn (2003) vorgelegten K/Ar-Alters – zwischen 23,3 und 21,7 Millionen Jahren – die Möglichkeiten zur Kalibrierung weiterer Datierungsmethoden gegeben. In diese Zeitperiode fällt die südhemisphärische Vereisungsphase Mi-1 im ausgehenden Oligozän, welche in Mitteleuropa durch ein kühl-gemäßigtes Klima geprägt war, mit nachfolgender Wiedererwärmung hin zum späteren mittelmiozänen Klimaoptimum. Mangels geeigneter und gut datierter Fossil-Fundorte ist diese für Vergleiche mit der heutigen globalen Erwärmung hochinteressante Phase noch nicht ausreichend verstanden (siehe z.B. Grein et al. 2013). Dies zeigt sich insbesondere auch in stark faziell geprägten und teils wohl diachron verlaufenden pollenstratigraphischen Zonierungen (z.B. Hochuli 1978; Krutzsch 2000).

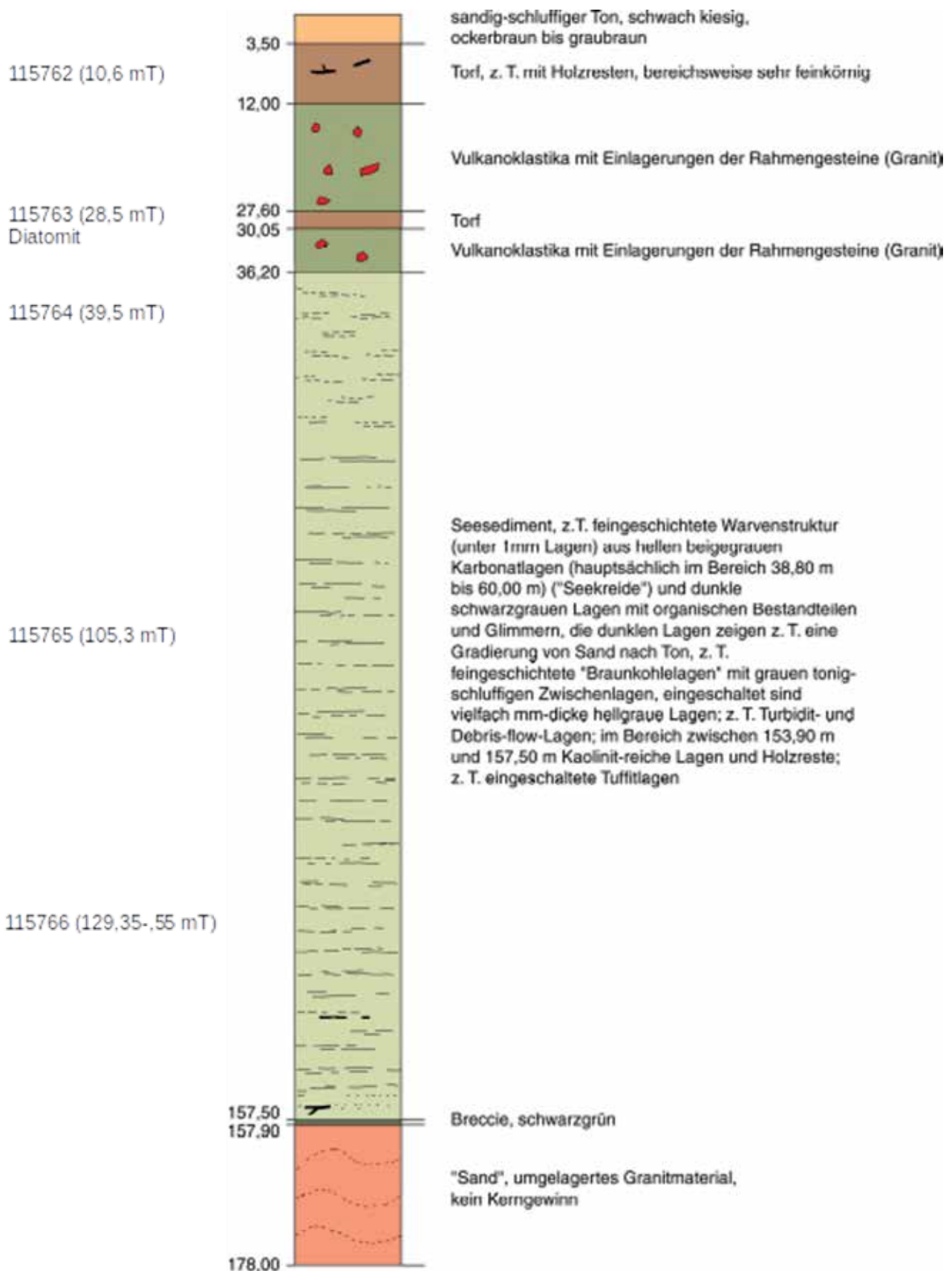
Diese Studie war angesetzt als Pilotprojekt, in dessen Rahmen anhand einer begrenzten Proben-

anzahl die potentielle Aussagekraft des palynologischen Inventars für derartige Zielstellungen überprüft werden sollte.

2. Probennahme und -aufbereitung

Es wurden fünf, mit hoher Wahrscheinlichkeit pollenhaltige Proben (Textfig. 2) so ausgewählt, dass sowohl die Seesedimente in unterschiedlichen Teufen, als auch ein in das tiefere Kohlelager eingeschalteter Diatomit und schließlich das überlagernde Kohlelager („Torf“) erfasst wurden.

Die Proben wurden am Geologischen Dienst in Krefeld mittels des von Kaiser & Ashraf (1974) beschriebenen Säure-Aufschlussverfahrens behandelt. Die drei stratigraphisch höheren Proben wurden am Paläontologischen Institut der Universität Wien mittels Licht- und Rasterelektronenmikroskops nach dem von Hofmann et al. (2015) beschriebenen Verfahren photographisch dokumentiert. Die beiden tieferen Proben wurden hierauf basierend mit einem am Lehrstuhl für Ingenieurgeologie der TU München befindlichen Mikroskop (Leica DM2500P) lichtmikroskopisch untersucht. Hierbei fungierte die kombinierte Untersuchung mittels Licht- und Rasterelektronenmikroskopie als Grundlage aufgrund ihrer deutlich präziseren systematischen Auflösung im Vergleich zur herkömmlichen rein lichtmikroskopischen Bearbeitung. Letztere muss sich daher oft auf eine Einteilung in künstliche, morphologisch definierte Taxa beschränken, der biologische Bezug bleibt mitunter unklar.



Textfigur 2. Lage der entnommenen Proben im Bohrprofil Bayerhof, verändert aus Rohrmüller (2003).

3. Taxonomische Zusammensetzung

Insgesamt konnten bisher etwa 65 Taxa identifiziert werden (Taf. 2–4). Diese Anzahl ist erwartbar bei entsprechender Anzahl der Proben, wie folgender tabellarischer Vergleich zeigt (Tab. 1). Dargestellt sind Proben- und Artenanzahl von palynologisch untersuchten hochauflösenden Laminiten unter vergleichbaren ökologischen und taphonomischen Bedingungen, d.h. Trichtersee-Ablagerungen mit umgebender Waldvegetation. Es deutet sich ein nicht-linearer, vermutlich umgekehrt exponentieller Zusammenhang an, wie beispielsweise die Untersuchungen von Nickel (1994, 1996) im Eckfelder Maar zeigen. Dort konnte die in einer Pilotstudie mit 10 Proben ermittelte Anzahl von 95 Arten in einer nachfolgenden, ausführlichen Studie mit 150 Proben nur noch verdoppelt werden.

Zu berücksichtigen ist des Weiteren die hier ersichtlich werdende – wohl klimatisch bedingte – abnehmende Artenzahl im Verlauf des Tertiärs. So ist davon auszugehen, dass für das Bayerhof-Maar bei entsprechend größerer Probenzahl bis zu 150 Arten zu erwarten wären – und somit mehr als doppelt so viel als in dieser Studie erfasst sind.

Die tabellarische Zusammenstellung (Tab. 2) enthält eine semiquantitative Auswertung der Pollenproben. Dies ist für die vorliegende Zielstellung vollkommen ausreichend, da die Ursache für die teils erheblichen Schwankungen zwischen den einzelnen Proben hier kaum zu klären und somit irrelevant sind. Ausreißer könnten durch – z.B. klimatisch bedingte – Umweltveränderungen, aber auch zufällige Erfassung von eingeschwemmten Blüten oder feinen Turbiditen bedingt sein. Solche Ablagerungen von Trübeströmen können, wie die Untersuchung eines Mass flow deposits aus dem eozänen Eckfelder Maar belegt (Sachse 2005), im Uferbereich vorher stark konzentriertes organisches Material mitgerissen haben.

Eng verwandte Formen sind teils gruppiert dargestellt; erkennbar ist dies durch die Zahl in der Klammer hinter dem jeweiligen Taxon. So sind beispielsweise in der Gattung *Engelhardia* 2 bis 3 morphologische Arten zusammengefasst. *Momipites quietus*, *Momipites punctatus* und cf. *Plicatopollis* sp. Unklar ist allerdings, wie viel biologische Arten hierin enthalten sind.

Die taxonomische Zusammensetzung entspricht – soweit bei der beschränkten Probenmenge und daraus resultierender Artenzahl zu beurteilen – einer typischen endoligozänen bis untermiozänen Mischwald-Zusammensetzung. Sie ist geprägt von sommergrünen und immergrünen Laubgehölzen sowie

Nadelbäumen und spiegelt den Zeitraum etwa ab der endoligozänen Vereisungsphase Mi-1 und dem mittelmiozänem Klimaoptimum wider. Für erste gibt es derzeit keine belastbar datierten Klimadaten mitteleuropäischer Floren (z.B. Mosbrugger et al. 2005). Letzteres ist charakterisiert durch besonders wärmeliebende immergrüne Elemente wie Mastixiaceen, Symplocaceen und Sapotaceen, die am Bayerhof-Maar jedoch – wenn überhaupt – nur untergeordnet anzutreffen sind.

Typisch oligozäne Zeigertaxa, welche auf ein höheres Alter schließen ließen, konnten nicht nachgewiesen werden. Somit kann mit jetzigem Kenntnisstand das radiometrisch ermittelte Alter zwar palynologisch bestätigt, wenn auch nicht präzisiert werden. Als quantitativ wichtigste palynologische Bestandteile seien hier genannt:

- Moose und Farne. Insbesondere in der oberen Kohleprobe vertreten. Da die äußere Sporenschicht, das für die Bestimmung wichtige Perispor, meist nicht erhalten ist, kommen verschiedenste Mutterpflanzen in Frage, die in sumpfigem Habitat gewachsen sein dürften.

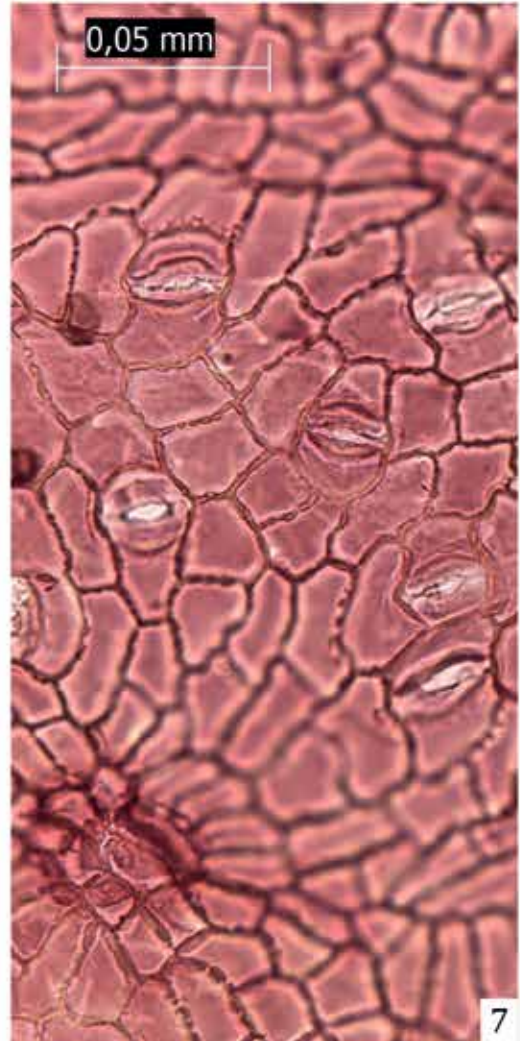
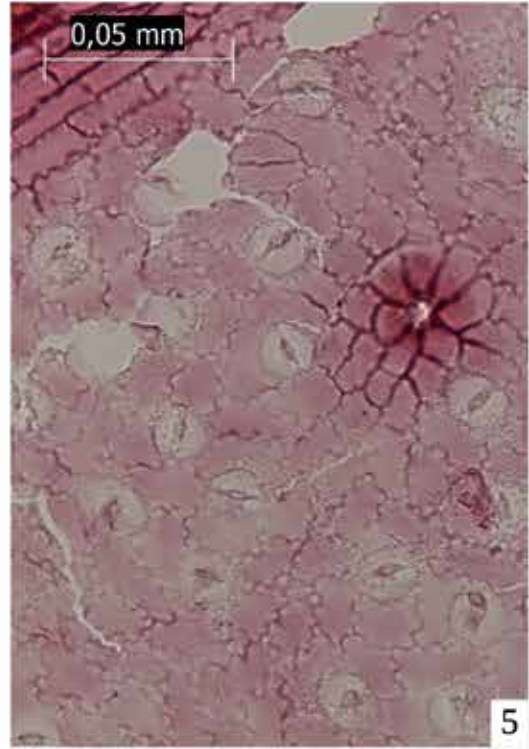
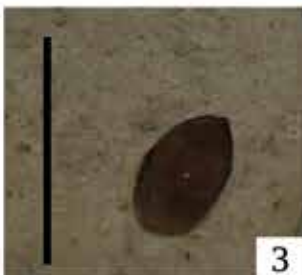
- Kieferngewächse (Taf. 2). Aufgrund ihrer ausgezeichneten Transportfähigkeit und hohen Produktionsrate sind Pollen von Tanne und Kiefern meist überrepräsentiert in den Proben. Die Pflanzen wuchsen meist in höher gelegenen Regionen des Bayerischen Waldes. Gerade Kiefern sind aber auch als Kohlebildner bekannt und könnten zum Teil auch aus dem Hochmoor stammen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit kann dies aufgrund ihres erhöhten Anteils in der oberen Kohleprobe für die Hemlocktanne angenommen werden, weniger hingegen für die andernorts Kohle bildende Schirmtanne.

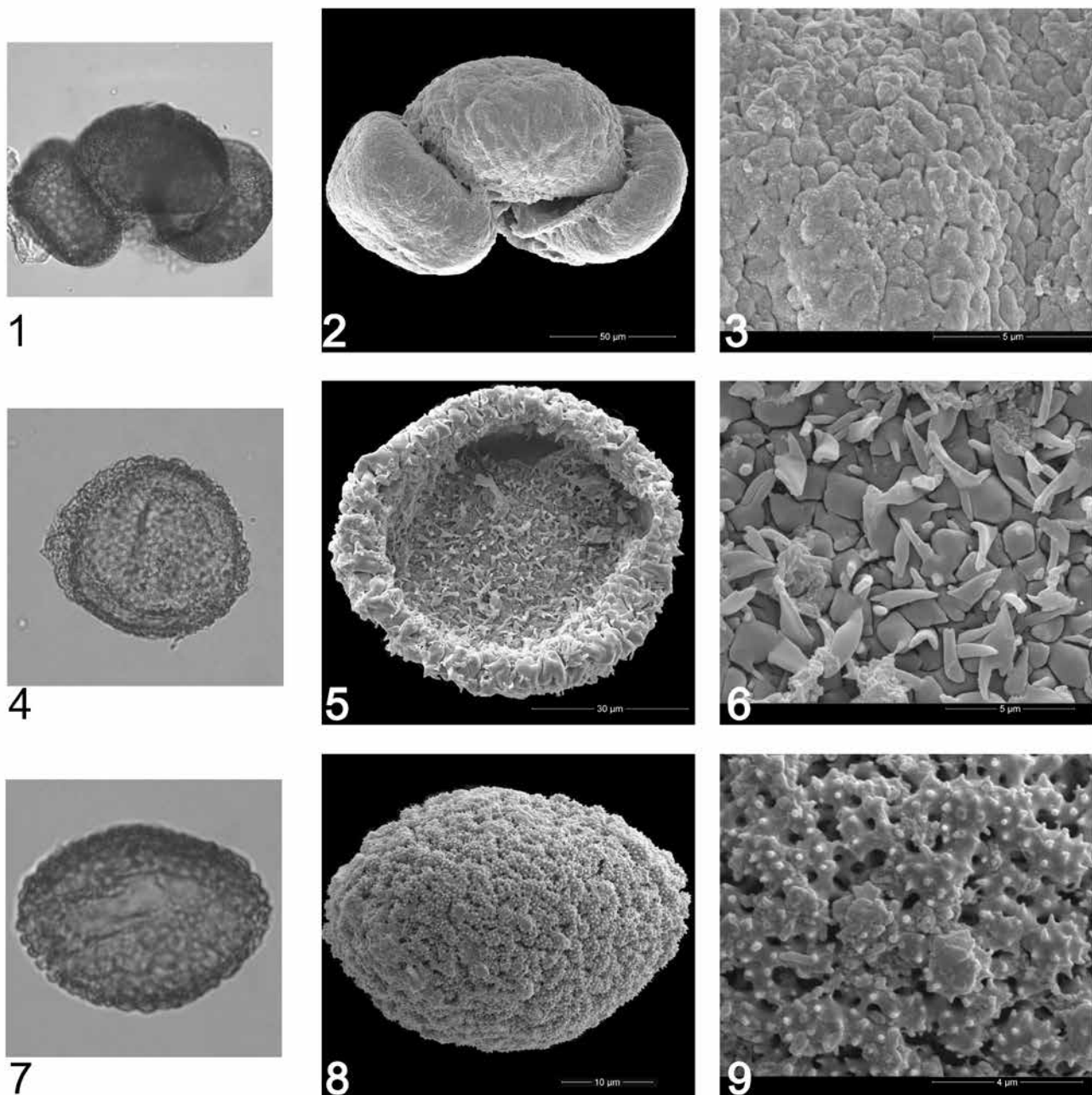
- Zypressengewächse. Für die Entstehung der unteren Kohleprobe dürften Sumpfyypressengewächse eine große Rolle gespielt haben.

- Walnußgewächse. Sie sind in den Floren meist überrepräsentiert, da sie als Windbestäuber eine höhere Pollenanzahl produzieren. *Engelhardia*, *Juglans*, *Carya*, *Pterocarya*, *Platycarya* zählen zu den wichtigen Elementen der mesophytischen Mischwälder und zum Teil auch Auwälder.

- Buchengewächse. Vorwiegend sind Buchen (*Fagus*) und ein bis zwei Vertreter der alttertiären Gattung *Eotrigonobalanus* vorhanden. Daneben treten vor allem Kastanien-artige und Eichen-artige auf. Erstere finden sich außer in den heutigen Gattungen *Castanea*, *Castanopsis*, *Lithocarpus* auch in einigen anderen fossilen Gattungen (z.B. *Trigonobalanopsis*). Letztere repräsentieren keine echten Eichen (*Quercus*), sondern ebenfalls fossile Formen, die noch keiner Pflanze zugeordnet werden konnten. *Tricolporo-*

Tafel 1. (1) Diatomit, Teufe 28,5 m, Maßstab 1 cm; (2) Bohrkernabschnitt mit Laminiten zwischen 57 m und 59 m Teufe, jeweils ein Meter lang; (3) unbestimmter Samenabdruck, Teufe 129,5 m, Maßstab 1 cm; (4, 5) *Daphnogene cinnamomifolia* (Brongn. in Cuv.) Unger, Teufe 39,4–39,6 m, Inventurnummer SMNS P002233-1, (4) Blattfragment, Maßstab 4 cm, (5) LM-Aufnahme der Kutikula der Blattunterseite mit Spaltöffnungen und Haarbasen; (6, 7) *Laurophyllum pseudoprinceps* Weyland et Kilpper, Teufe 129,35–129,55 m, Inventurnummer SMNS P002233-2, (6) Blattfragment, Maßstab 1 cm, (7) LM-Aufnahme der Kutikula der Blattunterseite mit Spaltöffnungen und Haarbasen.



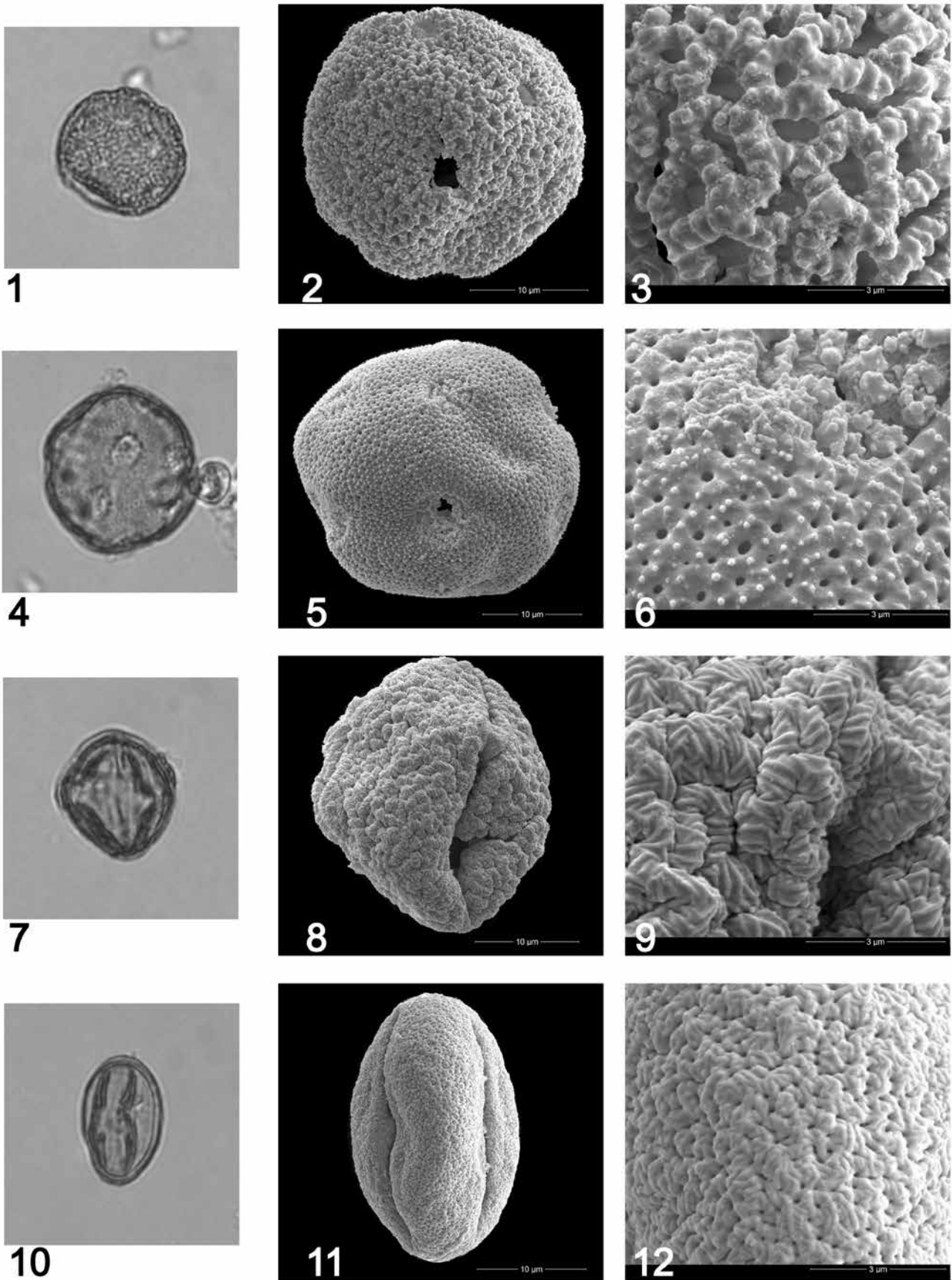


Tafel 2. Gymnospermen. (1–3) *Abies* sp.. (1) LM x300, (2) REM-Aufnahme Übersicht, (3) REM-Aufnahme Detail des Zentralkörpers; (4–6) *Tsuga* sp.. (4) LM x500, (5) REM-Aufnahme Übersicht, (6) REM-Aufnahme Detail; (7–9) *Sciadopytis* sp. (7) LM x1000, (8) REM-Aufnahme Übersicht, (9) REM-Aufnahme Detail.

pollenites pseudocingulum und *T. dolium* (Pot.) Th. et Pfl. Anreicherungen dieser Formen in Kohle führen häufig zu Interpretationen als Kohlebildner, d.h. die Mutterpflanzen wuchsen auf sumpfigem Substrat (z.B. Durska 2008). Generell gelten sie als wichtige Bestandteile der mesophytischen Mischwälder. Da allerdings nur eine Probe aus diesem Kohlehorizont vorliegt, ist auch nicht auszuschließen, dass zufällig eine einzelne, durch Wind eingetragene Blüte hier erfasst wurde. Andere Gruppen treten nur vereinzelt auf und sind deshalb – ihren Habitaten zugeordnet – in der folgenden Skizierung der Ablagerungsgeschichte zusammengefasst.

4. Entwicklung des Maarsees und der umgebenden Vegetation

Bei einem aufgrund der geophysikalischen Befunde von Bader & Stettner (1988) anzunehmenden Seedurchmesser von ca. 400 m dürfte der Maarsee etwa 30.000 bis 50.000 Jahre bestanden haben, bis er wieder verlandete. Als Anhaltspunkt können hier die quartären Maarseen der Eifel dienen. Bei einer von Voss et al. (2000) an Laminiten verschiedener tertiärer Maarseen ermittelten Sedimentationsrate zw. 0,2 und 0,6 mm/a wären für die insgesamt 120 m mächtigen Seesedimente des Bayerhof-Maars



Tafel 3. Angiospermen. (1-3) *Buxus* sp. (1) LM x1000, (2) REM-Aufnahme Übersicht, (3) REM-Aufnahme Detail des Reticulums; (4-6) *Liquidambar* sp. (4) LM x 1000, (5) REM-Aufnahme Übersicht, (6) REM-Aufnahme Detail; (7-9) *Eotrigonobalanus eiszmannii*-Typ. (7) LM x1000, (8) REM-Aufnahme Übersicht, (9) REM-Aufnahme Detail; (10-12) Eotrigonobalanoide Form. (10) LM x 1000, (11) REM-Aufnahme Übersicht, (12) REM-Aufnahme Detail des Tectums.

einige Jahrhunderttausende zu veranschlagen – sicherlich zu lange. Entsprechend ist daher eine – unter Einbeziehung von mächtigeren turbiditischen Ablagerungen – gemittelte kompaktierte Sedimentationsrate von 2 bis 3 mm/a wahrscheinlicher. Aus der Auswertung von Bohrkernen des Eckfelder und Messeler Maares (Negendank et al. 1982, Lenz et al. 2007) ist eine tendenziell von der Basis zum Top abnehmende Sedimentationsrate bekannt. Auch für das Bayerhofer Maar ist daher im basalen Bereich aufgrund der steileren und noch unbewachsenen Hänge nach den Maareruptionen eine deutlich höhere Sedimentationsrate anzunehmen. Unter Vorbehalt – eine detaillierte sedimentologische Untersuchung liegt noch nicht vor – ist davon auszugehen, dass der Zeitabstand von Maarentstehung bis Ablagerung der in der unteren Probe 115766 erfassten Schichten daher kaum mehr als 20.000 Jahre betragen dürfte. Nun waren die Hänge bereits stabilisiert und von einer dichten Waldvegetation bewachsen.

Aufgrund der beschränkten Probenanzahl können nur eingeschränkt Rückschlüsse gezogen werden zur Vegetationsentwicklung. Eine engere und stratigraphisch tiefere Beprobung, sowie Spektralanalysen der Warvendicken würden genauere Aussagen ermöglichen über die Sukzessionsabfolge der Wiederbesiedlung der Hänge und nachfolgenden Verlandung.

Ein solcher den Kraterrand umgebender mesophytischer Mischwald, enthält neben den bereits oben beschriebenen Buchen- und Walnussgewächsen viele laubwerfende Bäume wie Ahorn, Linde, Hasel und Sträucher wie Schneeball, Malven- und Sumachgewächse. Auf durch Hangrutsche entstandenen Lichtungen wucherten Kletterpflanzen wie Weinreben- und Rosengewächse sowie Tüpfel- und Kletterfarne.

Pollen thermophiler, teils immergrüner Pflanzen wie *Symplocos*, Stechpalmen, Buchsbaum, Breiapfel-, Aralien-, Oliven-, Storaxbaum-, Kreuzdorn- gewächse, die wohl im Unterwuchs der Waldvergesellschaftungen wuchsen, finden sich ebenfalls nur vereinzelt. Dies könnte einerseits an einer geringen Anzahl der Mutterpflanzen liegen, aber auch daran, dass sie von ihrem Standort aus schlechter das Einbettungsmedium erreichten. Zudem waren sie meist insektenbestäubt und daher in geringerer Anzahl als die meist windbestäubten Pollen von überwiegend laubwerfenden Pflanzen produziert worden. Teils sind ihre filigranen Pollen aber auch nicht oder nur bedingt erhaltungsfähig (z.B. Tee-, Lorbeer- und Magnoliengewächse) und ein Nachweis meist nur mit Makrofossilien möglich. So sind die einzigen bisher identifizierten fossilen Blattreste basierend auf kutikularanalytischen Untersuchungen durch Johanna Eder (Stuttgart) den beiden Lorbeergewächsen *Daphnogene cinnamomifolia* (Brongn. in Cuv.) Unger und *Laurophyllum pseudoprinceps* Weyland et Kilpper (Taf. 1, Fig. 4–7) zuzuordnen. Tatsächlich werden entsprechende fossile Waldvergesellschaftungen oft

als Eichen-Lorbeerwälder bezeichnet – analog zur heutigen zonalen Vegetation der subtropischen oder warm-gemäßigten Zone.

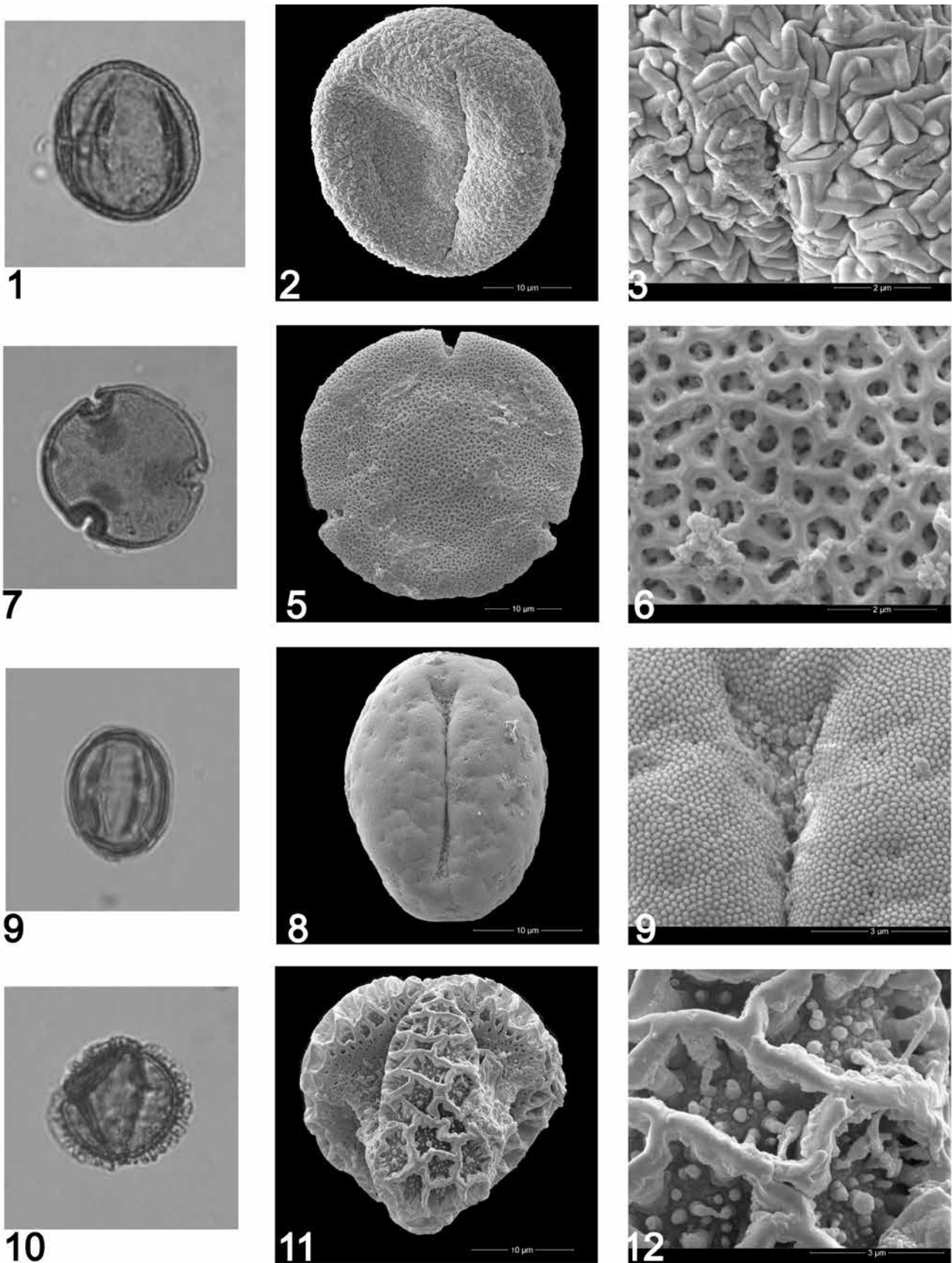
Des Weiteren weisen Pollen von Amberbaum, Platane, Ulme und Erle, wohl auch Esche, auf einen naheliegenden Auwald, vermutlich auch auf einen ins Maar entwässernden Fluss hin. Das fossile feuchtigkeitsliebende Ulmengewächs *Cedrelospermum* dürfte ebenfalls im Auwald, sicherlich am Rand des in der Endphase versumpfenden Seeufers gestanden haben. Einen solchen Standort implizieren nicht nur zahlreiche Pollen dieser Pflanze in Probe 117563, sondern auch viele Makrofossilien, die z.B. im Randecker Maar gefunden wurden.

Ein markanter Vegetationswechsel zeigt sich in der in mächtige Vulkanoklastika und Kohlen eingeschalteten Diatomitlage (Taf.1, Fig. 1). Eine Verlandung zu einem möglicherweise Kiefern-, auf jeden Fall Sumpfyypressen- geprägten Sumpf- und Auenwald, der aber auch Gagelstrauch- und Heidestrauch- Gewächse enthielt, sowie der Wechsel von zahlreichen Eichenartigen zu Buchen- Gewächsen könnte durch ein verflachtes Kraterrelief erklärt werden. Nähere Informationen über die Ursache, ob z.B. eine benachbarte Maareruption den See teils verfüllt und damit verflacht hat, sind bei derzeitigem Kenntnisstand nicht möglich. Hier wäre sicherlich eine Untersuchung der Diatomeen-Vergesellschaftung des Sediments, die einen erhöhten Nährstoffeintrag anzeigen dürfte, sehr hilfreich. Noch zeigen allerdings Grünalgen (*Botryococcus*, *Pediastrum*, *Ovoidites*) offene Wasserflächen, die von Rohrkolben umwachsen waren.

Auf einem nachfolgenden Schüttungskörper aus Vulkanoklastika entwickelte sich schließlich eine wohl offenere Sumpfergesellschaftung (obere Kohleprobe) mit vielen Farnartigen, während Buchengewächse, insbesondere Castanoideae, sowie Hemlocktannen und Kiefern randliche Standorte besiedelten. Nach wie vor waren offene Wasserstellen vorhanden. Derartige Zusammensetzungen waren offenbar in böhmischen untermiozänen Kohlen sehr verbreitet (Konzalova 1976).

5. Stratigraphische Aussagekraft der Palynomorphen

Die von Krutzsch & Majewski (1967) und Hochuli (1978) etablierte und letztmals von Krutzsch (2000) aktualisierte und stratigraphisch neu geeichte Pollenzonierung kann für das vorliegende Untersuchungsmaterial nur bedingt Anwendung finden. Sie beruht einerseits auf dem erst- und letztmaligen Auftreten meist nur vereinzelt registrierter Arten, andererseits auf quantitativen Verhältnissen wärmeliebende zu gemäßigten Elementen, die natürlich auch faziellen Schwankungen unterworfen waren. Wie bereits dargestellt, sind außerdem aufgrund der geringen Probenzahl hier wohl nur die Hälfte der zu erwartenden Taxa erfasst, gerade die selteneren Arten könnten



Tafel 4. Angiospermen. (1–3) *Fagus* sp. (1) LM x1000, (2) REM-Aufnahme Übersicht, (3) REM-Aufnahme Detail; (4–6) *Tilia* sp. (4) LM x 1000, (5) REM-Aufnahme Übersicht, (6) REM-Aufnahme Detail; (7–9) Isonandreae-Typ (Sapotaceae). (7) LM x1000, (5) REM-Aufnahme Übersicht, (9) REM-Aufnahme Detail; (10–12) *Viburnum* sp. (10) LM x 1000, (11) REM-Aufnahme Übersicht, (12) REM-Aufnahme Detail des Reticulums.

Tabelle 1. Probenanzahl und damit gekoppelte Artenzahl verschiedener tertiärer Laminitvorkommen.

Lokalität	Stratigraphie	Probenanzahl	Artenzahl	Literatur
Menat-Maar	Paläozän	10	190	Kedves 1992
Eckfelder Maar - Pilotstudie - ausführliche Studie	Mitteloazän	10 150	95 190	Nickel 1994 Nickel 1996
Messeler Maar	Mitteloazän	> 1000	> 200	Thiele-Pfeiffer 1988, Lenz et al. 2007
Enspel-Maar	Oberoligozän	423	140	Herrmann 2007
Baruther Maar	Oberoligozän	3 aus miozänen Deckschichten 4 aus oligozänem Maarsee	insges. 60	Hottenrott 2003
Randecker Maar	Untermiozän	2	50	Kottik 2002
Foulden Maar	Untermiozän	26	160	Mildenhall et al. 2014
Willershausener Doline	Oberpliozän	16	52	Mohr 1986

fehlen. Methodisch bleibt aber auch zu beachten, dass viele der verwendeten künstlichen Arten in der Literatur nicht immer einheitlich behandelt und somit Pollen unterschiedlich zugeordnet wurden. Des Weiteren sind noch nicht ausreichend Untersuchungen zu diachronen Zonenverschiebungen und Verknüpfungen mit absoluten Altersdatierungen vorhanden.

Festzuhalten ist dennoch: Das radiometrisch ermittelte Alter von 23,3 bis 21,7 Millionen Jahren korreliert mit den sporenstratigraphischen Zonen SPN I und SPN II, wobei erstere eine kühle Phase des Neochatt, letztere eine warme Phase des unteren Aquitanien repräsentiert.

Die ausgewogene Anzahl wärmeliebender, intermediärer und gemäßigter Elemente dürfte auf eine Übergangszone I/II hinweisen, die Krutzsch (2000) in einer stratigraphischen Tabelle bei etwa 23,8 bis 23,3 Millionen Jahren ansetzt. Andererseits fällt seine Warmphase SPN II nach diesem Schema zusammen mit der südhemisphärischen Vereisungsphase MI-1, die neuerdings bei 23 Mio Jahren datiert und somit eigentlich einer kühleren Phase entsprechen sollte. Eine Zuordnung zur nachfolgenden kühleren Zone SPN III, lt. Krutzsch (2000) ab 22,5 Millionen Jahren beginnend, erscheint hingegen unwahrscheinlich, da diese durch nur noch sporadisch auftretende *Tsuga* (=Hemlocktanne), dafür aber signifikante Anteile an Kräutern, Gräsern und modernen Eichen charakterisiert wäre. Derartige Zusammensetzungen fehlen im Bayerhofer Maar, könnten hier allerdings möglicherweise aus faziellen Gründen kaschiert sein.

Es ist somit derzeit noch nicht abschließend zu klären, ob überhaupt eine und welche der Zonen hier

Anwendung findet und ob dieses Maar noch ins ausgehende Oligozän vor der Vereisungsphase oder in die nachfolgende beginnende untermiozäne Erwärmungszeit einzuordnen ist.

6. Fazit und Ausblick

Aus der kombinierten LM/REM-Auswertung einer beschränkten Probenanzahl lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

1. Vermutlich die Hälfte der theoretisch in den Maarablagerungen vorhanden Taxa konnte erfasst werden. Die vorläufige Rekonstruktion ergibt einen aus sommer- wie immergrünen Laub- und Nadelgewächsen bestehenden Mischwald in einem wohl insgesamt subtropischen bzw. warm-gemäßigten Klima. Anzeichen für ein durch Kräuter und Gräser geprägtes Hinterland, welches ein trockeneres und/oder kühleres Klima andeuten könnte, sind derzeit nicht nachgewiesen.
2. Eine grobe Struktur verschiedener Pflanzenvergesellschaftungen und Sukzessionsstadien um einen Maarsee bis hin zu seiner Verlandungsphase wird erkennbar.
3. Eine eindeutige Zuordnung zur bestehenden sporenstratigraphischen Gliederung ist derzeit aus den folgenden Gründen nur bedingt möglich. Aufgrund der beschränkten Proben- und damit auch Artenanzahl sind stratigraphisch signifikante, dafür leider auch sehr seltene Taxa bisher nicht nachgewiesen. Außerdem ist sowohl die stratigraphische Korrelation der unterschiedlichen Datierungs-Methoden als auch

Tabelle 2. Semiquantitative Darstellung der taxonomischen Zusammensetzung der fünf Bayerhof-Proben; ? nicht gesichert, xxxx sehr häufig, xxx häufig, xx regelmäßig, x vereinzelt, † fossile ausgestorbene Form. Systematisch gelistet nach APG IV (2016) und Christenhusz et al. (2010, 2011)

Bayerhof Maar Proben			115762	115763	115764	115765	115766	Taf./Fig.
Tracheophyta			Moosfarntartige und Farne					
Selaginellaceae	<i>Selaginella</i>	Moosfarne				x		
Osmundaceae	<i>Osmunda</i>	Königsfarne	x	x	x	x	x	
Lygodiaceae	<i>Lygodium</i>	Kletterfarne				x		
Pteridaceae	Indet (2)	Saumfarngewächse	x				x	
? Polypodiaceae	monolet glatt, 25-35 µm	? Tüpfelfarngewächse	xx			x		
indet	trilet glatt dünnwand. 25 µm	unbekannt	xx				x	
Gymnospermae			Nadelbäume, Zypressen					
	<i>Pinus</i>	Kiefer	xxx	xxx	xxxx	xxx	x	
	<i>Cathaya</i>	Taubenbaum		x	x	x	x	
	<i>Tsuga</i> (2)	Hemlocktanne	xx	x	x	xx		2 / 4-6
Pinaceae	<i>Abies</i>	Tanne	xx	x	xx	xx	x	2 / 1-3
Sciadopytaceae	<i>Sciadopytys</i>	Schirmtanne		x	x	x		2 / 7-9
Taxodiaceae/Cupressaceae	indet	Zypressengewächse	x	xx	x	x	x	
Monokotyle Angiospermae			einkeimblättrige Blütenpflanzen					
Restionaceae	<i>Milfordia</i>	Grasartige				x	x	
Typhaceae	? <i>Typha</i>	Rohrkolbenartige		x				
Eudikotyle Angiospermae			zweikeimblättrige Blütenpflanzen					
Buxaceae	<i>Buxus</i>	Buxbaum		x			x	3 / 1-3
Altingiaceae	<i>Liquidambar</i>	Amber	x	x	x	x		3 / 4-6
Vitaceae	<i>Parthenocissus</i>	Jungferrebe	x			x	x	
	? <i>Vitis</i>	Weinrebe	x	x	x	x		
? Rhamnaceae	Indet	Kreuzdorngewächse	x					
	<i>Cedrelospermum</i>	Cedrelospermum		xx	x		x	
Ulmaceae	<i>Ulmus</i>	Ulme	x	xx	x			
	Castanoideae	Kastanienartige	xx	x		x	x	
	<i>Eotrigonobalanus</i> † (1-2)	Buchengewächse †	x	x	x	x	x	3 / 7-12
	<i>Fagus</i>	Buche	xx	xxx	x	xx	x	4 / 1-3
Fagaceae	Queroideae † (2)	Eichenartige †	x	xx	xxx	xxx	xx	
Myricaceae	<i>Myrica</i>	Gagelstrauch	x	x	x	xx	xx	
	<i>Carya</i>	Hickory	x	x	x	x	xx	
	<i>Engelhardia</i> (2-3)	Engelhardia (2-3)	x	x	x	xx	xxx	
	<i>Juglans</i>	Walnuss				x	x	
	<i>Platycarya</i>	Zapfenuß		x		x	x	
Juglandaceae	<i>Pterocarya</i>	Flügelnuß	x	x		x	xx	
Platanaceae	<i>Platanus</i>	Platane	x	xx	x			
	Indet †	Birkengewächs †		x		x	x	
	<i>Alnus</i>	Erle		x	x			
	<i>Betula</i>	Birke		x	xx		x	
	<i>Carpinus</i>	Hainbuche				x	xx	
Betulaceae	<i>Corylus</i>	Hasel	x	x			x	
Sapindaceae	<i>Acer</i>	Ahorn		x				
Anacardiaceae	? <i>Rhus</i>	Sumachgewächse	x					
	<i>Craigia</i>	Malvengew.	x		x	x		
	<i>Reevesia</i>	Malvengew.	x					
Malvaceae	<i>Tilia</i>	Linde	x	x	x		x	4 / 4-6
Chenopodiaceae	Indet	Gänsefußgewächse		x		x		
Sapotaceae	Indet (2)	Breipfelgewächse		x		x	x	4 / 7-9
? Styracaceae	indet	Storaxbaumgewächse	x					
	<i>Symplocos</i>	Heidekrautgewächse		x			x	
Ericaceae	Indet (2)	Heidekrautgewächse		x	x	x		
Oleaceae	Indet (2)	Olivengewächse		x		x	x	
Aquifoliaceae	<i>Ilex</i>	Stechpalme	x	x	x		x	
Adoxaceae	<i>Viburnum</i>	Schneeball	x	x				4 / 10-12
Araliaceae	Indet (2?)	Araliengewächse	x	x	x	x	x	
indet	<i>Tricolporopollenites liblarensis</i>	Indet		x				
indet	Indet	Indet	xx	xx	xx	xx	xx	
Chlorophyta			Grünalgen					
Trebouxiophyceae	<i>Botryococcus</i>	Ölalg	x	x	x			
Chlorophyceae	<i>Pediastrum</i>	Zackenrädchen	x	x				
Zygnemataceae	<i>Ovoidites</i> (2-3)	Algenzysten	x	x	x	x	x	

die pollenstratigraphische Zonierung und die auf dieser basierende, taxonomische Zuordnung vieler morphologischer Arten derzeit noch fehlerbehaftet.

Weitere Erkenntnisse zur Vegetations- und Klimaentwicklung könnten gewonnen werden durch eine engere palynologische sowie multidisziplinäre Beprobung. So könnten beispielsweise eine Auswertung der Diatomeenflora Rückschlüsse zu u.a. Wasserchemismus und -tiefe erlauben. Die Identifizierung eines vorgelegten Samenabdruckes (Taf. 1, Fig. 3) war leider erfolglos, eine detaillierte Untersuchung bezüglich identifizierbarer Blatt-, Früchte- und Samenreste wäre aber sicher lohnenswert (mündl. Mitteilung J. Gregor, Olching). Ebenfalls interessant könnte eine wissenschaftliche Grabung sein, wie sie der Autor in Eifeler Maaren durchgeführt hat (s. Sachse et al. 2002). Der finanzielle Aufwand könnte – zumindest in der oberen Kohleschicht – durch eine kleine Probegrabung begrenzt gehalten werden.

Die wissenschaftliche Bedeutung des Maares liegt in seiner guten Datierbarkeit als Ankerpunkt für eine Verbesserung der bestehenden Vorstellungen zur klimatischen und biostratigraphischen Entwicklung.

Danksagung

Probenmaterial und Aufnahmen des Bohrkerns wurden vom LfU, Marktredwitz zur Verfügung gestellt, welches auch dank finanzieller Unterstützung die Realisierung dieser Studie ermöglichte. Insbesondere war dort Johann Rohrmüller für die Organisation ein hilfreicher Ansprechpartner. Des Weiteren möchten wir uns bedanken für die Probenaufbereitung bei Christoph Hartkopf-Fröder, Geologischer Dienst Krefeld, für die Benutzung eines Lichtmikroskops bei Albert Gilg, TU München, sowie für die Bearbeitung und photographische Aufnahmen pflanzlicher Großreste bei Johanna Eder und Anita Roth-Nebelsick, beide Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart und Jochen Gregor, Olching. Gedankt sei auch einem anonymen Reviewer für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

7. Literatur

- APG IV 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. *Botanical Journal of the Linnean Society* 181, 1–20.
- Bader K, Stettner G. 1988. Geophysikalische Untersuchungen des Bayerischen Geologischen Landesamtes im Umfeld der KTB-Bohrung Oberpfalz. KTB-Report 88, 19–28.
- Brauer A, Negendank JFW. 2002. The value of annually laminated lake sediments in Palaeoenvironment reconstruction. *Quaternary International* 88, 1–3.
- Christenhusz MJM, Reveal JL, Farjon A, Gardner MF, Mill RR, Chase, MW. 2010. A new classification and linear sequence of extant gymnosperms. *Phytotaxa* 19, 55–70.
- Christenhusz MJM, Zhang XC, Schneider H. 2011. A linear sequence of extant families and genera of lycophytes and ferns. *Phytotaxa* 19, 7–54.
- Durska E. 2008. A 90 m-thick coal seam in the Lubstów lignite deposit Central Poland. palynological analysis and sedimentary environment. *Geol. Quarterly* 52 3, 281–290.
- Gabriel G. 2003. Lokale gravimetrische Untersuchungen in der Oberpfalz zum Nachweis von Maar-Vorkommen. *Geologica Bavarica* 107, 231–234.
- Grein M, Oehm C, Konrad W, Utescher T, Kunzmann L, Roth-Nebelsick, A. 2013. Atmospheric CO₂ from the late Oligocene to early Miocene based on photosynthesis data and fossil leaf characteristics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 374, 41–51.
- Herrmann M. 2007. Eine palynologische Analyse der Bohrung Enspel – Rekonstruktion der Klima- und Vegetationsgeschichte im Oberoligozän. Dissertation, Univ. Tübingen, 255 p.
- Hochuli PA. 1978. Palynologische Untersuchungen im Oligozän und Untermiozän der Zentralen und Westlichen Paratethys. *Beiträge zur Paläontologie Österreichs* 4, 1–132.
- Hofmann C-C, Egger H, King C. 2015. LM and SEM investigations of pollen from PETM and EECO localities of Austria and Great Britain. new findings of Atherospermataceae, Annonaceae, Araceae and Arecaceae from the Lower Eocene. *Plant Systematics and Evolution* 301, 773–793.
- Hottenrott M. 2003. Zur Altersstellung der tertiären Deckschichten und der Seesedimente im Profil der Forschungsbohrung Baruth 1/98 (Lausitz). *Zeitschrift für geologische Wissenschaft* 31, 353–361.
- Kaiser A, Ashraf R. 1974. Gewinnung und Präparation fossiler Sporen und Pollen sowie anderer Palynomorphae unter besonderer Berücksichtigung der Siebmethode. *Geologisches Jahrbuch A* 25, 85–114.
- Kedves M. 1992. Palynology of the Thanetian Layers of Menat. *Palaeontographica B* 182, 87–150.
- Konzalova M. 1976. Micropaleobotanical (palynological) research of the Lower Miocene of Northern Bohemia. *Rozprawy České Akademie Ved* 86, 1–75.
- Kottik S. 2002. Die Palynologie des Randecker Maars (Miozän, Baden-Württemberg). Diplomarbeit, Universität Wien, 58 p.
- Krutzsch W. 2000. Stratigraphische Tabelle Oberoligozän und Neogen (marin – kontinental). *Berliner geowissenschaftliche Abhandlungen E* 34, 153–165.
- Krutzsch W, Majewski J. 1967. Zur Methodik der pollenstratigraphischen Zonengliederung im Jungtertiär Mitteleuropas. *Abhandlungen aus dem zentralen geologischen Institut, Berlin* 10, 83–98.
- Lenz OK, Wilde V, Riegel W. 2007. Recolonization of a Middle Eocene volcanic site. quantitative palynology of the initial phase of the maar lake of Messel (Germany). *Review of Palaeobotany and Palynology* 145, 217–242.
- Mildenhall DC, Kennedy EM, Lee DE, Kaufuss U, Bannister JM, Fox B, Conran JG. 2014. Palynology of the early Miocene Foulden Maar, Otago, New Zealand. Diversity following destruction. *Review of Palaeobotany and Palynology* 204, 27–42.
- Mohr BAR. 1986. Die Mikroflora der oberpliozänen Tone von Willershausen (Kreis Northeim, Niedersachsen). *Palaeontographica B* 198, 133–156.
- Mosbrugger V, Utescher T, Dilcher DL. 2005. Cenozoic continental climatic evolution of Central Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 102, 14964–14969.
- Negendank JFW, Irion G, Linden J. 1982. Ein eozänes Maar bei Eckfeld nordöstlich Manderscheid (SW-Eifel). *Mainzer geowissenschaftliche Mitteilungen* 11, 157–172.
- Nickel B. 1994. Neue palynologische Untersuchungen am mitteleozänen Ölschiefer von Eckfeld bei Manderscheid/Eifel. Erste Ergebnisse. *Mainzer naturwissenschaftliches Archiv* 32, 7–25.
- Nickel B. 1996. Die mitteleozäne Mikroflora von Eckfeld bei Manderscheid/Eifel. *Mainzer naturwissenschaftliches Archiv, Beiheft* 18, 1–147.
- Rohrmüller J. 2003. Die Forschungsbohrung Bayerhof – die Erkundung eines tertiären Maars im Steinwald, Oberpfalz (NE-Bayern). *Geologica Bavarica* 107, 215–220.
- Rohrmüller J, Horn P. 2003. Ergebnisse der K-Ar-Datierung einer

- basaltischen Tuffbreccie aus der Bohrung Bayerhof und von Basalten des Umfeldes. *Geologica Bavarica* 107, 227–229.
- Sachse M. 2005. A remarkable fossiliferous mass flow deposit in the Eocene Eckfeld Maar (Germany) – Sedimentological, taphonomical, and palaeoecological considerations. *Facies* 51, 183–194.
- Sachse M, Lutz H, Frankenhäuser H. 2002. Grabungskampagne Eckfelder Maar. Jahresbericht 2001 der Mittelrheinischen naturforschenden Gesellschaft 23, 27–31.
- Thiele-Pfeiffer H. 1988. Die miozäne Mikroflora aus dem Mitteleozän von Messel bei Darmstadt. *Palaeontographica B* 211, 1–86.
- Voss H, Mingram J, Negendank JFW. 2000. Comparative time series analyses of laminated sediments from central European maar lakes (Eckfeld + Messel, Eocene; Pula + Gerce, Pliocene). *Terra Nostra* 2000/6; International Maar Conference, Daun/Vulkaneifel, 485–495.
- Wiederhold H. 2003. Hinweise auf mächtige Tertiärablagerungen in den Daten der Integrierten Seismik Oberpfalz 1989 (ISO '89). *Geologica Bavarica* 107, 153–157.
- Wonik T. 2003. Geophysikalische Messungen in der Forschungsbohrung Bayerhof. *Geologica Bavarica* 107, 159–173.
-

