



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

Pollenmorphologische Untersuchungen (LM, REM) an
ausgewählten Familien und Gattungen der Fundstelle
Profen (Eozän), Deutschland

verfasst von / submitted by

Csilla Pados

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2020 / Vienna, 2020

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 382 445

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UF Ungarisch und UF Biologie und
Umweltkunde

Betreut von / Supervisor:

Ao. Univ.-Prof. Mag. Dr. Reinhard Zetter

Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Betreuer Ao. Univ.-Prof. Mag. Dr. Zetter für die Möglichkeit bedanken, dass ich in die Welt der Pollen eintauchen und dieses Thema unter seiner Aufsicht bearbeiten durfte. Danke auch für seine engagierte Arbeit, für seine fachliche Unterstützung, dass er mir seine wertvolle Zeit und Energie geopfert hat. Für seine Hilfsbereitschaft und Geduld, dass er mich nach mehrmaligen Unterbrechungen nicht aufgegeben hat und mich immer wieder neu ermutigte die Arbeit fortzusetzen.

Natürlich möchte ich mich auch bei meinen Eltern und Geschwistern für ihre Unterstützung bedanken. Die Motivation und Energie, die ich während des gesamten Studiums, vor allem aber in den letzten Monaten seitens meiner Freunde und liebsten Menschen erhalten habe, hat sehr viel dazu beigetragen, dass ich die Arbeit abschließen konnte. Der Weg war weder kurz noch leicht, aber umso lehrreicher. Danke für die Geduld, für eure Zeit und für euere Unterstützung.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
1. Einleitung	5
1.1. Herleitung der Forschungsfrage.....	5
1.2. Ziel der Arbeit.....	7
1.3. Aufbau der Arbeit.....	8
2. Eozän.....	9
2.1. Klima im Eozän	9
2.2. Paläogeografie	10
3. Palynologie	12
3.1. Geschichte der Palynologie	13
3.2. Pollenmorphologie	14
3.2.1. Größe.....	14
3.2.2. Form	15
3.2.3. Symmetrie.....	15
3.2.4. Aperturen	17
4. Relevante Pollenfamilien und -gattungen	19
4.1. Adoxaceae – Gattung Viburnum.....	19
4.1.1. Systematik	19
4.1.2. Habitus und Verbreitung.....	19
4.1.3. Pollenmorphologie.....	20
4.1.4. Fossile Belege.....	21
4.2. Cyrillaceae.....	21
4.2.1. Systematik	21
4.2.2. Habitus und Verbreitung.....	21
4.2.3. Pollenmorphologie.....	22
4.2.4. Fossile Belege.....	22
4.3. Eucommiaceae.....	23
4.3.1. Systematik	23
4.3.2. Habitus und Verbreitung.....	23
4.3.3. Pollenmorphologie.....	24
4.3.4. Fossile Belege.....	24
4.4. Hamamelidaceae – Gattung Fortunearia	24

4.4.1.	Systematik	24
4.4.2.	Habitus und Verbreitung.....	25
4.4.3.	Pollenmorphologie.....	25
4.4.4.	Fossile Belege.....	26
4.5.	Juglandaceae	27
4.5.1.	Systematik	27
4.5.2.	Habitus und Verbreitung.....	27
4.5.3.	Pollenmorphologie.....	28
4.5.4.	Fossile Belege.....	29
4.6.	Malvaceae.....	29
4.6.1.	Systematik	29
4.6.2.	Habitus und Verbreitung.....	29
4.6.3.	Pollenmorphologie.....	30
4.6.4.	Fossile Belege.....	31
4.7.	Myricaceae	31
4.7.1.	Systematik	31
4.7.2.	Habitus und Verbreitung.....	31
4.7.3.	Pollenmorphologie.....	32
4.7.4.	Fossile Belege.....	32
4.8.	Rhamnaceae.....	33
4.8.1.	Systematik	33
4.8.2.	Habitus und Verbreitung.....	33
4.8.3.	Pollenmorphologie.....	34
4.8.4.	Fossile Belege.....	34
4.9.	Salicaceae – Gattung Salix.....	35
4.9.1.	Systematik	35
4.9.2.	Habitus und Verbreitung.....	35
4.9.3.	Pollenmorphologie.....	36
4.9.4.	Fossile Belege.....	36
4.10.	Sapindaceae.....	37
4.10.1.	Systematik	37
4.10.2.	Habitus und Verbreitung.....	37
4.10.3.	Pollenmorphologie.....	38
4.10.4.	Fossile Belege.....	38
4.11.	Vitaceae – Gattung Parthenocissus	39
4.11.1.	Systematik	39
4.11.2.	Habitus und Verbreitung.....	39

4.11.3. Pollenmorphologie.....	39
4.11.4. Fossile Belege.....	40
5. Material und Methode.....	41
5.1. Fundstelle Profen.....	41
5.2. Theoretischer Hintergrund	42
5.3. single grain Methode	42
5.4. Lichtmikroskopie & Rasterelektronenmikroskopie	43
5.5. Auswertungsablauf.....	44
6. Terminologie	45
7. Ergebnisse	48
7.1. Adoxaceae (Tafel 1-2)	48
7.2. Cyrillaceae (Tafel 3)	49
7.3. Eucommiaceae (Tafel 4)	49
7.4. Hamamelidaceae (Tafel 5)	50
7.5. Juglandaceae (Tafel 6-8)	50
7.6. Malvaceae (Tafel 9-11)	51
7.7. Myricaceae (Tafel 12).....	52
7.8. Rhamnaceae (Tafel 13)	53
7.9. Salicaceae (Tafel 14).....	53
7.10. Sapindaceae (Tafel 15)	54
7.11. Vitaceae (Tafel 16).....	54
8. Schlussfolgerung	55
9. Literaturverzeichnis	56
9.1. Abbildungsverzeichnis.....	66
9.2. Tabellenverzeichnis.....	67
9.3. Bildquellen	68
Anhang	69
Zusammenfassung	102
Abstract.....	103

1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der morphologischen Analyse von Pollenproben aus Profen in Deutschland, welche aus dem Eozän stammen.

1.1. Herleitung der Forschungsfrage

Da die Evolution und die Distribution von Pflanzen eng mit den herrschenden Umweltbedingungen gekoppelt ist, können aus der Analyse von pflanzlichen Bestandteilen aus einem bestimmten Zeitalter Rückschlüsse auf das vorherrschende Klima, sowie auf Veränderungen der Umwelt in der entsprechenden Zeitspanne gezogen werden. Aus diesem Grund werden Pflanzen häufig als Biothermometer bezeichnet. Da sie sämtlichen klimatischen Bedingungen ihrer direkten Umgebung ausgesetzt sind, gelten sie folglich auch als ausgezeichnete Indikatoren für Veränderungen und können der Rekonstruktion der Verhältnisse dienen (PENNINGTON et al., 2004; WANG et al., 2003).

"Flora und Fauna des Tertiärs gehören zu den kurzlebigsten Erscheinungen auf der Erde (...) und wenn man eine Art als solche betrachtet, so hat vielleicht kaum eine das ganze Tertiär unverändert durchlebt" (THIERGART, 1940). Vor allem in Europa starben viele Taxa in diesem Zeitalter aus, was zumindest zum Teil auf die klimatischen Veränderungen zurückgeführt werden kann (MILNE, 2006). Beispielsweise führte das Paläozän-Eozän Temperaturmaximum zu einem globalen Temperaturanstieg von 5-9 °C innerhalb weniger zehntausend Jahre (ZEEBE et al., 2009). Dies führte zu großräumigen Migrationsbewegungen von Flora und Fauna sowie deren rascher Evolution (MCINERNEY / WING, 2011). Darauf folgte jedoch eine fortschreitende Abkühlung um rund 10 °C, welche vor allem in relativ kurzen Intervallen vor rund 52 und 41 Millionen Jahren stattfand. Diese Entwicklung löste am Beginn des Oligozäns die antarktische Vereisung aus und bedingte bereits während des Eozäns evolutive Veränderungen der Fauna und Flora (IVANY et al., 2008). Letzteres spiegelt sich auch in Funden aus dieser Zeit wider, weswegen sich die vorliegende Arbeit mit der lichtmikroskopischen sowie rasterelektronenmikroskopischen Analyse von Pollen aus dem Eozän beschäftigt.

[illegible]

Die vorliegende Arbeit verfolgt somit die folgende Forschungsfrage:

Welche Pollenfamilien und -gattungen können aus der in Profen/Deutschland gewonnenen Gesteinsprobe, datiert auf das Eozän, identifiziert werden?

Welche Rückschlüsse können aufgrund der gefundenen Pollenfamilien sowie der identifizierten Pollengattungen auf die Flora in dem Gebiet im Eozän geschlossen werden?

Bei der Pollenanalyse von Proben aus dem Tertiär ist allerdings zu beachten, dass laut THIERGART (1940) viele unterschiedliche Pollen aufgrund der mangelhaften Erhaltungsfähigkeit nicht darin enthalten sein können, weswegen der konservierte Anteil lediglich einen Ausschnitt aus der vorhandenen Fauna des Tertiärs abbildet.

1.2. Ziel der Arbeit

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die im Zuge der Probennahme in Profen gesammelten Pollen zu analysieren und aus den daraus gewonnenen Erkenntnissen auf die Flora rückzuschließen. Hierfür wurden aus der Vielzahl an gefundenen lediglich 11 Formen ausgewählt, da in ähnlichen Arbeiten bereits viele der anderen gefundenen Pollentypen beschrieben wurden.

Diese Arbeit zielt somit nicht darauf ab, sämtliche gefundenen Typen aufzuzählen und zu beschreiben, sondern lediglich neu in Proben aus Profen gefundene, noch nicht in anderen Arbeiten genannte Familien und Gattungen, vorzustellen. Folglich hat die Arbeit den Anspruch, die Anzahl der beschriebenen Typen zu erweitern und so die Kenntnis der vorhandenen Flora im Eozän zu vergrößern.

Bei den beschriebenen Pollentypen ist ein Ziel der Arbeit, unter anderem die Größe und Form zu bestimmen, sowie die Verbreitung und die klimatischen Bedingungen mit rezenten Arten zu vergleichen.

Ein Nicht-Ziel der vorliegenden Arbeit ist, auf Basis der Befunde Rückschlüsse auf den damaligen oder gar den heutigen Klimawandel zu treffen, da diese Themen in dem vorgegebenen Umfang nicht in ausreichender Tiefe abgehandelt werden können. Außerdem ist eine nähere taxonomische Einordnung der fossilen Palynomorphe im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich.

1.3. Aufbau der Arbeit

In dieser Arbeit befasst sich der erste Teil mit der Pollenanalyse aus theoretischer Sicht und legt somit die Grundlagen für das Verständnis der Pollenproben dar. Hier wird in Kapitel 2 auf das Eozän, insbesondere in Profen eingegangen. Das Hauptaugenmerk liegt in der Beschreibung des Klimas, der anwesenden Fauna und Flora sowie der Paläogeografie.

In den nachfolgenden Kapiteln 3 und 4 werden die für die vorliegende Arbeit relevanten Pollenfamilien und -gattungen vorgestellt, wobei jeweils auf die Systematik, den Habitus, die Verbreitung, die Pollenmorphologie sowie fossile Belege eingegangen wird.

Im fünften Kapitel werden Material und Methoden dargelegt. Hier liegt der Fokus bei der Aufbereitung der Proben, den Vorteilen der Kombination aus Licht- und Rasterelektronenmikroskopie sowie dem Auswertungsablauf.

Der zweite Teil der Arbeit stellt im Anschluss die Ergebnisse der Analyse der in den Profen gefundenen Pollen dar. Diese wurden unter Lichtmikroskop sowie Rasterelektronenmikroskop beurteilt und entsprechend ihrer Charakteristika ihren Gattungen bzw. Familien zugeordnet.

In der abschließenden Schlussfolgerung werden die Erkenntnisse aus der Pollenanalyse zusammengefasst.

2. Eozän

Das Eozän umfasst eine Zeitspanne des Tertiärs, beginnend vor ungefähr 55,8 Millionen Jahren und endend vor ca. 33,9 Millionen Jahren. Die Bedingungen innerhalb dieser Zeit begünstigten eine teils rasante Evolution einiger Gattungen, während andere in dieser Zeit ausstarben (KAPPAS, 2009).

2.1. Klima im Eozän

Das Klima im Eozän zeichnet sich durch generell hohe Temperaturen im Vergleich zum heutigen Klima aus, was durch den hohen Gehalt an Kohlendioxid in der Atmosphäre erklärt wird. Aus diesem Grund kommt es im Verlauf des Eozäns auch kaum zur Vereisung. Erst gegen Ende des Zeitalters vereisten die Arktis und Antarktis (COXALL et al., 2005; ELDRETT et al., 2004, SALTZMAN, 2002). Die nachfolgende Abbildung zeigt die globalen Mitteltemperaturen des Eozäns im Kontrast zu anderen Zeitaltern:

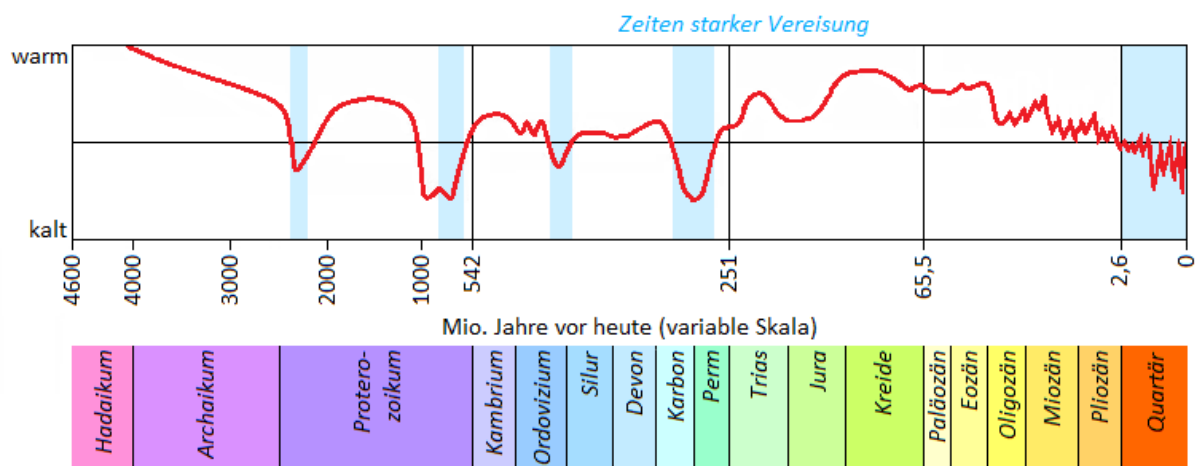


Tabelle 1: Temperaturvergleich der Zeitalter (ZAMG, o.J.)

Wie aus der Abbildung ersichtlich, sind das Eozän und das Paläozän die wärmsten Zeitabschnitte des Känozoikums (SALTZMAN, 2002; ZAMG, o.J.), wobei am Beginn des Eozäns das Paläozän-Eozän Temperaturmaximum für einen Anstieg von 5-9 °C binnen weniger zehntausend Jahre sorgte (ZEEBE et al., 2009). Somit kann auf weiten Teilen der Erde von tropischem Klima gesprochen werden. Dies inkludiert auch das heutige Europa (STEINHEIMER / MAYR, 2017).

Dies führte zu großräumigen Migrationsbewegungen von Flora und Fauna sowie deren rascher Evolution (MCINERNEY / WING, 2011: 502-506). Darauf folgte jedoch eine fortschreitende Abkühlung um rund 10 °C, welche vor allem in relativ kurzen Intervallen vor rund 52 und 41 Millionen Jahren stattfand. Diese Entwicklung löste am Beginn des Oligozäns die antarktische Vereisung aus und bedingte bereits während des Eozäns evolutive Veränderungen der Fauna und Flora (IVANY et al., 2008: 659). Im Verlauf des Eozäns sanken die Temperaturen langsam, jedoch stetig (LENZ et al., 2011), was im Übergang vom Eozän zum Oligozän im sogenannten "Eocene-Oligocene-Turnover" seinen Höhepunkt fand (KVACEK et al., 2014). Durch den Wechsel zu einem deutlich kühleren Klima konnte die Antarktis vereisen (COXALL et al., 2005; ELDRETT et al., 2004; SALTZMAN, 2002), wodurch das Treibhausklima beendet wurde und so, in der sogenannten "Grand Coupure", eines der größten Massensterben von Säugetieren in Europa stattfand. Synchron dazu starben auch viele Pflanzenspezies und andere Tierarten aufgrund des Kälteeinbruchs aus (SUN et al., 2014).

2.2. Paläogeografie

Im Eozän begann sich Australien von der Antarktis abzuspalten, wodurch sich eine Öffnung im Ozean ergeben hat, weshalb sich vor etwa 30 Millionen Jahren die antarktische zirkumpolare Strömung bilden konnte (SALTZMAN, 2002). In weiterer Folge driftete Australien Richtung Äquator, während der Atlantik sich stärker öffnete und Indien mit Eurasien zusammenstieß (TAN et al., 2010).

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Evolution der Kontinente und Ozeane der vergangenen 500 Millionen Jahre.

Late Cambrian ~ 515 Ma



Early Triassic ~ 240 Ma



Middle Ordovician ~ 460 Ma



Late Jurassic ~ 150 Ma



Middle Silurian ~ 425 Ma



Early Cretaceous ~ 100 Ma



Early Carboniferous ~ 360 Ma



Middle Eocene ~ 50 Ma



Late Carboniferous ~ 300 Ma



Present-day



Abbildung 2: Schema der geologischen Entwicklungen (SALTZMAN, 2002)

3. Palynologie

Die Palynologie bezeichnet die Wissenschaft der Pollen und damit ein Teilgebiet der Forschung in der Botanik (FABER, 2017a). Dabei umfasst sie nicht nur Pollen an sich, sondern beschäftigt sich ebenfalls mit allen anderen Arten von Palynomorphe und somit beispielsweise auch mit Sporen, Zysten oder Diatomeen, auch wenn die Pollenkörner selbst eine dominante Rolle in diesem Gebiet einnehmen (HALBRITTER et al., 2018). Nach Hyde und Williams ist die Palynologie "die Wissenschaft von der lebenden und fossilen Sporen- und Pollengeneration der Pflanzen in Grundlagenforschung und Anwendungsbereichen" (KLAUS, 1987).

Der Begriff stammt dabei ebenso von Hyde und Williams, welche 1955 diesen als Kombination des griechischen Verbs "paluno" ("ich streue"), "palunein" ("streuen") oder dem zum gleichen Wortstamm gehörenden Substantiv "pale" ("Staub, feines Essen") und dem ebenfalls griechischen Substantiv "logos" ("Wort, Sprache") definierten. Mit dem griechischen "pale" ist auch das lateinische Wort "pollen" (Staub, feines Mehl) verwandt, welches auch dieselbe Bedeutung teilt (HALBRITTER et al., 2018; TRAVERSE, 2007).

Da jedoch neben Pollen auch weitere Mikrofossilien, zum Beispiel Dinoflagellaten, unter günstigen Bedingungen erhalten bleiben können, entstand in Folge der Begriff "Paleopalynologie". Darunter wird die Wissenschaft der organischen Mikrofossilien verstanden, welche in Mazerationspräparaten aus beispielsweise Sedimentgesteinen enthalten sind (TRAVERSE, 2007). Die eigentliche Pollenanalyse ist ursprünglich die Analyse fossiler Pollenkörner im Zusammenhang geologischer Forschung (FAEGRI / IVERSEN, 1989) und wurde erst im weiteren Verlauf der Paleopalynologie gleichgesetzt (TRAVERSE, 2007). In der heutigen Zeit werden die Begriffe jedoch synonym verwendet und die Arbeitsdefinition basiert auf dem Prinzip "What my net catches is a fish" – solange die Präparationsmethoden die Fossilie nicht zerstören und die Größe entsprechend dem allgemeinen Konsens zwischen 5 und 500 µm liegt (FAEGRI / IVERSEN, 1989).

Die Wichtigkeit der Palynologie innerhalb der Botanik ist begründet mit der zentralen Rolle der Pollen als männlicher Gametophyt in der sexuellen Pflanzenreproduktion. Zusätzlich dazu liefert die Palynologie durch moderne Analysemethoden viele wichtige

Erkenntnisse für unterschiedliche Disziplinen und hilft dort, eine große Bandbreite an Fragen zu beantworten (FABER, 2017b).

3.1. Geschichte der Palynologie

Trotz des relativ neuen Begriffs der Palynologie, ist die Pollenanalyse und die Forschung rund um Pollenkörner nicht als neue Wissenschaft zu bezeichnen. Beginnend mit dem Ende des 17. Jahrhunderts, ungefähr 50 Jahre nachdem das Lichtmikroskop erfunden wurde, wurden Staubbeutel und deren Körner durch Malpighi und Grew untersucht (STRAKA, 1975). Letzterer fand heraus, dass Pollenkörner innerhalb einer Pflanzenart morphologische Ähnlichkeiten aufweisen (KLAUS, 1987). Bereits kurz darauf, im Jahr 1694, erkannte Camerarius die Funktion der Pollenkörner. Ab den 1760er Jahren beschäftigte sich Koelreuter mit der Pollenmorphologie sowie der Systematik von Pflanzen. Selbiger stellte fest, dass die Pollenwand zweischichtig aufgebaut ist. (STRAKA, 1975).

1812 wurde durch Sprengel durch ein Experiment mit Säuren entdeckt, dass die Pollenwand Poren und Falten besitzt, wodurch bereits damals der charakteristische Aufbau postuliert wurde. In den 30er Jahren des 19. Jahrhunderts konnte Fritzsche sowohl die beiden Schichten der Pollenwände als Intine und Exine benennen als auch Sporopollenin als Baustoff letzterer entdecken (STRAKA, 1975). Ebenfalls in diese Zeit fällt die Entdeckung fossiler Pollen in Braunkohle durch Göppert sowie in Kreidesteinen durch Ehrenberg (KLAUS, 1987). Als Engler und Prantl 1895 mithilfe der Morphologie untersuchter Pollen einige Pflanzenfamilien systematisch einordnen konnten, erlangte die Palynologie zumindest einen Teil ihrer heutigen Wichtigkeit innerhalb der Wissenschaften (STRAKA, 1975).

In der heutigen Zeit ist sie nicht nur eine eigenständige, sondern auch eine wichtige Hilfswissenschaft für eine große Menge anderer Naturwissenschaften, beispielsweise der Archäologie und Forensik, der Klima- und Vegetationsforschung, der Geopalyonologie sowie auch der Pharmazie (STRAKA, 1975).

3.2. Pollenmorphologie

Die Bestimmung der Morphologie von Pollenkörnern ist, zusammen mit der von Blüten, eine der wichtigsten Methoden, um eine Pflanze taxonomisch einzuordnen (JACOMET / KREUZ, 1999). Nachfolgend wird somit eine kurze Übersicht über die wichtigsten Strukturen und Charakteristika gegeben, welche auch die Grundlage für die Analyse der Proben in Kapitel 7 bilden.

3.2.1. Größe

Die Pollengröße variiert mitunter stark und kann von rund 5 µm bis ungefähr 200 µm variieren. Gemessen wird diese an der Stelle des größten Durchmessers, wobei vor allem bei älteren Pollen darauf geachtet werden muss, dass sie möglicherweise durch Dehydrierung verfälscht sein kann. Genauso führt die Behandlung mit unterschiedlichen Chemikalien zu einer Dehydrierung und somit zu einem Größenverlust. Entsprechend kann ein Pollenkorn zwischen der Betrachtung im Lichtmikroskop und der Betrachtung im Rasterelektronenmikroskop an Größe verlieren (KLAUS, 1987).

HALBRITTER et al. (2018) teilt Pollen in folgende Kategorien entsprechend ihrer Größen ein:

Größenkategorie	Größe
sehr klein	< 10 µm
klein	10-25 µm
mittelgroß	26-50 µm
groß	51-100 µm
sehr groß	> 100 µm

Tabelle 2: Größenkategorien von Pollen (nach HALBRITTER et al., 2018)

3.2.2. Form

Bei der Pollenform kann prinzipiell zwischen der prolaten, oblaten und sphäroidalen Form unterschieden werden. Sphäroidale Pollenkörner verfügen über eine Polachse, welche in ihrer Länge ident zum Äquatorialdurchmesser ist, und sind somit kugelig. Bei prolaten Pollen ist die Polachse länger, wodurch sie langgezogen wirken, bei oblaten Pollen ist der Durchmesser des Äquators länger, wodurch sie linsenförmig sind (HALBRITTER et al., 2018; HESSE et al., 2009; KLAUS, 1987; SIMPSON, o.J.).

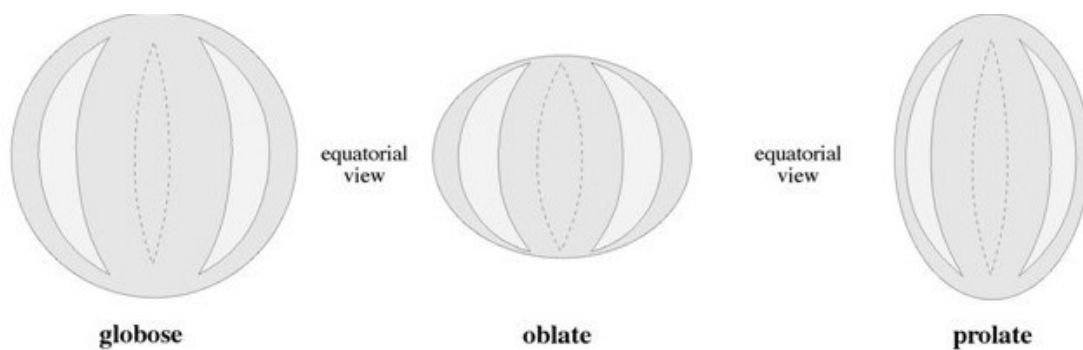


Abbildung 3: Pollenformen von links nach rechts: spheroidal, oblat, prolat (SIMPSON, o.J.)

3.2.3. Symmetrie

Die Ausbreitungseinheiten von Pollen liegen entweder getrennt vor, teilweise oder komplett verbunden. Ersterer Fall ist der häufigste, wobei diese dann als Monade zu bezeichnen ist. Bleibt eine Verbindung bestehen, wird beispielsweise zwischen Dyaden, Tetraden und Polyaden unterschieden, bei Letzteren besteht der Verband aus mehr als vier Einheiten (FABER, 2017b; HALBRITTER et al., 2018; HESSE et al., 2009).

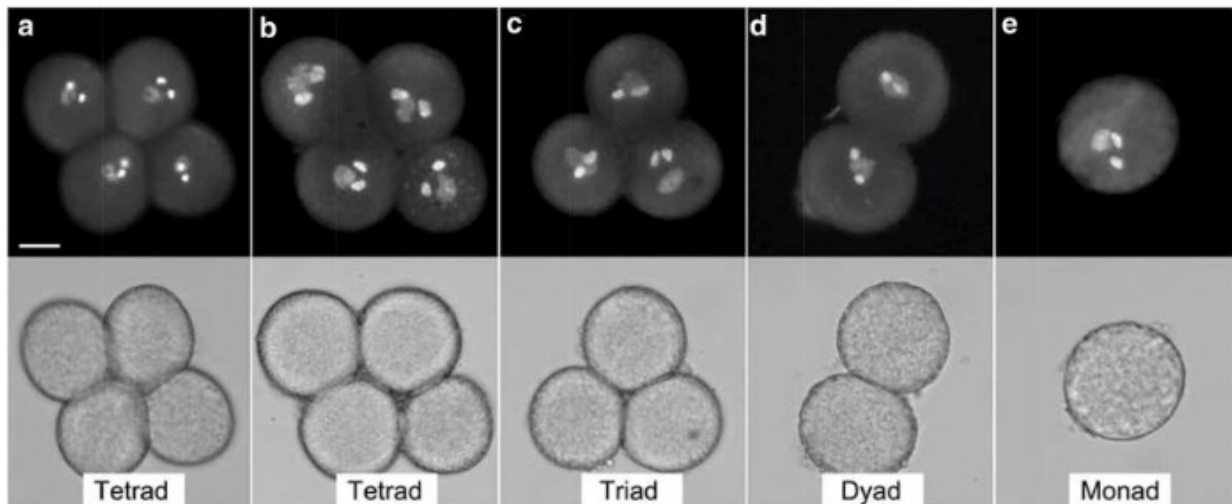


Abbildung 4: Tetraden, Triade, Dyade und Monade (NGUYEN et al., 2019)

Ein weiteres Charakteristikum der Symmetrie ist die Polarität, welche von Pol samt Polachse und dem Äquator eines Pollenkorns bestimmt wird.

Bei Monaden werden die Aperturen als "Hilfslinien" für die Bestimmung der Pole verwendet, da sie sich stets in den Polen treffen. Die Polachse zieht vom proximalen zum distalen Pol, während die Äquatorialebene senkrecht auf die Polachse steht. Bei Tetraden ist hingegen der proximale Pol die Stelle, an welcher die Mikrosporen Kontakt halten und somit das Zentrum des Pollenkorns, die distalen Pole sind gegenüberliegend. Vom proximalen Pol ziehen die Polachsen somit durch jede Mikrospore (FABER, 2017b; HALBRITTER et al., 2018; HESSE et al., 2009; KLAUS, 1987; SIMPSON, o.J.).

Das nachfolgende Schema zeigt die Pole und Achsen bei einer Tetrade:

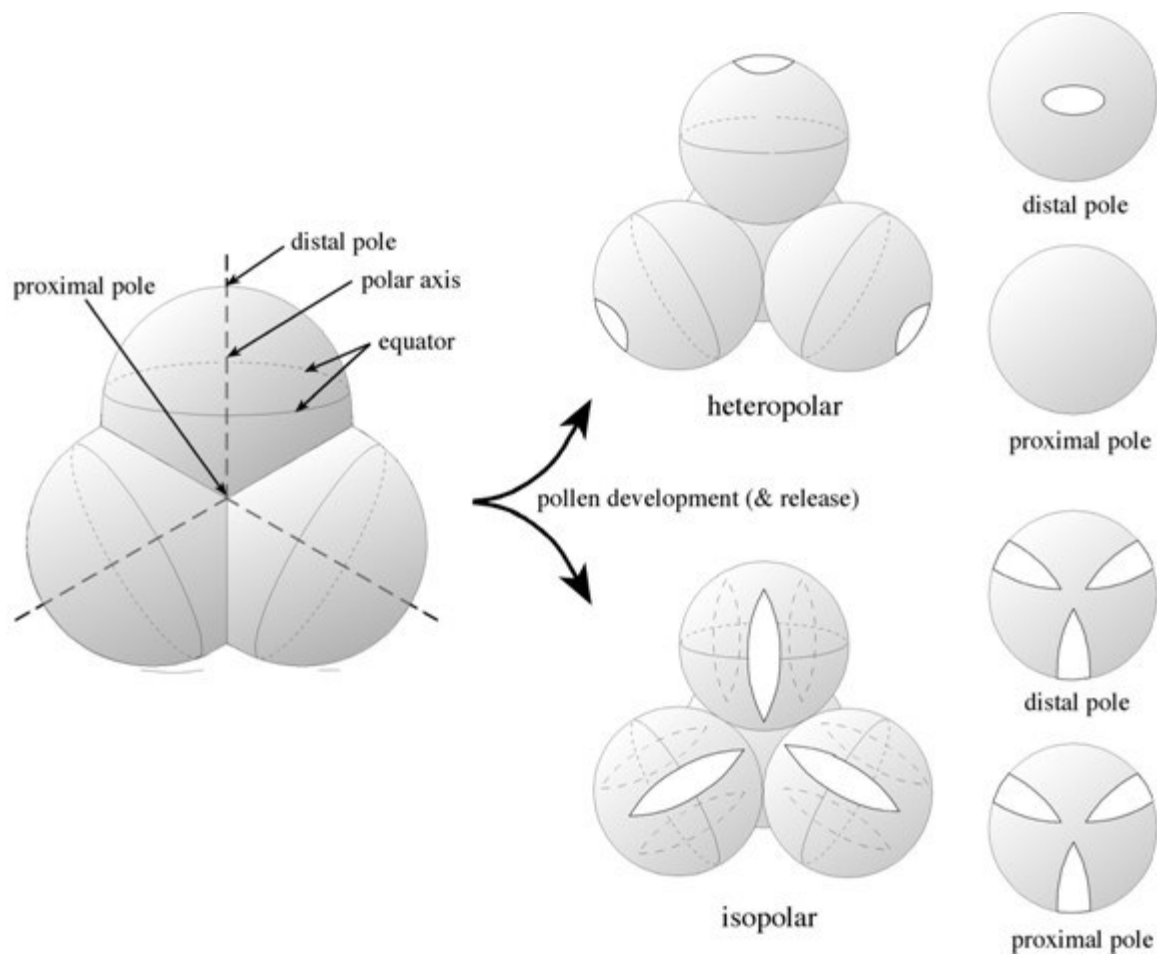


Abbildung 5: Schema der Pole und Achsen einer Tetrade (SIMPSON, o.J.)

Sind die distale und proximale Hälfte ident, wird von einem isopolaren Pollenkorn gesprochen. Ist dies jedoch nicht der Fall, ist das Pollenkorn dementsprechend als heteropolar zu bezeichnen (HALBRITTER et al., 2018; HESSE et al., 2009).

3.2.4. Aperturen

Die Aperturen von Pollen werden nach ihrer Ausrichtung, dem Typus, dem Locus sowie der Anzahl benannt. Fehlen Aperturen gänzlich, wird das Korn als inaperturat bezeichnet. Als "Porus" werden runde Öffnungen bezeichnet, solange sie über das ganze Korn verteilt sind (pantoporat) oder in der Äquatorialebene liegen (porat). Ist eine runde Öffnung hingegen distal angeordnet, wird sie als "Ulcus" bezeichnet. Eine längliche Apertur wird als "Colpus" bezeichnet, sofern sie global oder äquatorial angeordnet sind. Liegt sie jedoch distal, wird sie als "Sulcus" bezeichnet. Oftmals findet sich jedoch "Colpus" und "Sulcus" synonym verwendet. Die jeweilige Anzahl wird als Präfix vor

das Adjektiv gesetzt, beispielsweise ist ein Pollenkorn mit drei Poren "triporat", als "Colporus" wird die Kombination aus Porus und Colpus bezeichnet (HALBRITTER et al., 2018; HESSE et al., 2009; KADEREIT et al., 2014; SIMPSON, o.J.).

Die nachfolgende Abbildung zeigt schematisch die häufigsten mitteleuropäischen Aperturentypen von Samenpflanzen:

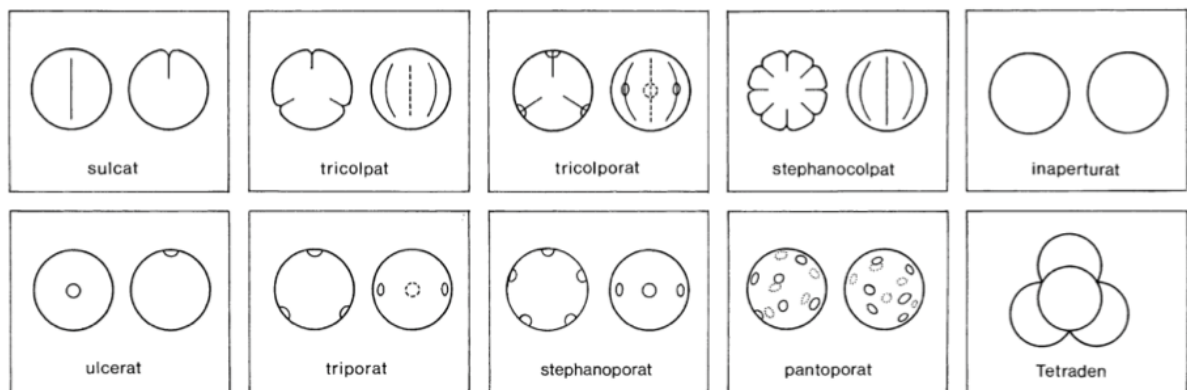


Abbildung 6: Schematische Darstellung häufiger Aperturen (KADEREIT et al., 2014)

4. Relevante Pollenfamilien und -gattungen

Im nachfolgenden Kapitel werden die für die vorliegende Arbeit relevanten Pflanzenfamilien und gegebenenfalls auch Gattungen vorgestellt. Dabei werden Systematik, Habitus, Verbreitung, Pollenmorphologie und fossile Nachweise zusammengefasst dargestellt.

4.1. Adoxaceae – Gattung Viburnum

4.1.1. Systematik

Die Gattung Viburnum, zu Deutsch Schneeball, ist der Familie der Adoxaceae, Mooskruutgewächse, zuzuordnen (EURO+MED Plantbase, 2018; NATURHISTORISCHES MUSEUM WIEN, 2005), sowie der Ordnung der Dipsacales (Kardenartige) (BERRY, o.J.), der Subklasse der Asteridae (Asterähnliche), der Klasse der Magnoliopsida (Bedecktsamer) (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, o.J.a).

Insgesamt werden zwischen 100 und 200 Spezies der Gattung Viburnum zugeordnet (ULLOA / JORGENSEN, o.J.a).

4.1.2. Habitus und Verbreitung

Die Gattung Viburnum besteht aus Sträuchern oder kleinen Bäumen, welche überwiegend sommergrün sind, manchmal jedoch auch immergrün. Die Zweige sind fein behaart oder kahl, die Winterknospen verfügen über Knospenschuppen oder sind nackt. Die Blätter sind einfach, gestielt, besitzen einen gezahnten oder gelappten Blattrand und sind fein behaart oder glatt.

Der Blütenstand ist endständig oder in zusammengesetzten zymösen Gesamtblütenständen, in Form von Rispen oder Trugdolden. Die Blüten sind klein, normal oder manchmal vergrößert, wobei dabei die randständigen Blüten steril sind. Es gibt 5 meist radiärsymmetrisch angeordnete Kelchblätter, die Kronblätter sind glockenförmig oder rad- bis röhrenförmig. Es sind 5 fertile Staubblätter vorhanden, der Fruchtknoten hat lediglich eine fertile Fruchtknotenkommer, der Griffel ist kurz und hat eine schwach dreilappige Narbe.

Die Frucht ist eine einsamige Steinfrucht mit abgeflachtem Stein, welche im reifen Zustand rot, schwarz, in seltenen Fällen auch gelb gefärbt ist (NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY, 1998: 750, 752; ULLOA / JORGENSEN, o.J.a).

Pflanzen der Gattung *Viburnum* sind vor allem in der nördlichen Hemisphäre und den Bergen von Südostasien, Ostasien, Lateinamerika und Südamerika verbreitet (HONG et al. o.J.; JACOBS et al., 2008; ULLOA / JORGENSEN, o.J.a; ZHANG et al., 2016), wie die nachfolgende Abbildung zeigt. Die wichtigsten Diversitätszentren liegen dabei in Ostasien und Lateinamerika (JACOBS et al., 2008; ZHANG et al., 2016).

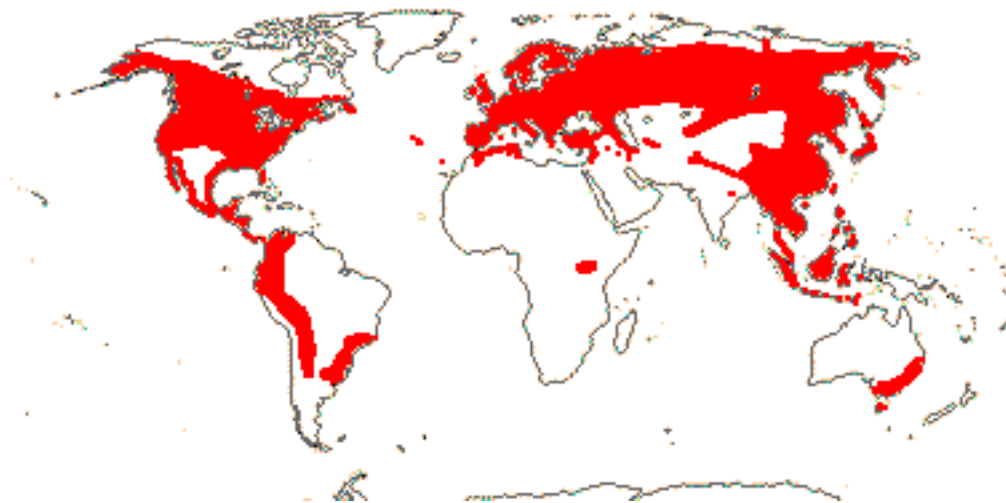


Abbildung 7: Verbreitung der Viburnaceae (STEVENS, 2020)

4.1.3. Pollenmorphologie

Die Pollen der Gattung *Viburnum* sind zu beschreiben als klein bis mittelgroß, sphäroidal, monad, isopolar, colpomat, prolat bei getrockneten Pollen. Im Rasterelektronenmikroskop ist die Oberfläche retikulat mit freistehenden Columellae oder clavate (HALBRITTER, 2016a; HALBRITTER, 2016b; HALBRITTER, 2016c; HALBRITTER, 2016d; HALBRITTER, 2016e; HALBRITTER / SVOJTKA, 2016a).

Pollenkörner der Familie Adoxaceae werden generell beschrieben als tricolpat oder tripomat, manchmal auch tricolporat (WATSON / DALLWITZ, 2000).

4.1.4. Fossile Belege

Die ältesten gefundenen Blattbestandteile stammen aus der Kreide (MAI, 1995). Pollen der Gattung *Viburnum* konnten unter anderem in Braunkohleproben in Herzogenrath gefunden werden (MEULENKAMP, 1966). Auch konnten Kelchreste aus dem nordamerikanischen Tertiär, jedoch besonders aus dem schweizer, deutschen und böhmischen Oligozän und Miozän zu dieser Gattung zugeordnet werden (POTONIÉ, 1921). In einer Zusammenfassung von THIERGART (1937) wird unter anderem *Viburnum* als eine der gefundenen Gattungen, datiert auf das Tertiär, in Niederlausitz angegeben. Außerdem werden von KIRCHHEIMER (1957) Funde in der ehemaligen Tschechoslowakei, datiert auf das obere Oligozän, in Deutschland, datiert auf das obere Miozän, und in den Niederlanden, datiert auf das obere Pliozän, aufgelistet. Auch im Nordwesten Deutschlands wurden Pollen aus dem Pliozän gefunden, in Frankreich wurden Funde auf das mittlere und obere Eozän datiert (MULLER, 1981). Blattfunde aus China werden auf das mittlere Eozän datiert (LENS et al., 2016).

4.2. Cyrillaceae

4.2.1. Systematik

Die Familie der Cyrillaceae gehört der Ordnung der Ericales (Heidekrautartige), der Subklasse der Dilleniidae (Dillenienähnliche), der Klasse der Magnoliopsida (Bedecktsamer) an (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, o.J.b).

Zu den Cyrillaceae werden drei Gattungen und 14 Spezies gerechnet (ULLOA / JORGENSEN, o.J.g).

4.2.2. Habitus und Verbreitung

Cyrillaceae sind immer- oder sommergrüne Sträucher oder kleine Bäume, mit spiralförmig angeordneten einfachen Blättern mit kurzen Blattstielen und glattem Blattrand. Nebenblätter kommen nicht vor. Die Blüten sind klein, in traubigen Blütenständen radiärsymmetrisch organisiert und zwittrig, mit je 5 Kelch- und Kronblättern, 10 Staubblättern und oberständigem Fruchtknoten. Der Griffel ist kurz, die Narbe ist oft dreilappig (HEGNAUER, 1964; STEVENS, 2020; STEVENS / LUTEYN, o.J.).

Die Verbreitung der Cyrillaceae ist lediglich, entsprechend der untenstehenden Abbildung, vom Norden Südamerikas bis in den Südosten der USA.



Abbildung 8: Verbreitung der Cyrillaceae (STEVENS, 2020)

4.2.3. Pollenmorphologie

Die Pollen der Cyrillaceae sind 3-colporat, suboblat bis oblat oder spheroidal, mit einem äquatorialen Durchmesser von 17-27 μm (ERDTMAN, 1986; WATSON / DALLWITZ, 2000).

4.2.4. Fossile Belege

Die ältesten fossilen Belege stammen aus dem Maestrichtium und wurden in Kalifornien gefunden, es gibt jedoch auch Funde im Südosten der USA, welche auf das obere Eozän datiert sind. In Europa wurden in Frankreich die ältesten Funde auf das obere Paleozän datiert, wobei Cyrillaceae im gesamten Tertiär verbreitet waren, beispielsweise sind Funde aus dem Oligozän bis Pliozän in der Türkei, aus dem oberen Miozän in Deutschland und aus dem Miozän in den Niederlanden belegt (MULLER, 1981). Auch in Herzogenrath wurden auf das Tertiär datierte Pollen der Cyrillaceae gefunden und bildeten dort einen der Hauptbestandteile des Pollenfunds (MEULENKAMP, 1966).

4.3. Eucommiaceae

4.3.1. Systematik

Die Familie der Eucommiaceae gehört der Ordnung der Garryales, der Kategorie der Lamiiden und der Klasse der Angiospermae an (EPPO Global Database, 2020a). Bislang wird der Familie eine einzige Spezies zugeordnet (ZHANG / TURLAND, o.J.).

4.3.2. Habitus und Verbreitung

Die Familie der Eucommiaceae setzt sich aus laubabwerfenden, zweihäusigen Bäumen zusammen. Die Knospen sind ovoid. Die Blätter sind wechselständig, spiralförmig angeordnet und gestielt ohne Nebenblätter. Die Blattspreite sind einfach, in der Regel elliptisch, manchmal auch etwas ovat, obovat oder länglich. Sie sind fein geadert, der Blattrand ist dicht gesägt oder gezahnt, die Spitze verengt sich abrupt zu einer scharfen Spitze (HEGNAUER, 1966; ZHANG / TURLAND, o.J.).

Die vegetativen Teile der Pflanze enthalten Latex, aus dem Gummi produziert werden kann (ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, o.J.; ZHANG / TURLAND, o.J.).

Die Blüten besitzen keine Blütenhülle, stehen axillär und sind windbestäubt. Männliche Blüten stehen in kleinen Gruppen zusammen und setzen sich aus fünf bis zwölf bzw. vier bis zehn kurzen Staubblättern zusammen. Die Staubbeutel sind mit der Basis verwachsen. Die weiblichen Blüten stehen einzeln, der oberständige Fruchtknoten wird durch zwei miteinander verwachsene Fruchtblätter gebildet und besitzt eine zweilappige Narbe (HEGNAUER, 1966; ZHANG / TURLAND, o.J.).

Die Früchte werden als Samaras oder Flügelnüsse bezeichnet, sind längselliptisch bis schmal länglich und an der Spitze gespalten. Die Samen sind länglich und flach, die Enden sind abgerundet (ZHANG / TURLAND, o.J.).

Eucommiaceae sind in Zentral- und Ostchina verbreitet und mildes Klima gewöhnt (ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, o.J.), wie die nachfolgende Abbildung verdeutlicht. Die darin grün dargestellten Bereiche zeigen fossile Funde von Eucommiaceae an, während die roten Bereiche die heutige Verbreitung zeigen.



Abbildung 9: Verbreitung der Eucommiaceae (STEVENS, 2020)

4.3.3. Pollenmorphologie

Die Pollen der Eucommiaceae werden als 3-colporat und prolat beschrieben (ERDTMAN, 1986; WATSON / DALLWITZ, 2000).

4.3.4. Fossile Belege

KIRCHHEIMER (1957) zählt für die Eucommiaceae fossile Belege aus dem Pliozän und im Übergang zum Pleistozän in Mitteleuropa, ausschließlich im Pliozän in Japan, aus dem Miozän in der ehemaligen Sowjetunion und im Osten von Nordamerika auf. Hingegen beschreibt MULLER (1981) erste Funde im unteren Paleozän in Mitteleuropa, welche von deutlich häufigeren Belegen für das Eozän begleitet werden. Diese setzen sich ins Miozän und Pliozän fort, beispielsweise auch mit Nachweisen in Deutschland. Aus den zentral gelegenen Bundesstaaten der USA wurden ebenfalls fossile Belege für das untere und mittlere Eozän sowie das Oligozän veröffentlicht.

4.4. Hamamelidaceae – Gattung Fortunearia

4.4.1. Systematik

Die Gattung Fortunearia wird der Familie der Hamamelidaceae (Zaubernussgewächse) zugeordnet (THE PLANT LIST, 2010), der Ordnung Saxifragales (Steinbrechartige), der Kategorie der Eudikotyledonen und der Klasse der Magnoliopsida (Bedecktsamer) (EPPO Global Database, 2020b).

Zu den *Fortunearia* gehört eine einzige Spezies, welche nach ihrer Verbreitung benannt ist: *Fortunearia sinensis* (EPPO Global Database, 2020b).

4.4.2. Habitus und Verbreitung

Fortunaria wächst als Strauch oder Baum und wird typischerweise bis zu 5 m groß. Die jungen Zweige verfügen über graubraune Haare, die älteren Zweige sind kahl. Die einfachen Blätter stehen wechselständig. Die Blattspreite sind obovat oder obovat-länglich und messen 7-14 x 4-10 cm. Die Blattbasis ist stumpf, der Blattrand gezahnt und der Apex läuft zu einer Spitze zusammen. An jeder Seite sind 6 bis 10 Seitenvenen angelegt. Die Blattstiele sind zwischen 4 und 10 mm lang. Die Tragblätter sind lanzettförmig und 1,5-2 mm groß, ihr Stiel ist behaart (SHUAN, o.J.).

Die Blüten sind sehr klein und in endständigen Trauben angeordnet. Ihre Kelchblätter sind lanzettförmig, die Blütenblätter sind schmal lanzettförmig und kürzer als die Kelchblätter. Die Staubbeutel sind auffällig rot und bis zu 1 mm groß (SHUAN, o.J.).

Fortuneariaceae sind in feuchten, warm bis subtropischen Wäldern anzufinden (GREGOR, 1977) und heutzutage nur in China beheimatet (SHUAN, o.J.; ZHANG, 2001). Die nachfolgende Abbildung zeigt die Verbreitung der *Hamamelidaceae*.



Abbildung 10: Verbreitung der *Hamamelidaceae* (STEVENS, 2020)

4.4.3. Pollenmorphologie

Die Pollenmorphologie der *Hamamelidaceae* wird beschrieben als 3-colpat oder 3-colporat, manchmal auch als 4-rupat oder 6-rugat, bis zu 15 Aperturen sind ebenfalls

möglich. Ansonsten sind die Pollenkörner suboblat bis subprolat (ERDTMAN, 1986; WATSON / DALLWITZ, 2000) oder sphäroidal. Im getrockneten Zustand nehmen die Pollen eine prolate Form an. Außerdem sind sie monad, klein bis mittelgroß, isopolar und zeigen im Rasterelektronenmikroskop eine retikulate und/oder homobrochate oder mikroechnate Oberfläche (HALBRITTER, 2016g; HALBRITTER, 2016h; HALBRITTER, 2016i; HALBRITTER, 2016j; HALBRITTER, 2016k; HALBRITTER, 2016l; HALBRITTER / BUCHNER, 2016a).

Pollenkörner der Gattung der Fortunariaceae sind meistens tricolpat, selten pantocolpat oder pantoporat, wobei sich die Poren unregelmäßig in ihrer Kontur, ungleich in ihrer Größe und unscharf begrenzt darstellen. Die Pollenmorphologie variiert in dieser Gattung reichlich (ZHANG, 2001).

4.4.4. Fossile Belege

Die ältesten fossilen Funde von Hamamelidaceae stammen aus dem Paläozän und wurden im Süden Europas und den Rocky Mountains gefunden. Hingegen sind die Funde aus dem Eozän zahlreich und umfassen sowohl Europa als auch beispielsweise Japan (MULLER, 1981). THIERGART (1937) fand einige Pollen der Familie Hamamelidaceae in der Braunkohle in Niederlausitz, datiert auf das Tertiär, und verweist auf weitere Funde, datiert auf das Miozän in Oberlausitz und am Niederrhein sowie datiert auf das Tertiär in Nordböhmen. MULLER (1981) verweist auf weitere Funde aus dem Miozän und Pliozän in Frankreich, aus dem Eozän stammen Pollen aus Sibirien, Frankreich, Südrussland. KIRCHHEIMER (1957) legt ebenfalls einige Funde der Familie der Hamamelidaceae dar, beispielsweise aus dem Pliozän, Oligozän und Eozän in Europa, unter anderem in den Niederlanden und Deutschland.

Nachweise der Gattung *Fortunearia* aus dem Tertiär wurden beispielsweise in Schwandorf, in den Grubenfeldern Rauberweiher und Wackersdorf, gefunden (REGOR, 1977).

4.5. Juglandaceae

4.5.1. Systematik

Die Familie der Juglandaceae (Walnussgewächse) gehört zu der Ordnung der Fagales (Buchenartige), zur Gruppe der Rosiden und zur Klasse der Magnoliopsida (Bedecksamer) (EPPO Global Database, 2020c).

Zu den Jugandaceae gehören neun Gattungen und mindestens 60 Spezies (LU et al., o.J.).

4.5.2. Habitus und Verbreitung

Die Familie der Juglandaceae besteht aus Bäumen, seltener aus Sträuchern, welche sommergrün, semi-immergrün oder immergrün, einhäusig, selten auch zweihäusig sind. Die Knospen sind subsphäroidal oder ovoid bis länglich, nackt oder mit Knospenschuppen. Juglandaceae haben keine Nebenblätter, die Blätter selbst sind wechselständig, seltener auch gegenständig, paarig oder unpaar gefiedert, manchmal können sie dreiblättrig oder in seltenen Fällen auch einfach sein. Die Blattränder sind gesägt oder ganz, die Blätter verfügen über Harzdrüsen mit Drüsenschuppen, welche vor allem an den jungen Blättern und Zweigen auffällig sind (LU et al., o.J.).

Die Blütenstände sind hängend, seltener aufrecht, seitlich oder endständig. Sie sind entweder androgyn mit männlichen seitlichen Blüten und weiblichen zentralen Blüten oder androgyn mit männlichen lateralen Blüten und weiblichen zentralen Blüten an der Spitze. Es gibt jedoch auch rein männliche und rein weibliche Blütenstände (LU et al., o.J.).

Männliche Blüten verfügen ein ganzes oder dreilappiges Tragblatt, Hochblätter sind keine oder bis zu zwei vorhanden, Kelchblätter finden sich bis zu vier Stück, können jedoch auch fehlen. Wenn letztere vorhanden sind, sind sie mit dem Blütenboden verwachsen. Die in der Regel 3-40 jedoch selten bis zu 100 Staubblätter stehen somit auf der Blütenhülle, Staubfäden sind kurz bis kaum vorhanden, der Staubbeutel ist nackt oder behaart (LU et al., o.J.).

Die weiblichen Blüten haben ganze oder dreilappige Deckblätter, meist 2 bis 3 Hochblätter, wobei diese auch fehlen können, und keine bis vier Kelchblätter, die mit dem

unterständigen Fruchtknoten verwachsen sind. Dieser ist in der oberen Hälfte einfach-, jedoch an der Basis zwei- bis vier-, selten achtfächrig. Der Stempel setzt sich aus zwei Fruchtblättern zusammen, ist kurz oder länglich und kann in seltenen Fällen fehlen. Auf dem Stempel befinden sich zwei Narben (LU et al., o.J.).

Die Frucht ist eine steinfruchtartige Nuss, welche von einer Schale umschlossen ist, welche sich öffnet oder geschlossen bleibt. In der Nuss befindet sich ein einzelner Samen ohne Endosperm, der zwei- bis vier-, seltener auch achtfach gelappt ist (LU et al., o.J.).

Juglandaceae sind vor allem in gemäßigten und subtropischen Regionen auf der nördlichen Hemisphäre verbreitet (LU et al., o.J.). Die Familie kommt vor allem in Nordamerika, Europa und Asien vor, wobei das Diversitätszentrum in Südostasien liegt. Manche Arten kommen jedoch auch in Mittelamerika vor (LU, 1982). Die nachfolgende Abbildung stellt die Verbreitung der Familie dar.



Abbildung 11: Verbreitung der Juglandaceae (STEVENS, 2020)

4.5.3. Pollenmorphologie

Pollen der Familie Juglandaceae werden als isopolar oder heteropolar, 3 bis 7-porat, in manchen Fällen auch mit bis zu 16 Aperturen, suboblat bis oblat beschrieben (ERDMAN, 1986; WATSON / DALLWITZ, 2000). Die Pollen sind außerdem monad, mittelgroß und zeigen im Rasterelektronenmikroskop eine perforierte oder microechinate Oberfläche. Bei getrockneten Pollen ist die Form unregelmäßig (HALBRITTER, 2016f; HALBRITTER, 2017).

4.5.4. Fossile Belege

Die fossilen Belege der Juglandaceae zeigen, dass sie bereits seit dem Cenomanium in Europa in vielfältiger Form vertreten waren. Die der Kreide bzw. dem Tertiär zugeordnete Paleopalynomorphe sind mit rezenten Arten aus Amerika und Asien verwandt. Auf das Miozän datierte Funde reichen bis nach Grönland und Alaska, einige Vertreter der Juglandaceae waren in Europa auch noch im Pliozän verbreitet, in Nordamerika zumindest auch noch im Oligozän und Miozän (LU, 1982; POTONIÉ, 1921). THIERGART (1937) fand ebenfalls tertiäre Pollen der Juglandaceae in der Niederlausitz und beschreibt weitere Funde datiert auf das Miozän in der Oberlausitz, auf das Pliozän bei Hanau und in Nordböhmen, datiert auf das Tertiär.

4.6. Malvaceae

4.6.1. Systematik

Die Familie der Malvaceae (Malvengewächse) gehört zu der Ordnung der Malvales (Malvenartige) und innerhalb der Gruppe der Rosiden (Rosenartigen) zu den Malviden (Eurosiden II), in der Klasse der Magnoliopsida (Bedecktsamer) (EPPO GLOBAL DATABASE, 2020d).

Die Familie der Malvaceae besteht aus 88 Gattungen und ungefähr 2300 Spezies (ULLOA / JORGENSEN, o.J.b), andere Autoren listen rund 100 Gattungen und ca. 1000 Spezies (TANG et al., o.J.)

4.6.2. Habitus und Verbreitung

Malvaceae treten als Kräuter und Sträucher, seltener auch als Bäume auf. Häufig verfügen die Vertreter dieser Familie über Sternhaare oder Peltatschuppen. Die Blätter sind wechselständig, gestielt, unterschiedlich gelappt oder glatt und verfügen über handförmige Blattadern (TANG et al., o.J.; ULLOA / JORGENSEN, o.J.b).

Die Blüten stehen einzeln oder seltener in Trugdolden oder Trauben, sind axillär oder subterminal oft in endständigen Trauben oder Rispen organisiert. Sie sind meist auffällig, radiärsymmetrisch und meist bisexuell, selten unisexuell. Häufig ist eine mindestens dreilappige Epicalyx vorhanden und bildet dann eine Hülle um den Kelch. Es sind fünf Kelchblätter vorhanden, welche entweder valvat, frei oder verwachsen sind. Die

fünf Kronblätter stehen frei, sind imbricat oder sind gedreht und an der Basis verwachsen. Die Staubblätter sind meist zahlreich, wobei die Staubfäden oft röhrenförmig verwachsen sind. Der Fruchtknoten, bestehend aus 2 bis 25 Fruchtblättern, ist oberständig. Der Griffel verfügt über eine kopfige oder gelappte Narbe (TANG et al., o.J.; ULLOA / JORGENSEN, o.J.b).

Die Früchte sind schizocarp, die in die einzelnen Merikarprien zerfallen, seltener sind sie im reifen Zustand beerenartig. Die Samen sind häufig nierenförmig, nackt oder behaart, manchmal stark behaart (TANG et al., o.J.; ULLOA / JORGENSEN, o.J.b).

Die Malvaceae sind in den tropischen und gemäßigten Regionen der nördlichen und südlichen Hemisphäre beheimatet (TANG et al., o.J.), wie die nachfolgende Abbildung verdeutlicht.



Abbildung 12: Verbreitung der Malvaceae (STEVENS, 2020)

4.6.3. Pollenmorphologie

Die Pollen der Familie der Malvaceae werden als colporat oder porat mit 3-4 bzw. 5-100 Aperturen beschrieben, wobei bei *Althea* auch mehr als 100 Öffnungen möglich sind (WATSON / DALLWITZ, 2000). Außerdem sind sie monad, klein bis sehr groß, isopolar, sphäroidal, im getrockneten Zustand können sie viele Formen annehmen und sich auch unregelmäßig darstellen. Sie können sich im Rasterelektronenmikroskop echinat, mikroechinat, retikulat, mikroretikulat, homobrochat, granuliert und perforiert, mit oder ohne freistehenden Columellae zeigen (HALBRITTER, 2016m; HALBRITTER, 2019; HALBRITTER / HESSE, 2016; HALBRITTER / WEIS, 2018).

4.6.4. Fossile Belege

Fossile Palynomorphe wurden in Polen und den Niederlanden gefunden und ihr Alter auf das Pliozän geschätzt (KIRCHHEIMER, 1957).

4.7. Myricaceae

4.7.1. Systematik

Die Familie der Myricaceae (Gagelstrauchgewächse) gehört zur Ordnung der Fagales (Buchenartigen), zur Gruppe der Rosiden, darin zu den Fabiden (Eurosiden I) und insgesamt zur Klasse der Magnoliopsida (Bedecktsamer) (EPPO GLOBAL DATABASE, 2020e).

Die Familie der Myricaceae besteht aus 3 Gattungen und rund 50 Spezies (ULLOA / JORGENSEN, o.J.c).

4.7.2. Habitus und Verbreitung

Myricaceae sind immergrüne oder sommergrüne Bäume oder Sträucher, die ein- oder zweihäusig sind. Sie verfügen über harzige Peltatdrüsen und die Blätter sind wechselständig, einfach, gefiedert, ganzrandig bis unregelmäßig gesägt oder gelappt. Bei den meisten Vertretern fehlen die Nebenblätter (LU / BORNSTEIN, o.J.).

Die Blüten sind in Ähren organisiert, meist unisexuell und anemophil, Blütenhüllblätter fehlen. Die männlichen Blüten stehen einzeln über dem Tragblatt, besitzen 2 bis 20 Staubblätter, die Staubfäden sind kurz, frei oder an der Basis verwachsen. Die Staubbeutel stehen aufrecht, sind dithecal, nach außen gerichtet und in Längsrichtung aufgeplatzt. Weibliche Blüten stehen einzeln oder zu zweit bis zu viert über den Tragblättern und normalerweise über zwei bis vier Deckblättern. Der Fruchtknoten besteht aus zwei verwachsenen Fruchtblättern, welche eine einzelne Kammer bilden. Darin befindet sich ein einzelnes, basales, aufrechtes, orthotropes Ovulum (LU / BORNSTEIN, o.J.).

Die Frucht ist eine Steinfrucht oder eine Nuss, verfügt über ein hartes Endokarp und hat häufig kopfförmige, wachsbedeckte Papillen (LU / BORNSTEIN, o.J.).

Die Familie der Myricaceae ist weltweit verbreitet, wobei sie vor allem in gemäßigten und subtropischen Regionen gehäuft vorkommen (LU / BORNSTEIN, o.J.; ULLOA / JORGENSEN, o.J.c).

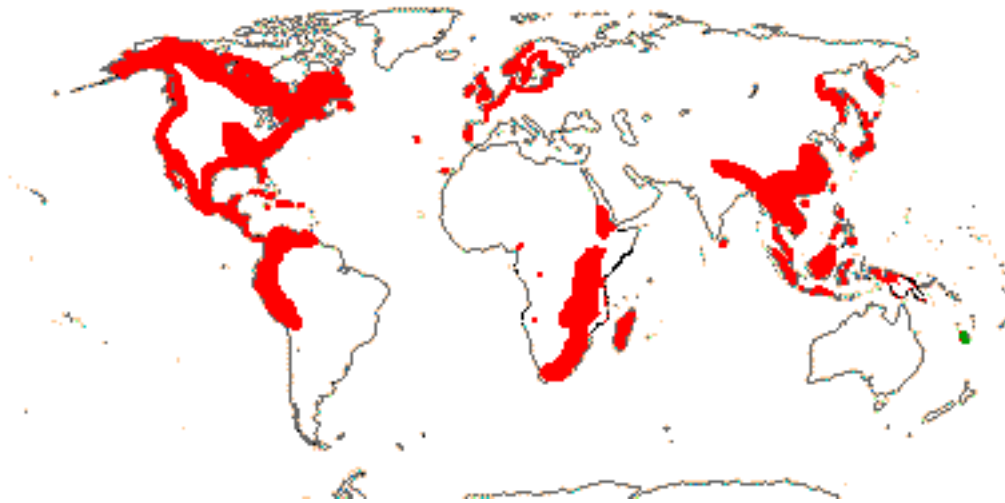


Abbildung 13: Verbreitung der Myricaceae (STEVENS, 2020)

4.7.3. Pollenmorphologie

Die Pollen der Myricaceae sind normalerweise 3-porat, können jedoch auch 2 oder bis zu 6 Aperturen aufweisen. Sie sind oblat bis suboblat oder suboblat bis spheroidal, mit einem Durchmesser von 24-38 μm (ERDTMAN, 1986; WATSON / DALLWITZ, 2000). Des Weiteren sind sie als monad, mittelgroß zu beschreiben. Im Rasterelektronenmikroskop zeigen sie sich mikroechinat (HALBRITTER / BUCHNER, 2016b).

4.7.4. Fossile Belege

Aus der Familie der Myricaceae sind fossile Belege bereits aus der unteren Kreide in Nordamerika, Grönland und Europa bekannt, wobei sie ihre größte Verbreitung vermutlich im Tertiär, während des Unteroligozän bis hin zum mittleren Miozän hatte. Funde aus dieser Zeit stammen aus der gesamten nördlichen Hemisphäre, in Europa werden die Fossilien bis ins Pliozän datiert. Aus dem Tertiär stammen Funde aus Chile sowie der Seymour-Insel (POTONIÉ, 1921). Ebenfalls aus dem Tertiär stammen fossile Palynomorphe aus dem Rheinland, hingegen aus der oberen Kreide stammend wurden Funde in Quedlinburg gemacht (KIRCHHEIMER, 1957). Auch MEULENKAMP (1966) konnte bei den tertiären Pollen aus Herzogenrath eine große Anzahl an Myricaceae feststellen.

4.8. Rhamnaceae

4.8.1. Systematik

Die Familie der Rhamnaceae (Kreuzdorngewächse) gehört zur Ordnung der Rosales (Rosenartige), in der Kategorie der Fabiden (Eurosiden I) und somit zur Gruppe der Rosiden. Folglich gehören die Rhamnaceae zur Klasse der Magnoliopside (Bedecksamer) (EPPO GLOBAL DATABASE, 2020g).

Zu den Rhamnaceae werden 55 Gattungen und rund 900 Spezies gezählt (ULLOA / JORGENSEN, o.J.d).

4.8.2. Habitus und Verbreitung

Rhamnaceae sind sommer- oder immergrüne, häufig dornenbesetzte Bäume, Sträucher, verholzende Lianen, Kletterpflanzen, selten auch Kräuter. Die Blätter sind einfach, gestielt, wechselständig oder gegenständig, haben einen ganzen oder gezähnten Rand und kommen manchmal stark reduziert vor. Die Nebenblätter sind klein und manchmal zu Dornen reduziert (CHEN / SCHIRAREND, o.J.).

Die gelblich bis grünlichen Blüten sind klein, uni- oder bisexuell und fünf-, seltener auch vierzählig und sind axillär, in einer Trugdolde mit oder ohne Stiel angeordnet oder auf ein Büschel reduziert. Der Fruchtknoten kann oberständig oder unterständig sein. Es sind vier oder fünf Kelchblätter vorhanden, welche zu einer schüssel-, halbkugel- bis röhrenförmigen Kelchröhre verwachsen sein können. Die Kelchblätter sind während der Blüte aufrecht oder zurückgebogen und valvat angeordnet bei Knospen. Es sind vier oder fünf Kronblätter vorhanden, welche meist kleiner als die Kelchblätter sind und in seltenen Fällen fehlen. Die vier bis fünf Staubblätter sind gegenüber den Kronblättern angeordnet, die Staubfäden sind dünn und mit der Basis der Kronblätter verwachsen. Die Staubbeutel sind klein, haben einen Längsschlitz und sind dem Pflanzenzentrum zugewandt. Zwischen Stempel und den Staubblättern befindet sich ein dünner bis mehr oder weniger fleischiger, nektarbildender Diskus, der ganz oder gelappt sein kann, nackt oder behaart. Der Fruchtknoten ist unterständig, hat zwischen zwei und vier Kammern, selten nur eine einzige und führt pro Kammer eine oder zwei Samenanlagen. Diese sind anatrop, basal und aufrecht. Der Griffel hat eine einfache oder dreilappige bis dreispaltige Narbe (CHEN / SCHIRAREND, o.J.).

Die Früchte der Rhamnaceae sind entweder Kapsel-, Spalt- oder Steinfrüchte, Beeren oder geflügelte Nussfrüchte. Der Embryo ist groß, ölig, gerade, in seltenen Fällen auch gebogen (CHEN / SCHIRAREND, o.J.).

Die Familie der Rhamnaceae besteht aus 55 Gattungen mit ungefähr 900 Spezies und ist weltweit vertreten (ULLOA / JORGENSEN, o.J.d), wobei die subtropischen und tropischen Gebiete von diesen Pflanzen bevorzugte Habitate darstellen (CHEN / SCHIRAREND, o.J.).



Abbildung 14: Verbreitung der Rhamnaceae (STEVENS, 2020)

4.8.3. Pollenmorphologie

Die Pollen der Rhamnaceae sind üblicherweise tricolporat (WATSON / DALLWITZ, 2000), monad, klein bis mittelgroß, isopolar und sphäroidal, im getrockneten Zustand prolat. Im Rasterelektronenmikroskop ist die Oberfläche rugulat, reticulat, perforat (HALBRITTER, 2016n; HALBRITTER / SVOJTKA, 2016b; HALBRITTER / WEBER, 2016a)

4.8.4. Fossile Belege

Fossile Pflanzenreste der Familie der Rhamnaceae wurden aus der jüngeren Kreide in Nordamerika und aus dem Tertiär sowohl in Europa als auch arktischen Gebieten gefunden. In das Eozän wurden Funde aus Frankreich und England eingeordnet, die Verbreitung scheint jedoch im Oligozän und Miozän größer gewesen zu sein (POTONIÉ, 1921). Auch GREGOR (1977) listet Funde aus der Familie der Rhamnaceae aus dem Tertiär in Bayern.

4.9. Salicaceae – Gattung Salix

4.9.1. Systematik

Salix (Weiden) gehört zur Familie der Salicaceae (Weidengewächse), zur Ordnung der Malpighiales (Malpighienartige), zur Kategorie der Fabiden (Eurosiden I) und der Klasse der Magnoliopsida (Bedecktsamer) (EPPO GLOBAL DATABASE, 2020h).

Zur Gattung Salix werden rund 300 Spezies gezählt (ULLOA / JORGENSEN, o.J.e).

4.9.2. Habitus und Verbreitung

Die Gattung Salix setzt sich aus meist sommergrünen, selten immergrünen Bäumen und Sträuchern zusammen. Die Äste sind rund, Endknospen fehlen meist. Die Blätter sind wechselständig, seltener gegenständig. Die Nebenblätter sind klein und vor allem an kräftigen Zweigen vorhanden. Die Blattstiele sind kurz, die Blattspreite innerhalb der Gattung sehr unterschiedlich geformt, oftmals jedoch lang und schmal (CHAO / GONG, o.J.).

Die Blüten stehen als Kätzchen aufrecht oder ausgebreitet, in seltenen Fällen auch hängend und sind entomophil oder anemophil. Jede Blüte hat eine oder zwei Nektardrüsen, wobei die dorsale nicht immer vorhanden ist, die ventrale hingegen schon. Die männlichen Blüten haben mindestens zwei Staubblätter, die Staubfäden sind manchmal teils oder vollständig miteinander verwachsen und überragen normalerweise die Tragblätter. Die Staubbeutel sind längs geöffnet (CHAO / GONG, o.J.).

Bei der weiblichen Blüte ist der Fruchtknoten stiellos oder gestielt, der Griffel ist groß und schlank, ganz oder zweigeteilt, kann jedoch auch fehlen. Es sind ein bis zwei Narben vorhanden, die ganz oder gelappt sein können (CHAO / GONG, o.J.).

Die Gattung Salix ist weltweit verbreitet (STEVENS, 2020; ULLOA / JORGENSEN, o.J.e), CHAO und GONG (o.J.) geben die Verbreitung vor allem mit kalten und moderaten Regionen der nördlichen Hemisphäre und einigen wenigen Lokalisationen der südlichen Hemisphäre an.



Abbildung 15: Verbreitung der Salicaceae (STEVENS, 2020)

4.9.3. Pollenmorphologie

Die Pollenkörner von *Salix* sind üblicherweise 3-colporat, manchmal auch 2-colporat (ERDTMAN, 1986). Sie sind außerdem monad, klein, sphäroidal, im trockenen Zustand prolat. Die Oberfläche im Rasterelektronenmikroskop ist retikulat und heterobrochat oder verfügt über freistehende Columellae (DIETHART, 2016; HALBRITTER, 2016o).

4.9.4. Fossile Belege

Nachgewiesen konnte die Gattung *Salix* bereits für die untere und die jüngere Kreide in Europa und Nordamerika werden, für das Tertiär wird von einer weit in den Norden reichenden Verbreitung der tropischen Formen ausgegangen (POTONIÉ, 1921). THIERGART (1937) fand ebenfalls Pollen der Gattung *Salix* in der Niederlausitz, datiert auf das Tertiär, und führt weitere Funde im nördlichen Böhmen auf, datiert auf das Tertiär. KIRCHHEIMER (1957) hingegen listet weitere Funde in der Steiermark, datiert auf das mittlere Miozän, in Hessen, aus dem unteren Miozän stammend, und in Baden-Württemberg, datiert auf das obere Miozän.

4.10. Sapindaceae

4.10.1. Systematik

Die Familie der Sapindaceae (Seifenbaumgewächse) gehört zur Ordnung der Sapindales (Seifenbaumartige), zur Kategorie der Malviden (Malvenartige) und der Klasse der Magnoliopsida (Bedecktsamer) (EPPO GLOBAL DATABASE, 2020i).

Zur Familie der Sapindaceae gehören rund 135-140 Gattungen und 1500 Spezies. (ULLOA / JORGENSEN, o.J.f; XIA / GADEK, o.J.).

4.10.2. Habitus und Verbreitung

Sapindaceae bestehen aus Bäumen oder Sträuchern, seltener auch verholzenden Reben oder krautigen Kletterpflanzen. Die Pflanzen sind gewöhnlich behaart, vor allem die jungen Pflanzenteile, Knospen und Blüten haben oft Drüsen ausgebildet. Die Blätter sind wechselständig ohne Nebenblätter, die Blattspreite sind gefiedert oder gefingert, selten einfach. Die Blättchen sind ganz, gezahnt oder gesägt und gegenständig (XIA / GADEK, o.J.).

Die Blüten stehen in terminalen oder axillären Thyrsen, die Tragblätter sind klein. Die Blüten sind unisexuell, seltener bisexuell, radiärsymmetrisch oder zygomorph und meist klein. Bei den Kelchblättern sind meist vier oder fünf, seltener sechs vorhanden, die frei oder an der Basis miteinander verwachsen und imbricat oder valvat angeordnet sind. Die vier bis maximal sechs Kronblätter stehen frei, imbricat und normalerweise genagelt, können jedoch auch fehlen. Die Blüten verfügen über einen auffälligen, fleischigen Diskus, der gelappt oder ringförmig, manchmal auch unterbrochen sein kann, jedoch auch in manchen Spezies fehlt. Die Staubblätter liegen gewöhnlich innerhalb des Diskus. Davon können zwischen 5 und 74, im Regelfall 8 vorhanden sein. Die Staubfäden sind frei, selten verbunden, die Staubbeutel liegen dorsal, ins Blütenzentrum gekehrt und haben eine Längsöffnung. Der Fruchtknoten besteht aus häufig drei verwachsenen Fruchtblättern, der Griffel steht terminal, die Narbe ist ganz oder zwei- bis vierlappig. Die Frucht ist eine Spaltkapsel, Beere, Steinfrucht oder besteht aus zwei bis drei Flügelnüssen (Samara) (XIA / GADEK, o.J.).

Sapindaceae sind vor allem in tropischen und subtropischen Regionen verbreitet (ULLOA / JORGENSEN, o.J.f), vor allem in tropischen Arealen Südostasiens (XIA / GADEK, o.J.).



Abbildung 16: Verbreitung der Sapindaceae (STEVENS, 2020)

4.10.3. Pollenmorphologie

Pollen der Familie Sapindaceae werden mit üblicherweise 3, jedoch manchmal 2 oder 4 Aperturen beschrieben. Dabei sind sie colpiert oder porat (WATSON / DALLWITZ, 2000), monad, mittelgroß, isopolar, sphäroidal und im trockenen Zustand prolat. Im Rasterelektronenmikroskop zeigt sich eine perforierte, striate, rugulate, striato-mikroretikulate Oberfläche (HALBRITTER / BUCHNER, 2016c; HESSE / HALBRITTER, 2016; SAM / WEBER, 2016).

4.10.4. Fossile Belege

Fossile Reste der Familie Sapindaceae wurden bereits häufig gefunden, wobei die ältesten bekannten Funde aus der unteren Kreide in Nordamerika und Portugal stammen. In Böhmen konnten Funde auf die obere Kreide sowie das Tertiär datiert werden, in Grönland und Nordamerika wiederum auf die obere Kreide. Generell gibt es viele auf das Tertiär datierte Funde in Europa, Grönland, Nordamerika, Australien und Chile, sowie auf das Miozän datierte Funde in der Schweiz. Genauso konnte fossile Paly-nomorphe aus dem Süden Englands dem unteren Eozän zugeordnet werden (POTONIÉ, 1921). Datiert auf das untere Pliozän sind Funde in Limburg aus den Niederlanden (KIRCHHEIMER, 1957)

4.11. Vitaceae – Gattung Parthenocissus

4.11.1. Systematik

Die Gattung Parthenocissus (Jungfernreben) gehört der Familie der Vitaceae (Weinrebengewächse) an, welche wiederum zu der Ordnung der Vitales (Weinrebenartige) und der Klasse der Magnoliopsida (Bedecktsamer) gehört (EPPO GLOBAL DATABASE, 2020f).

Es gehören ungefähr 13 Spezies zu den Jungfernreben (CHEN / WEN, o.J.).

4.11.2. Habitus und Verbreitung

Zur Gattung Parthenocissus gehören verholzende, zwittrige Lianen, deren Ranken zwischen drei und zwölf Äste aufweisen. Die jungen Spitzen sind gekrümmt oder erweitert, bei älteren Ranken sind sie zu Haftscheiben oder Saugnäpfen umgewandelt. Die Blätter sind einfach, dreifach gelappt oder fünf- bis siebenfach gefingert (CHEN / WEN, o.J.; STEVENS, 2020).

Die Blüten sind in einer Rispe oder einem traubenförmigen Polychasium angeordnet und pseudoterminal. Die Blüten sind fünfzählig, die ebenfalls fünfzähligen Kelchblätter sind, genauso wie die Kronblätter, frei. Es sind fünf Staubblätter und ein unauffälliger oder gelappter Diskus vorhanden, der Griffel ist hingegen auffällig. Als Früchte werden Beeren mit einem bis vier kugeligen Samen produziert (CHEN / WEN, o.J.; STEVENS, 2020).

Die Verbreitung der Vitaceae ist pantropisch und außerdem in (warm) moderaten Regionen zu finden, wobei sich Parthenocissus in moderatem Klima in Asien und Nordamerika beheimatet ist (CHEN / WEN, o.J.; STEVENS, 2020).

4.11.3. Pollenmorphologie

Die Pollen von Parthenocissus sind monad, mittelgroß, colpata oder colpata, isopolar, sphäroidal und im getrockneten Zustand prolat. Die Oberfläche zeigt sich im Rasterelektronenmikroskop perforiert und/oder retikulat (HALBRITTER, 2016p; HALBRITTER / BUCHNER, 2016d; HALBRITTER / WEBER, 2016b).

4.11.4. Fossile Belege

Es gibt Blattreste aus der nordamerikanischen Kreide, welche der Familie der Vitaceae zugeordnet werden. Die Einteilung wird jedoch angezweifelt. Sicher jedoch sind Funde selbiger Familie, datiert auf das Eozän, aus Südfrankreich, sowie fossile Palynomorphe, datiert auf das Oligozän bis Pliozän, aus Nordamerika, Grönland, Island, Europa sowie aus dem Osten Asiens (POTONIÉ, 1921). GREGOR (1977) konnte in tertiären Proben aus Schwandorf ebenfalls Vertreter der Vitaceae identifizieren.

Fossile Belege von *Parthenocissus* gehen auf das mittlere Eozän zurück, wobei auch dieser Fund angezweifelt wird (NIE et al., 2010).

5. Material und Methode

In dem folgenden Kapitel liegt der Fokus auf den nachfolgend analysierten Proben, deren Aufbereitung sowie den Analysemethoden, in diesem Fall der morphologischen Analyse mithilfe von Licht- und Rasterelektronenmikroskopie.

5.1. Fundstelle Profen

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, wurden die Proben in Profen in Deutschland genommen. Der Tagebau befindet sich in Sachsen-Anhalt und besteht aus den Abbaufeldern Dornsen, Schwerzau und Profen Süd. Das Alter der dort abgebauten Braunkohle wird auf 45 bis 20 Millionen Jahre datiert, wobei maximal 8 Millionen Tonnen pro Jahr gefördert werden. Das dort vorhandene Kohleflöz ist das Böhlener Oberflöz, das Thüringer Hauptflöz und das Sächsisch-Thüringische Unterflöz. (MIBRAG, 2019). Das Alter der dort abgebauten Braunkohle kann folglich dem Mittel- und Obereozän, dem gesamten Oligozän bis hin zum frühen Miozän zugeordnet werden.

Die Formation in Profen kann in Merseburg-Schichten und Wallendorf-Schichten unterteilt werden. Erstere umfassen die Sedimente zwischen dem prätertiären Untergrund und dem Unterflözkomplex, während letztere den Unterflözkomplex/Flöz 1/Flöz Wallendorf/Sächsisch-Thüringisches Unterflöz/Flöz Laußig sowie sämtliche Begleitsedimente beinhalten (STANDKE et al., 2010). Die Formation ist großen Schwankungen in ihrer Mächtigkeit unterworfen: "Die Mächtigkeit der Ablagerungen wird stark durch das prätertiäre Relief geprägt, sodass Schwankungen vom Auskeilen der Abfolge an prätertiären Hochlagen bis zu ca. 120 m Mächtigkeit in Subrosionssenken vorliegen" (STANDKE et al., 2010).

Die Merseburg-Schichten werden in drei Zyklen unterteilt, welche sich aus abwechselnd Arten von Kies, Sand und mit Schluff vermengten Tonen zusammensetzen. Fossile Pflanzenüberreste konnten bereits im mittleren Komplex aus Ton und Schluff gefunden werden. Die Merseburg-Schichten werden in die SP-Zone 15 oder 16 eingestuft (STANDKE et al., 2010).

Beim Unterflözkomplex der Wallendorf-Schichten wird ebenfalls von mehreren Zyklen ausgegangen, da darin eine ungleich alte Ober- und eine Unterbank unterschieden

werden können, getrennt durch niveauunbeständige Zwischenmittel. Die darin gefundenen fossilen Pflanzenüberreste deuten auf subtropisch bis warmes, humides Klima hin. Bei den Wallendorf-Schichten erfolgt eine inzwischen zweifelsfreie Einstufung in die SP-Zone 17 (STANDKE et al., 2010).

Die klimatischen Bedingungen in Profen im Mittel- und Obereozän werden als perhumid, subtropisch bis warmtemperat mit feuchtem bis nassem, eutrophem bis mesotrophem Boden beschrieben (MAI, 1995).

5.2. Theoretischer Hintergrund

Die Pollenwand, oder Sporoderm, ist in zwei unterschiedliche Schichten getrennt. Im Inneren befindet sich die Intine, die äußere Schicht wird als Exine bezeichnet. Erstere setzt sich zusammen aus Zellulose und Pektin und bildet damit eine dünne jedoch lückenlose Hülle, mit wenig Beständigkeit gegen Chemikalien. Die Intine kann bei fossilen Pollenkörnern nicht mehr aufgefunden werden, da sie durch die große Zeitspanne und den Sauerstoffabschluss während der Fossilisation zerstört wird. Dies gilt auch für unterschiedliche Präparationsmethoden (STRAKA, 1975).

Die Exine hingegen spielen in der Palynologie eine sehr wichtige Rolle, da sie aus dem Polymer Sporopollenin bestehen, welches die Wände der Sporen und Pollen mit großer Widerstandsfähigkeit ausstattet. Aus diesem Grund können sie über mehrere Millionen Jahre gut erhalten bleiben, sie werden in Sedimentgestein gefunden. Nach fachkompetenter Aufbereitung dienen die gefundenen Sporen und Pollen zur Informationsgewinnung, beispielsweise für die Paläopalynologie sowie die Palöoklimatologie (HALBRITTER et al., 2018).

5.3. single grain Methode

Da die erhaltenen Proben mittels der "single grain technique" untersucht werden sollten, welche entwickelt wurde, um die Charakteristika der einzelnen Pollen mittels Licht- und Rasterelektronenmikroskopie zu beschreiben (HALBRITTER et al., 2018), wurden folgende Vorbereitungsschritte durchgeführt:

Zuerst wurde die Außenseite der Proben gesäubert, um Kontaminationen mit heutigen Pollen zu vermeiden. Im Anschluss werden die Proben im Mörser zermahlen und in

Flusssäure gekocht, um vorhandene Silikate zu entfernen. Die Lösung wird im Anschluss mit 3-4 l Wasser vermengt und stehengelassen, bis sich die Feststoffe abgesetzt haben. Dann wird die Flüssigkeit dekantiert, der Rückstand 5 Minuten in konzentrierter Salzsäure gekocht, um zu verhindern, dass sich Calciumfluorid bildet. Auch diese Flüssigkeit wird im Anschluss dekantiert, die Proben mit destilliertem Wasser gewaschen und 3-4 Mal zentrifugiert, bevor sie einer Acetylase unterzogen werden. Die Proben werden im Reagenzglas mit 1,5 cm Eisessig vermengt, gefolgt von 3 cm frisch zubereiteter Natriumchlorat-Lösung. Abschließend werden 3-4 Tropfen konzentrierte Salzsäure beigegeben und die Mischung 3 Minuten in ein kochendes Wasserbad gestellt (FERGUSON et al., 2007).

Anschließend werden die Proben 20 s lang bei 2000 U/min zentrifugiert, die Flüssigkeit dekantiert und der Rest mindestens drei Mal gewaschen, um die Chemikalien restlos zu entfernen. Um dann auch das Wasser zu entfernen, werden die Proben mit Essigsäure oder Essigsäureanhydrid gewaschen. Danach wird eine Mischung aus neun Teilen Essigsäureanhydrid und einem Teil konzentrierter Schwefelsäure zur Probe gegeben und das Reagenzglas für 3-4 Minuten in ein warmes Wasserbad gestellt. Im Anschluss wird die Mischung abermals zentrifugiert und dekantiert. Die Probe wird dann ein Mal mit Essigsäure und mindestens drei Mal mit Wasser gewaschen. Falls notwendig, kann an dieser Stelle die organische von der anorganischen Fraktion mittels Zinkbromidlösung getrennt werden. Der organische Rückstand wird in einem letzten Schritt mit Glycerin versetzt, um eine Suspension zu bilden (FERGUSON et al., 2007).

5.4. Lichtmikroskopie & Rasterelektronenmikroskopie

Die zu analysierende fossile Palynomorphe wurde sowohl unter Lichtmikroskopie (LM) als auch unter Rasterelektronenmikroskopie (REM) untersucht.

Die Stärke der Kombination aus lichtmikroskopischen und rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen liegt in der Differenzierung kleiner Pollen, welche ohne die Rasterelektronenmikroskopie als unbestimmt eingestuft werden müssten. Auch bereits ausgestorbene Genera können damit von aktuell verbreiteten unterschieden werden (BOUCHAL et al., 2016), abgesehen davon ist die moderne Taxonomie längst von der Auflösung der Rasterelektronenmikroskopie abhängig (BOUCHAL et al., 2016; FER-

GUSON et al., 2007). Trotzdem kann die Lichtmikroskopie dadurch nicht ersetzt werden, da durch sie wichtige Informationen zur Endoapertur gewonnen werden können, welche im Rasterelektronenmikroskop nicht feststellbar sind. Letztere kann jedoch Aufschluss über die Pollenstruktur geben, welche unter dem Lichtmikroskop aufgrund der geringeren Auflösung nicht sichtbar sind (HALBRITTER et al., 2018).

Somit kann die Kombination beider mikroskopischer Verfahren zusammen mit der Verwendung der "single grain technique" als derzeitiger Goldstandard für die Untersuchung fossiler Palynomorphe bezeichnet werden, da durch dieses Vorgehen eine detaillierte und exakte systematische Identifizierung der Palynomorphe erreicht werden kann (BOUCHAL et al., 2016; FERGUSON et al., 2007).

5.5. Auswertungsablauf

Für die palynologische Untersuchung wurden Tropfen aus den bereits vorab aufbereiteten Probenröhrchen auf die Objektträger für das Lichtmikroskop übertragen. Die einzelnen Körner wurden unter Verwendung einer speziellen Präpariernadel aufgenommen, welche mit einem kurzen menschlichen Haar am Ende ausgestattet ist. Mit Hilfe dieser Nadel wurden die einzelnen Pollen aufgenommen und auf Objektträger mit sauberem Glycerin übertragen, um sie im Lichtmikroskop zu studieren und fotografisch zu dokumentieren. Hierfür wurde kein Deckblatt auf den Objektträger gelegt, damit die Pollenkörner bewegt werden konnten. Dies ermöglichte, einzelne Körner aus verschiedenen Blickwinkeln zu fotografieren.

Die gleichen Körner wurden dann auf ein Aluminium-REM-Tischchen übertragen und mit einem Tropfen Ethanol Absolut (99,9%) gewaschen, um alle Rückstände vom Glycerin auf der Pollenkornoberfläche zu entfernen. Die Pollenkörner auf den Tischchen wurden unter Einsatz eines Sputtergerätes (BIORAD) mit einer Goldschicht überzogen und im Anschluss mit dem Rasterelektronenmikroskop untersucht sowie ebenfalls fotografiert.

Abschließend erfolgte die Bearbeitung der Aufnahmen mit Hilfe des Bildbearbeitungsprogramms GIMP 2.8.

6. Terminologie

Die Fachbegriffe zur Pollenmorphologie in dieser Arbeit stützen sich vorwiegend auf die Terminologie von HALBRITTER et al. (2018). In diesem kurzen Glossar werden die verwendeten Begriffe alphabetisch geordnet und erklärt.

Angulaperturat: Pollenkorn mit einem eckigen Umriss in Polansicht, bei dem die Keimöffnungen an den Winkeln angeordnet sind.

Apertur: Bereich der Pollenwand, der sich morphologisch und/oder anatomisch signifikant vom Rest der Pollenwand unterscheidet und fungiert normalerweise als Keimstelle bzw. Austrittsbereich für den Pollenschlauch.

Apicalfeld: Polar gelegenes Feld bei syncolpaten Pollenkorn, in das die Colpi einmünden.

Brevi-: Präfix für kurz

Clava (pl. Clavae): Keulenförmiges Skulpturelement.

Colporus (pl. Colpori): Zusammengesetzte Apertur bestehend aus einem Colpus (Ektoapertur) kombiniert mit einer Porus (Endoapertur) von variabler Größe und Form.

Colpus (pl. Colpi): Längliche Apertur (Verhältnis Länge/Breite > 2) am Äquator oder über Pollenkorn verteilt.

Columella (pl. Columellae): Stabförmiges Exinelement, welches das Tectum trägt.

Costa (pl. Costae): Verdickung der Nexine angrenzend an einer Endoapertur.

Echinus (pl. Echini): Spitzes Skulpturelement, welches länger und/oder breiter als 1 µm ist.

Ectoapertur: Äußerer Teil einer zusammengesetzten Apertur.

Endoapertur: Innerer Teil einer zusammengesetzten Apertur.

Eutectat: Pollenkorn mit überwiegend kontinuierlichem Tectum.

Exine: Äußere Schicht der Pollenwand und in der Regel resistent gegen Acetolyse.

Fossula (pl. Fossulae): Unregelmäßig geformte Risse, Spalten der Pollenwand.

Fossulat: Pollenwand mit Fossulae.

Foveola (pl. Foveolae): Rundliches Lumen mit mehr als 1 µm Durchmesser, wobei der Abstand zwischen zwei benachbarten Lumina größer ist als deren Durchmesser.

Foveolat: Pollenwand mit Foveolae.

Free-standing Columellae: Freistehende Columellae, die nicht von einem Tectum bedeckt sind.

Gemma (pl. Gemmae): Kugelförmiges Skulpturelement.

Heterobrochat: Lumina unterschiedlicher Größe bei retikulären Pollen.

Isopolar: Pollenkorn mit identischen proximalen und distalen Flächen.

Lobat: Umriss in Polaransicht eines Pollenkorns mit gewölbten interaperturalen Bereichen (hauptsächlich bei trockenen Pollenkörnern).

Lumen (pl. Lumina): Zwischenraum von Muri in retikulären Pollenkörnern.

Margo (pl. Margines): Bereich des Exines mit abweichender Ornamentation, die an einen Colpus / Colporus / Sulcus grenzen.

Mesocolpium (pl. Mesocolpia): Bereich zwischen den Aperturen (interapertural).

Micro-: Präfix für Strukturen, die kleiner als 1 µm sind.

Monade: Verbreitungseinheit, bestehend aus einem einzigen Pollenkorn.

Murus (pl. Muri): Exinelemente, die das Netz des Reticulums bilden.

Nexine: Bezeichnung für die Lichtmikroskopie, die die innere, unstrukturierte Schicht des Exins beschreibt.

Oblat: Pollenkorn mit einer Polachse, die kürzer als der äquatoriale Durchmesser ist.

Ornamentation: Pollenmorphologische Oberflächenmerkmale.

Perforat: Pollenwand mit Löchern von weniger als 1 µm Durchmesser.

Planaperturat: Pollenkorn mit eckigem Umriss, wobei die Keimstellen zwischen den Winkeln liegen.

Pollen: Männlicher Gametophyt von Samenpflanzen; Quelle und Träger für die männlichen Gameten (Spermatozoiden oder Samenzellen).

Porus (pl. Pori): Mehr oder weniger runde Keimstelle, am Äquator oder regelmäßig über das Pollenkorn verteilt.

Prolat: Pollenkorn mit einer Polachse, die länger als der äquatoriale Durchmesser ist.

Psilat: Pollenwand mit einer glatten Oberfläche.

Ptychotrem: Einstülpung der Keimöffnungen in Polansicht (siehe Lobat).

Reticulat: Pollenwand mit Reticulum.

Reticulum: Netzwerkartiges Muster, bestehend aus Muri und Lumina.

Scabrat: Winzige Skulpturelemente von undefinierter Form und einer Größe nahe der Auflösungsgrenze des Lichtmikroskops.

Semitectat: Pollenkorn mit diskontinuierlichem Tectum.

Sexine: Äußere Schicht der Exine; im LM sichtbar.

Skulpturelemente: Strukturelemente auf der Pollenkornoberfläche.

Sphäroidal: Form von Pollenkörnern; Polachse und äquatorialer Durchmesser sind ungefähr gleich lang.

Tectat: Pollenwand mit einem Tectum.

Tectum: Äußere, mehr oder weniger kontinuierliche Ektexinschicht.

Tri-: Präfix für drei.

Triangular: Dreieckiger Umriss.

Trunkat: Abgestumpft.

Verruca (pl. Verrucae): Warzenähnliches Skulpturelement, das breiter als hoch ist.

Verrucat: Pollenwand mit Verrucae.

7. Ergebnisse

7.1. Adoxaceae (Tafel 1-2)

Viburnum spec. indet_1 (Tafel 1)

Abbildungen A-F: Pollen; Monade; prolate Form; in Äquatorialansicht elliptisch (A-C); Pollengröße mittelgroß, Äquatorialdurchmesser 21-23 µm, Länge der Polachse 29-32 µm; im LM tricolporat, mit Colpuslänge 18-20 µm (C); semitectat, Sexine 2-3 µm dick, im LM reticulat (A-B), im REM heterobrochat-reticulat (C-F); Lumen dicht mit free-standing Columellae besetzt, 1-1,5 µm hoch; Muri 0,6-0,8 µm dick und hoch, auf ca. 2 µm langen Columellae sitzend; Lumen um Aperturen enger, kleiner bis tectat-perforat (D).

Viburnum spec. indet_2 (Tafel 2)

Abbildung A-D: Pollen; Monade; prolate Form; in Äquatorialansicht elliptisch (A-B); Pollengröße mittelgroß, Äquatorialdurchmesser 21-23 µm, Länge der Polachse 29-32 µm; im LM tricolporat, mit Colpuslänge 22-25 µm (B); semitectat, Sexine 3-4,5 µm dick, im LM reticulat, im REM heterobrochat-reticulat (B-D); Lumen dicht mit free-standing Columellae besetzt (C); Muri 0,4-0,6 µm dick und 1-1,5 hoch, auf teilweise verwachsenen Columellae sitzend (C); Lumen zu den Aperturen hin fossulat bis perforat (D).

Bemerkung: Der Unterschied zwischen *Viburnum* spec. indet_1 und *Viburnum* spec. indet_2 besteht in der Besetzung des Lumens, in der Größe und Dicke der Muri bzw. es gibt Abweichungen zwischen den Aperturenmembranen (Costae) der beiden Pollenkörner. Im Vergleich mit rezenten Vertretern kann man folgendes feststellen: Das Vorhandensein eines heterobrochaten Reticulums, welches auf einzelnen, aber dicht nebeneinanderstehenden Columellae sitzen, ist charakteristisch für die Familie. In den meisten Fällen ist das Lumen des Reticulums mit free-standing Columellae gefüllt. Die untersuchten Pollenkörner zeigen Ähnlichkeit mit dem rezenten Art *Viburnum tinus* (PalDat).

7.2. Cyrillaceae (Tafel 3)

Cyrillaceae gen. et spec. indet.

Abbildung A-E: Pollen; Monade; sphäroidale Form; in Polansicht zirkulär (A,C), in Äquatorialansicht elliptisch (lemon-shaped, B); Pollengröße klein, Durchmesser 22-24 μm ; tricolporat; Exin (micro-)verrucat-rugulat, perforat (E); Colpi deutlich zu den Polen hin lang und spitz zulaufend; Sexine zur Keimstelle hin mit größeren, verdickten und unregelmäßig geformten Warzen.

Bemerkung: Die rezenten Cyrillaceae sind eine kleine Familie mit drei Gattungen (Cyrilla, Cliftonia und Purdiaea) und etwa 13 Arten. Purdiaea sind durch mehrere Merkmale von denen von Cyrilla und Cliftonia zu unterscheiden, während Cyrilla von Cliftonia pollenmorphologisch im LM nicht voneinander zu unterscheiden sind. Beide Gattungen haben 3- oder 4-colporate Pollenkörner und weite, longitudinale Schlitze (ZHANG, 2002). Eine nähere Zuordnung des untersuchten Pollenkorns trotz REM-Aufnahmen ist aufgrund mangelnden Vergleichsmaterials nicht möglich.

7.3. Eucommiaceae (Tafel 4)

Eucommia spec. indet.

Abbildung A-E: Pollen; Monade; isopolar; prolate Form; in Polansicht triangular-lobat (A), in Äquatorialansicht elliptisch (B-C); Pollengröße klein bis mittelgroß, Äquatorialdurchmesser 19-22 μm , Länge der Polachse 23-26 μm ; tricolporat; Exinoberfläche im LM eutectat, psilat bis scabrat (A,B), im REM micro-echinat, perforat, fossulat; in Gruben sitzende Micro-Echini unregelmäßig verteilt (C-E); Richtung Polbereich Anzahl der Micro-Echini steigend (D); Aperturen eingesunken mit 15-17 μm Colpuslänge und abgerundeten Colpusenden (C).

Bemerkung: Eucommia ulmoides Oliv., die einzige noch vorhandene Art der Gattung Eucommia, ist in China verbreitet. Ein Vergleich mit einem Pollenkorn aus dem späten Oligozän/frühen Miozän, gefunden in Altmittwedien (Deutschland), mit dem hier untersuchten Pollenkorn, zeigt morphologisch betrachtet kaum Unterschiede. Im REM werden aber Abweichungen sichtbar. Diese sind in der Pollenkorngröße und in der

Oberflächenskulptur zu finden. Der Pollen aus Altmittwedia ist kleiner (Äquatorialdurchmesser 9-13 μm im REM) und zeigt ein psilates Tectum mit Perforationen und Micro-Echini, die in Gruben sitzen. Der in dieser Arbeit untersuchte Pollen ist etwas größer, besitzt eine micro-perforate-fossulate Oberfläche und ist verstärkt mit in Gruben sitzenden Micro-Echini besetzt.

7.4. Hamamelidaceae (Tafel 5)

Fortuneria spec. indet.

Abbildung A-F: Pollen; Monade; sphäroidale-prolate Form; in Polansicht $\pm$ zirkular, ptychotrem (A), in Äquatorialansicht elliptisch (B); Pollengröße klein, Äquatorialdurchmesser 16-22 μm , Länge der Polachse 21-27 μm ; tricolpat; im REM Oberfläche heterobrochat-reticulat (C), zu Margo hin verdichtet (F), Muri 0,5 μm dick, flach mit Micro-Echini in Doppelreihen (E), Columellae gut sichtbar, die das Reticulum tragen (D); Lumen psilat; Colpuslänge 14-16 μm .

Bemerkung: Die Hamamelidaceae kommen in den gemäßigten und subtropischen Gebieten auf beiden Hemisphären der Erde vor. Die meisten Unterfamilien sind in China zu finden. Die Ähnlichkeit und mögliche Verwandtschaft der Hamamelidaceae mit Salicaceae war bisher öfters Thema von Diskussionen (ZAVADA / DILCHER, 1986).

7.5. Juglandaceae (Tafel 6-8)

Juglandaceae gen. et spec. indet_1 (Tafel 6)

Abbildung A-C: Pollen; Monade; oblate Form; in Polansicht triangular bis zirkular mit konvexen Seiten (A, B); Pollengröße klein, Durchmesser 19-22 μm ; triporat, angulaperturat; im LM psilat (A); im REM (B) Exinoberfläche nano-echinat mit regelmäßig angeordneten Nano-Echini; durchschnittlich 9-10 Nano-Echini / 2 μm^2 (C); Porus zirkular bis elliptisch, Porusdurchmesser 2-3 μm , Pollenkornrand zwischen Pori leicht verdickt (B).

Juglandaceae gen. et spec. indet_2 (Tafel7)

Abbildung A-D: Pollen, Monade; oblate Form; in Polansicht konvex-triangular; Pollengröße klein; Durchmesser 13-15 μm ; triporat, angulaperturat; im LM psilat (A); im REM nano-echinat mit regelmäßig angeordneten Nano-Echini; durchschnittlich 5-7 Nano-Echini / 2 μm^2 (C); Porus zirkular bis elliptisch, Porusdurchmesser 0,7-1 μm (D); distaler Polbereich verdünnt, Exine 2-3 μm dick und zur Aperturregion hin leicht verdickt (B, D).

Juglandaceae gen. et spec. indet_3 (Tafel 8)

Abbildung A-D: Pollen, Monade, oblate Form; in Polansicht konvex-triangular; Pollengröße mittel, Durchmesser 36-39 μm ; triporat, angulaperturat; im LM psilat (A); im REM nano-echinat; durchschnittlich 5-6 Micro-Echini / 2 μm^2 (C); Porus zirkular, Porusdurchmesser 3,4-3,6 μm (D); Exine; an Pollenkornwand 1,5 μm dick und zur Aperturen hin verstärkt (B, D).

Bemerkung: Exinewand der Pollentaxa mit verdünnten Stellen, die mehr oder weniger zur Eindellung der Wand im Polbereich führt. Regelmäßige Spieße in Form von Nano-Echini sind charakteristisch für die Familie der Juglandaceae. Spieße länger, größer und dichter bei Juglandaceae gen. et spec. indet_3. Abweichungen sind auch in der Pollengröße und -form bzw. Porengröße zu sehen. Laut SCHAARSCHMIDT (1999) gibt es in der Evolution des Juglandaceae-Pollens drei Tendenzen, nämlich die Zunahme der Größe, des Sphärizität (Kugelform) und der Heteropolarität. Juglandaceae gen. et spec. indet_1 zeigt Ähnlichkeiten mit der Gattung Platycarya und Juglandaceae gen. et spec. indet_2 mit der Gattung Engelhardia.

7.6. Malvaceae (Tafel 9-11)

Malvaceae gen. et spec. indet_1 (Tafel 9)

Abbildung A-H: Pollen; Monade; oblate Form, im Polansicht konvex-triangular bis zirkular; Pollengröße: mittelgroß, Durchmesser: 21-25 μm ; planaperturat, brevitricolporat; im LM reticulat, im REM reticulat bis micro-reticulat, heterobrochat; Lumen sehr

dicht free-standing Columellae besetzt (C); Colpi kurz, 0,9-1,1 µm breit, mit abgerundeten Spitzen, Lumengröße Richtung Colpus abnehmend (F), im Bereich der Aperturen Nexine stark verdickt (A).

Malvaceae gen. et spec. indet_2 (Tafel 10)

Abbildung A-D: Pollen; Monade; Umriss in Polansicht zirkular (A-B); Pollengröße: klein, Durchmesser: 19-23 µm; brevitricolporat; im LM scabrat, im Bereich der Aperturen Nexine verdickt (A); im REM Skulptur rugulat-fossulat, perforat; Colpi kurz (D).

Malvaceae gen. et spec. indet_3 (Tafel 11)

Abbildung A-F: Pollen; Monade; oblate Form, in Polansicht konvex-triangular bis zirkular; Pollengröße: mittelgroß, Durchmesser 25-27 µm; brevitricolporat, planaperturat; im LM psilat, im REM micro-reticulat, foveolat, perforat; Muri dicker als Lumina; im Aperturenbereich Nexine deutlich verdickt.

Bemerkung: Der polare Umriss ist normalerweise konvex-triangular bis zirkular. Die Größe variiert bei den untersuchten Taxa. Die Dichte der Exine variiert. Das retikulate Muster dominiert bei den untersuchten Arten. Das Retikulum variiert von fein bis grob. Die Größe der Lumina nimmt zum Colpus hin allmählich ab und bildet einen deutlichen Colpusrand.

7.7. Myricaceae (Tafel 12)

Myricaceae gen. et spec. indet.

Abbildung A-D: Pollen; Monade; oblat-suboblate Form (B); in Polansicht konvex-triangular (A); Pollengröße klein; Durchmesser 12-15 µm; triporat, im Bereich der Aperturen Pollenkornwand aufgewölbt; Pori elliptisch im Umriss; im LM psilat; im REM micro-echinat, perforat (C); im Bereich der Keimstelle weniger Micro-Echini.

Bemerkung: Die Myricaceae ist eine kleine Familie mit zwei Gattungen (Myrica und Canacomyrica). In Nordwesteuropa ist nur eine Art, Myrica gale vertreten (PUNT et al., 2002). Das untersuchte Pollenkorn weist eine große Ähnlichkeit mit dieser Art auf.

7.8. Rhamnaceae (Tafel 13)

Rhamnaceae gen. et spec. indet.

Abbildung A-F: Pollen; Monade; oblat bis sphäroidale Form; in Polansicht triangular mit konkaven Seiten (B); in Äquatorialansicht elliptisch; Pollengröße mittel; Äquatorialdurchmesser 20-24 μm , Länge der Polachse 25-28 μm ; tricolporat, angulaperturat (B); Colpuslänge 20 μm , Exinoberfläche micro-rugulat bis micro-verrucat, perforat; Einteilung des Mesocolpiums (C); Margo micro-rugulat flacher und stärker verdichtet, im Bereich der Colpi Nexine verdickt; Polbereich deutlicher perforiert (D).

Bemerkung: In Nordwesteuropa kommen zwei Gattungen vor, mit insgesamt vier Arten (PUNT et al., 2003). Alle sind Sträucher. Da die Pollenkörner meist keine Besonderheiten aufweisen, ist eine nähere Bestimmung schwierig.

7.9. Salicaceae (Tafel 14)

Salix spec. indet.

Abbildung A-F: Pollen; Monade; prolate Form; in Polansicht zirkular-lobat (B); in Äquatorialansicht elliptisch (A, C); Pollengröße klein; Äquatorialdurchmesser 12-15 μm ; Länge der Polachse 22-25 μm ; tricolporat; semitectat, im LM reticulat; im REM heterobrochat-reticulat; Richtung Keimstellen Reticulum schmaler und dichter (micro-reticulat); Muri ohne Skulpturelemente; Exine an den Polen mit Fossulae und Perorationen (F).

Bemerkung: Die Gattung Salix wird etwa von 500 Arten vertreten, die auf allen Kontinenten außer Antarktis und Ozeanien verbreitet sind. Die höchste Artenkonzentration gibt es in China, in Ost- bis Nordasien und Nordamerika. In Europa wurden bislang etwa 65 Taxa registriert. Die Gattung weist eine hohe morphologische Variabilität auf (CAMBRIA et al., 2019). Was für die Vertreter der Salix charakteristisch ist, ist die retikuläre Ornamentation bzw. das Vorhandensein von langen und breiten Colporen.

7.10. Sapindaceae (Tafel 15)

Sapindaceae gen. et spec. indet.

Abbildung A-F: Pollen; Monade; oblate Form; in Polansicht konkav-triangular (A,D); in Äquatorialansicht peroblat (B, C); Pollengröße klein; Durchmesser 20-23 μm ; tricolporat, angulaperturat; im LM psilat bis scabrat; im REM micro-rugulat bis fossulat, perforat (F), Richtung Pol dichter; Apicalfeld triangular, Durchmesser 7-10 μm (A), scabrat-perforat (E).

Bemerkung: Die Sapindales sind eine alte Linie mit Fossilien bekannt aus der Kreidezeit. Die Familie Sapindaceae ist zumindest ab dem Paläozän in der nördlichen Hemisphäre vertreten (KUBITZKI, 2011). Die Pollenkörner sind relativ häufig in der untersuchten Probe enthalten. Vorwiegend sind 3-colporate und trianguläre Formen zu finden, daneben auch etliche 4-colporate Vertreter, diese werden aber in dieser Arbeit nicht behandelt.

7.11. Vitaceae (Tafel 16)

Parthenocissus spec. indet.

Abbildung: A-F: Pollen, Monade; prolate Form; isopolar; in Äquatorialansicht elliptisch (A, B); Pollengröße mittelgroß; Äquatorialdurchmesser 22-25 μm ; Länge der Polachse 40-44 μm ; tricolporat; semitectat; im LM reticulat; im REM heterobrochat-reticulat (F); Muri psilat, breit 0,8-1 μm ; Polfläche reticulat bis foveolat, Lumen kreisförmig 1-2 μm (D); um Keimstelle micro-rugulat bis perforat (E); Lumen des Mesocolpiums länglich (F); Colpus 30-32 μm lang zur Spitze hin truncat (C).

Bemerkungen: Die Familie der Vitaceae ist hauptsächlich in tropischen Regionen verbreitet, mit einigen Vertretern auch in den gemäßigten Gebieten. Parthenocissus ist eine der wenigen Gattungen mit einer interkontinentalen Verteilung zwischen Asien und Nordamerika (NIE et al., 2010). Das untersuchte Pollenkorn zeigt große Ähnlichkeit mit Parthenocissus quinquefolia (PalDat). Weiteres Vergleichsmaterial liegt nicht vor.

8. Schlussfolgerung

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war die morphologische Analyse und Bestimmung von Pollenkörnern aus der Fundstelle Profen. Mithilfe von der Kombination lichtmikroskopischer und rasterelektronenmikroskopischer Untersuchungen konnte eine Handvoll an ausgewählten fossilen Pollenkörnern bis auf Familien- oder Gattungsniveau bestimmt werden. Daraus ergibt sich ein besseres Bild über die Waldvegetation von Mitteleuropa bzw. es konnte die Palette der Pflanzenfamilien, die zur Zeit des Eozäns auftraten, erweitert werden.

Die morphologische und strukturelle Analyse erfolgte unter Berücksichtigung von Merkmalen wie Größe und Form des Pollenkorns, Lage, Anzahl und Form der Keimstellen bzw. die Oberflächenbeschaffenheit der Pollenkornwand. Es handelt sich dabei immer um monade Pollenkörner mit drei Aperturen, die eine äquatoriale Anordnung haben. Die Größe variiert zwischen klein bis mittelgroß, wobei alle drei Pollenformen, prolat, oblat, sphäroidal, auftreten. Hierbei ist zu beachten, dass diese beschriebenen Pollenkörner in dehydrierter Form vorkommen, wodurch diese eine Verformung bzw. Verfälschung in den Aufnahmen aufweisen können. Nähere Hinweise zu den einzelnen Pollenkörnern sind unter den Bemerkungen der jeweiligen Familien zu finden.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass viele der beschriebenen Familien und Gattungen eine Ähnlichkeit mit den rezenten Vertretern haben, wobei diese vor allem in den Pflanzenvergesellschaftungen in Südostasien zu finden sind.

Die Wichtigkeit pollenmorphologischer Untersuchungen besteht darin, dass sich einerseits detaillierte Vergleiche mit taxonomischen Studien zu vorhandenen Pollen anstellen lassen, andererseits können durch die Vergleiche Rückschlüsse auf klimatischen Gegebenheiten gezogen werden.

9. Literaturverzeichnis

- Berry, P.E. (o.J.): Dipsacales, [online] <https://www.britannica.com/plant/Dipsacales/Dipsacus-clade> [02.01.2020].
- Bouchal, J.M., R. Zetter und T. Denk (2016): Pollen and spores of the uppermost Eocene Florissant Formation Colorado: a combined light and scanning electron microscopy study, in: *Grana*, Jg. 55, Nr. 3, S. 179-245.
- Cambria S., Brullo C. und Brullo S. (2019): *Salix kaptarae* sp. nov. (Salicaceae) from Crete, in: *Nordic Journal of Botany*.
- Chao, N. und T. Gong (o.J.): 3. *Salix* Linneaus, [online] http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=129059 [13.01.2020].
- Chen, Y. und C. Schirarend (o.J.): Rhamnaceae, [online] http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=10763 [11.01.2020].
- Chen, Z. und J. Wen (o.J.): 1. *Parthenocissus*, [online] http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=124105 [11.01.2020].
- Coxall, H.K., P.A. Wilson, H. Pälike, C.H. Lear und J. Backman (2005): Rapid stepwise onset of Antarctic glaciation and deeper calcite compensation in the Pacific Ocean, in: *Nature*, Jg. 433, S. 53-57.
- Diethart, B. (2016): *Salix alba*, [online] https://www.paldat.org/pub/Salix_alba/301225 [17.01.2020].
- Eldrett, J.S., I.C. Harding, J.V. Firth und A.P. Roberts (2004): Magnetostratigraphic calibration of Eocene- Oligocene dinoflagellate cyst biostratigraphy from the Norwegian-Greenland Sea, in: *Marine Geology*, Jg. 204, S. 91-127.
- Encyclopaedia Britannica (o.J.): Eucommiaceae, [online] <https://www.britannica.com/plant/Eucommiaceae> [02.01.2020].
- EPPO Global Database (2020a): Eucommiaceae, [online] <https://gd.eppo.int/taxon/1EUCF> [02.01.2020].
- EPPO Global Database (2020b): Fortunearia, [online] <https://gd.eppo.int/taxon/1FOTG> [04.01.2020].
- EPPO Global Database (2020c): Juglandaceae, [online] <https://gd.eppo.int/taxon/1JUGF> [04.01.2020].

EPPO Global Database (2020d): Malvaceae, [online] <https://gd.eppo.int/taxon/1MAVF> [04.01.2020].

EPPO Global Database (2020e): Myricaceae, [online] <https://gd.eppo.int/taxon/1MYIF> [04.01.2020].

EPPO Global Database (2020f): Parthenocissus, [online] <https://gd.eppo.int/taxon/1PRTG> [17.01.2020].

EPPO Global Database (2020g): Rhamnaceae, [online] <https://gd.eppo.int/taxon/1RHAF> [06.01.2020].

EPPO Global Database (2020h): Salix, [online] <https://gd.eppo.int/taxon/1SAXG> [06.01.2020].

EPPO Global Database (2020i): Sapindaceae, [online] <https://gd.eppo.int/taxon/1SAPF> [16.01.2020].

Erdtman, G. (1986): *Pollen Morphology and Plant Taxonomy. Angiosperms. An Introduction to Palynology*, Leiden: E.J. Brill.

EURO+MED Plantbase (2018): Viburnum L. Botanischer Garten und Botanisches Museum Berlin, [online] <http://ww2.bgbm.org/EuroPlusMed/PTaxonDetail.asp?NameCache=Viburnum&PTRefFk=7500000> [04.01.2020].

Faber, A. (2017a): Palynologie. Die Wissenschaft des Pollens, [online] https://www.online.uni-marburg.de/botanik/nutzpflanzen/anna_faber/.html/index.html [02.01.2020].

Faber, A. (2017b): Terminologie, [online] https://www.online.uni-marburg.de/botanik/nutzpflanzen/anna_faber/.html/terminologie2.html [02.01.2020].

Fægri, K. und J. Iversen (1989): *Textbook of pollen analysis*, Chichester: Blackburn.

Ferguson, D.K., R. Zetter und K.N. Paudyal (2007): The need for the SEM in palaeopalynology, in: *Comptes Rendus Paleovol*, Jg. 6, S. 423-430.

Gregor, H.-J. (1977): Subtropische Elemente im europäischen Tertiär II (Fruchtifikationen). Die Gattungen Quercus (Fagaceae), Myristicacarpum (Myristicaceae), Brueckelholzia und Cyclea (Menispermaceae), Disanthus und Fortuneria (Hamamelidaceae), Frangula (Rhamnaceae), Paleocayratia (Vitaceae) und Acanthopanax (Araliaceae), in: *Paläontologische Zeitschrift*, Jg. 51, S. 199-226.

Halbritter, H. (2016a): Viburnum farreri, [online] https://www.paldat.org/pub/Viburnum_farreri/301125 [17.01.2020].

- Halbritter, H. (2016b): *Viburnum opulus*, [online] https://www.palдат.org/pub/Viburnum_opulus/301124 [17.01.2020].
- Halbritter, H. (2016c): *Viburnum rhytidophyllum*, [online] https://www.palдат.org/pub/Viburnum_rhytidophyllum/301123 [17.01.2020].
- Halbritter, H. (2016d): *Viburnum tinus*, [online] https://www.palдат.org/pub/Viburnum_tinus/301122 [17.01.2020].
- Halbritter, H. (2016e): *Viburnum utile*, [online] https://www.palдат.org/pub/Viburnum_utile/301126 [17.01.2020].
- Halbritter, H. (2016f): *Juglans nigra*, [online] https://www.palдат.org/pub/Juglans_nigra/302903 [17.01.2020].
- Halbritter, H. (2016g): *Corylopsis glabrescens*, [online] https://www.palдат.org/pub/Corylopsis_glabrescens/301888 [17.01.2020].
- Halbritter, H. (2016h): *Corylopsis platypetala*, [online] https://www.palдат.org/pub/Corylopsis_platypetala/301890 [17.01.2020].
- Halbritter, H. (2016i): *Corylopsis sinensis*, [online] https://www.palдат.org/pub/Corylopsis_sinensis/301883 [17.01.2020].
- Halbritter, H. (2016j): *Hamamelis vernalis*, [online] https://www.palдат.org/pub/Hamamelis_vernalis/301892 [17.01.2020].
- Halbritter, H. (2016k): *Parrotia persica*, [online] https://www.palдат.org/pub/Parrotia_persica/300403 [17.01.2020].
- Halbritter, H. (2016l): *Parrotiopsis jacquemontiana*, [online] https://www.palдат.org/pub/Parrotiopsis_jacquemontiana/301886 [17.01.2020].
- Halbritter, H. (2016m): *Abutilon theophrasti*, [online] https://www.palдат.org/pub/Abutilon_theophrasti/300784 [17.01.2020].
- Halbritter, H. (2016n): *Ziziphus jujuba*, [online] https://www.palдат.org/pub/Ziziphus_jujuba/301364 [18.01.2020].
- Halbritter, H. (2016o): *Salix alpina*, [online] https://www.palдат.org/pub/Salix_alpina/302350 [18.01.2020].
- Halbritter, H. (2016p): *Parthenocissus quinquefolia*, [online] https://www.palдат.org/pub/Parthenocissus_quinquefolia/301121 [19.01.2020].

- Halbritter, H. (2017): *Carya illinoensis*, [online] https://www.palдат.org/pub/Carya_illinoensis/302952 [17.01.2020].
- Halbritter, H. (2019): *Althaea hirsuta*, [online] https://www.palдат.org/pub/Althaea_hirsuta/303599 [17.01.2020].
- Halbritter, H. und R. Buchner (2016a): *Fothergilla major*, [online] https://www.palдат.org/pub/Fothergilla_major/301885 [18.01.2020].
- Halbritter, H. und R. Buchner (2016b): *Cerothamnus pensylvanicus*, [online] https://www.palдат.org/pub/Cerothamnus_pensylvanicus/302324 [16.01.2020].
- Halbritter, H. und R. Buchner (2016c): *Acer palmatum*, [online] https://www.palдат.org/pub/Acer_palmatum/302550 [17.01.2020].
- Halbritter, H. und R. Buchner (2016d): *Parthenocissus himalayana*, [online] https://www.palдат.org/pub/Parthenocissus_himalayana/302140 [19.01.2020].
- Halbritter, H. und M. Hesse (2016): *Tilia platyphyllos*, [online] https://www.palдат.org/pub/Tilia_platyphyllos/302531 [19.01.2020].
- Halbritter, H. und M. Svojtka (2016a): *Viburnum lantana*, [online] https://www.palдат.org/pub/Viburnum_lantana/301127 [17.01.2020].
- Halbritter, H. und M. Svojtka (2016b): *Rhamnus cathartica*, [online] https://www.palдат.org/pub/Rhamnus_cathartica/302575 [17.01.2020].
- Halbritter, H. und M. Weber (2016a): *Paliurus spina-christi*, [online] https://www.palдат.org/pub/Paliurus_spina-christi/302629 [17.01.2020].
- Halbritter, H. und M. Weber (2016b): *Parthenocissus tricuspidata*, [online] https://www.palдат.org/pub/Parthenocissus_tricuspidata/301119 [19.01.2020].
- Halbritter, H. und B. Weis (2018): *Bombax celba*, [online] https://www.palдат.org/pub/Bombax_ceiba/303169 [17.01.2020].
- Halbritter, H., S. Ulrich, F. Grímsson, M. Weber, R. Zetter, M. Hesse, R. Buchner, M. Svojtka und A. Frosch-Radivo (2018): *Illustrated Pollen Terminologie*, Cham: Springer International.
- Hegnauer, R. (1964): *Chemotaxonomie der Pflanzen. Eine Übersicht über die Verbreitung und die systematische Bedeutung der Pflanzenstoffe*, Bd. 3: Dicotyledoneae: Acanthaceae - Cyrillaceae, Basel: Springer.

- Hegnauer, R. (1966): *Chemotaxonomie der Pflanzen. Eine Übersicht über die Verbreitung und die systematische Bedeutung der Pflanzenstoffe*, Bd. 4: Dicotyledoneae: Daphniphyllaceae - Lythraceae, Basel: Springer.
- Hesse, M., H. Halbritter, R. Zetter, M. Weber, R. Buchner, A. Frosch-Radivo und S. Ulrich (2009): *Pollen Terminology. An illustrated handbook*, Wien: Springer.
- Hesse, M. und H. Halbritter (2016): *Acer campestre*, [online] https://www.palдат.org/pub/Acer_campestre/302709 [17.01.2020].
- Hong, D., Q. Yang, V. Malécot und D.E. Boufford (o.J.): Flora of China. 14. Adoxaceae, [online] http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=10015 [16.01.2020].
- Ivany, L.C., K.C. Lohmann, D.B. Blake und R.B. Aronson (2008): Eocene climate record of a high southern latitude containing shelf: Seymour Island, Antarctica, in: *Geological Society of America Bulletin*, Jg. 5, Nr. 6, S. 659-678.
- Jacobs, B., M.J. Donoghue, F. Bouman, S. Huysmans und E. Smets (2008): Evolution and phylogenetic importance of endocarp and seed characters in *Viburnum* (Adoxaceae), in: *International Journal of Plant Science*, Jg. 169, Nr. 3, S. 409-431.
- Jacomet, S. und A. Kreuz (1999): *Archäobotanik*, Stuttgart: Ulmer.
- Kadereit, J.W., C. Körner, B. Kost und U. Sonnewald (2014): *Strasburger Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften*, Berlin: Springer.
- Kappas, M. (2009): *Klimatologie. Klimaforschung im 21. Jahrhundert - Herausforderung für Natur- und Sozialwissenschaften*, Heidelberg: Springer.
- Kirchheimer, F. (1957): *Die Laubgewächse der Braunkohlezeit*, Halle: Wilhelm Knapp Verlag.
- Klaus, W. (1987): *Einführung in die Paläobotanik, Fossile Pflanzenwelt und Rohstoffbildung*. Bd. 1: Grundlagen - Kohlebildung - Arbeitsmethoden/Palynologie, Wien: Deuticke.
- Kubitzki, K. (2011): Flowering Plants. Eudicots: Sapindales, Cucurbitales, Myrtaceae, Heidelberg: Springer.
- Kvacek, Z., Teodoridis, V., Mach, K., Prikryl, T., Dvorak, Z. (2014): Tracing the Eocene-Oligocene transition. A case study from North Bohemia, in: *Bulletin of Geoscience*, Jg. 89, S. 21-66.
- Lens, F., R.A. Vos, G. Charrier, T. van der Niet, V. Merckx, P. Baas, J.A. Gutierrez, B. Jacobs, L.C. Dória, E. Smets, S. Delzon und S.B. Janssens (2016): Scalariform-to-

- simple transition in vessel perforation plates triggered by differences in climate during the evolution of Adaxaceae, in: *Annals of Botany*, Jg. 118, S. 1043-1056.
- Lenz, O.K., V. Wilde und W. Riegel (2011): Short-term fluctuations in vegetation and phytoplankton during the Middle Eocene greenhouse climate: a 640-kyr record from the Messel oil shale (Germany), in: *International Journal of Earth Sciences*, Jg. 100, S. 1851-1874.
- Lu, A.-M. (1982): On the geographical distribution of the Juglandaceae, in: *Chinese Journal of Plant Ecology*, Jg. 20, Nr. 3, S. 257-274.
- Lu, A. und A.J. Bornstein (o.J.): Myricaceae, [online] http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=10594 [16.01.2020].
- Lu, A., D.E. Stone und L.J. Grauke (o.J.): Juglandaceae, [online] http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=10460 [12.01.2020].
- Mai, D.H. (1995): *Tertiäre Vegetationsgeschichte Europas. Methoden und Ergebnisse*, Jena: Gustav Fischer Verlag.
- McInerney, F.A. und S.L. Wing (2011): The Paleocene-Eocene Thermal Maximum: A Perturbation of Carbon Cycle, Climate, and Biosphere with Implications for the Future, in: *The Annual Review of Earth and Planetary Science*, Jg. 39, S. 489-516.
- Meulenkamp, J.E. (1966): Einige Bemerkungen über die Pollenführung der Braunkohlengrube "Maria Theresia", Herzogenrath, in: *Acta Botanica Neerlandica*, Jg. 15, S. 308-315.
- MIBRAG (2019): Tagebau Profen, [online] <https://www.mibrag.de/de-de/geschaeftsfelder/bergbau/tagebau-profen> [05.11.2019].
- Milne, R.I. (2006): Northern Hemisphere Plant Disjunctions: A Window on Tertiary Land Bridges and Climate Change? in: *Annals of Botany*, Jg. 98, Nr. 3, S. 465-472, [online] <https://academic.oup.com/aob/article/98/3/465/252422> [18.12.2019].
- Muller, J. (1981): Fossil pollen records of extant angiosperms, in: *The Botanical Review*, Jg. 47, Nr. 1, S. 1-141.
- National Taiwan University (1998): *Flora of Taiwan*, Bd. 4, 2. Aufl., [online] <http://tai2.ntu.edu.tw/ebook/ebookpage.php?book=Fl.%20Taiwan%202nd%20edit.&volume=4&list=5093> [16.01.2019].
- Naturhistorisches Museum Wien (2005): Caprifoliaceae / Geißblattgewächse, [online] <https://flora.nhm-wien.ac.at/Seiten-Familien/Caprifoliaceae.htm> [12.01.2020].

- Nie, Z.L., H. Sun, Z.-D. Chen, Y. Meng, S.R. Manchester und J. Wen (2010): Molecular phylogeny and biogeographic diversification of *Parthenocissus* (Vitaceae) disjunct between Asia and North America, in: *American Journal of Botany*, Jg. 97, Nr. 8, S. 1342-1353.
- Pennington, R.T., M. Lavin, D.E. Prado, C.A. Pendry, S.K. Pell und C.A. Butterworth (2004). Historical climate change and speciation: neotropical seasonally dry forest plants show patterns of both Tertiary and Quaternary diversification, in: *The Royal Society*, Jg. 359, S. 515-537.
- Potonié, H. (1921): *Lehrbuch der Paläobotanik*, Berlin: Verlag von Gebrüder Borntraeger.
- Punt, W., Marks, A. und Hoen, P.P. (2002): The Northwest European Pollen Flora, 66, MYRICACEAE, in: *Review of Palaeobotany and Palynology* 123, S. 99-105.
- Punt, W., Marks, A. und Hoen, P.P. (2003): The Northwest European Pollen Flora, 63, RHAMNACEAE, in: *Review of Palaeobotany and Palynology* 123, S. 57-66.
- Saltzman, B. (2002): *Dynamical Paleoclimatology. Generalized Theory of Global Climate Change*. San Diego: Academic Press.
- Sam, S. und M. Weber (2016): *Acer negundo*, [online] https://www.pal-dat.org/pub/Acer_negundo/301248 [17.01.2020].
- Schaarschmidt, H. (1999): Die Walnußgewächse: Juglandaceae. Hohenwarsleben: Westarp-Wiss.; 2., überarb. Aufl., S.49.
- Shuan, N.B. (o.J.): *Fortunearia sinensis*, [online] http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=200010553 [20.12.2019].
- Standke, G., D. Escher, J. Fischer und J. Rascher (2010): *Das Tertiär Nordwestsachsens. Ein geologischer Überblick*, Dresden: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.
- Steinheimer, F.D. und G. Mayr. (2017): 50 Millionen Jahre Klimaeskapaden überlebt: tropische Faunenelemente aus dem Eozän, in: Meller, H. und T. Puttkammer (Hrsg.), *Klimagewalten. Treibende Kraft der Evolution*. Darmstadt: Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt.
- Stevens, P.F. (2020): Angiosperm Phylogeny Website, [online] <http://www.mobot.org/MOBOT/Research/APweb/welcome.html> [10.01.2020].
- Stevens, P. und J.L. Luteyn (o.J.): *Ericales*, [online] <https://www.britanica.com/plant/Ericales> [08.01.2020].

- Straka, H. (1975): *Grundbegriffe der modernen Biologie*. Bd. 13: Pollen- und Sporenkunde. Eine Einführung in die Palynologie, Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- Sun, J., X. Ni, S. Bi, W. Wu, J. Ye, J. Meng und B.F. Windley (2014): Synchronous turnover of flora, fauna, and climate at the Eocene-Oligocene Boundary in Asia, in: *Scientific Reports*, Jg. 4, S. 1-6.
- Tan, X., S. Gilder, K.P. Kodama, W. Jiang, Y. Han, H. Zhang, H. Xu und D. Zhou (2010): New paleomagnetic results from the Lhasa Block: Revised estimation of latitudinal shortening across Tibet and implications for dating the India-Asia collision, in: *Earth and Planetary Science Letters*, Jg. 293, S. 396- 404.
- Tang, Y., M.G. Gilbert, G. Dorr und L. Dorr (o.J.): 10. Malvaceae, [online] http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=10534 [18.01.2020].
- The Plant List (2010): *Fortunearia*, [online] <http://www.theplantlist.org/browse/A/Hamamelidaceae/Fortunearia/> [20.12.2019].
- Thiergart, F. (1937): Die Pollenflora der Niederlausitzer Braunkohle, besonders im Profil der Grube Marga bei Senftenberg, in: Preußische Geologische Landesanstalt (Hrsg.), *Jahrbuch der Preußischen Geologischen Landesanstalt zu Berlin für das Jahr 1937*, Bd. 58, Berlin: Preußische Geologische Landesanstalt, S. 282-351.
- Thiergart, F. (1940): *Die Mikropaläontologie als Pollenanalyse im Dienst der Braunkohlenforschung*, Stuttgart: Verlag von Ferdinand Enke.
- Traverse, A. (2007): *Paleopalynologie*, Dordrecht: Springer Netherlands.
- Ulloa, C. und P.M. Jorgensen (o.J.a): Arboles y arbustos de los Andes del Ecuador. 2. *Viburnum* L., [online] http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=201&taxon_id=134551 [05.01.2020].
- Ulloa, C. und P.M. Jorgensen (o.J.b): Arboles y arbustos de los Andes del Ecuador. 48. Malvaceae, [online] http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=201&taxon_id=10534 [05.01.2020].
- Ulloa, C. und P.M. Jorgensen (o.J.c): Arboles y arbustos de los Andes del Ecuador. 54. Myricaceae, [online] http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=201&taxon_id=10594 [05.01.2020].
- Ulloa, C. und P.M. Jorgensen (o.J.d): Arboles y arbustos de los Andes del Ecuador. 66. Rhamnaceae, [online] http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=201&taxon_id=10763 [05.01.2020].
- Ulloa, C. und P.M. Jorgensen (o.J.e): Arboles y arbustos de los Andes del Ecuador. 1. *Salix* L., [online] http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=201&taxon_id=129059 [05.01.2020].

- Ulloa, C. und P.M. Jorgensen (o.J.f): Arboles y arbustos de los Andes del Ecuador. 73. Sapindaceae, [online] http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=201&taxon_id=10792 [05.01.2020].
- Ulloa, C. und P.M. Jorgensen (o.J.g): Arboles y arbustos de los Andes del Ecuador. 30. Cyrillaceae, [online] http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=201&taxon_id=10248 [05.01.2020].
- United States Department of Agriculture (o.J.a): Classification for Kingdom Plantae Down to Genus *Viburnum* L., [online] <https://plants.usda.gov/java/ClassificationServlet?source=profile&symbol=VIBUR&display=31> [03.01.2020].
- United States Department of Agriculture (o.J.b): Classification for Kingdom Plantae Down to Cyrillaceae, [online] <https://plants.usda.gov/java/ClassificationServlet?source=display&classid=Cyrillaceae> [03.01.2020].
- Wang, Y.F., C.S. Li, M.E. Collinson, J. Lin und Q.-G. Sun (2003): *Eucommia* (Eucommiaceae), a potential biothermometer for the reconstruction of paleoenvironments, in: *American Journal of Botany*, Jg. 90, Nr. 1, S. 1-7.
- Watson, L. und M.J. Dallwitz (2000): The Families of Flowering Plants: Descriptions, Illustrations, Identification, and Information Retrieval, [online] <http://www1.biology.uni-hamburg.de/b-online/delta/angio/index.htm> [02.01.2020].
- Xia, N. und P.A. Gadek (o.J.): 2. Sapindaceae, [online] http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=10792 [16.01.2020].
- ZAMG (o.J.): 4,6 Mrd. Jahre, [online] <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/palaeoklima/4-6-mrd.-jahre> [20.01.2020]
- Zavada, M.S. und Dilcher, D.L. (1986): Comparative Pollen Morphology and its Relationship to Phylogeny of Pollen in the Hamamelidae, in: *Annals of the Missouri Botanical Garden*, Vol. 73, S. 348-381.
- Zhang, N.-N., W.-B. Sun und J. Yang (2016): Chromosome counts and karyotype analysis of *Viburnum* taxa (Adoxaceae), in: *Caryologie*, Jg. 69, Nr. 1, S. 12-19.
- Zhang, X.-P. und Anderberg, A. A. (2002): Pollen morphology in the ericoid clade of the order Ericales, with special emphasis on Cyrillaceae, in: *Grana*, 41:4, S. 201-215.
- Zhang, Z.-Y. (2001): Pollen morphology and variation of the genus *Fortunearia* (Hamamelidaceae) endemic to China, in: *Israel Journal of Plant Science*, Jg. 49, Nr. 1, S. 61-66.

Zhang, Z.-Y. und N.J. Turland (o.J.): Eucommiaceae, [online] http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=10325 [03.01.2020].

Zeebe, R.E., J.C. Zachos und G.R. Dickens (2009): Carbon dioxide forcing alone insufficient to explain Palaeocene-Eocene Thermal Maximum warming, in: *Nature Geoscience*, Jg. 2, S. 576-580, [online] <https://www.nature.com/articles/ngeo578#citeas> [05.11.2019].

9.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lageplan Tagebau Profen	6
Abbildung 2: Schema der geologischen Entwicklungen	11
Abbildung 3: Pollenformen von links nach rechts: spheroidal, oblat, prolat	15
Abbildung 4: Tetraden, Triade, Dyade und Monade	16
Abbildung 5: Schema der Pole und Achsen einer Tetrade	17
Abbildung 6: Schematische Darstellung häufiger Aperture	18
Abbildung 7: Verbreitung der Viburnaceae	20
Abbildung 8: Verbreitung der Cyrillaceae	22
Abbildung 9: Verbreitung der Eucommiaceae	24
Abbildung 10: Verbreitung der Hamamelidaceae	25
Abbildung 11: Verbreitung der Juglandaceae	28
Abbildung 12: Verbreitung der Malvaceae	30
Abbildung 13: Verbreitung der Myricaceae	32
Abbildung 14: Verbreitung der Rhamnaceae	34
Abbildung 15: Verbreitung der Salicaceae	36
Abbildung 16: Verbreitung der Sapindaceae	38

9.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Temperaturvergleich der Zeitalter	9
Tabelle 2: Größenkategorien von Pollen	14

9.3 Bildquellen

Kadereit, J.W., C. Körner, B. Kost und U. Sonnewald (2014): *Strasburger Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften*, Berlin: Springer.

Nguyen, T.D., S. Jang, M.-S. Soh, J. Lee, S. Yun, S.-A. Oh und S. Park (2019): High daytime temperature induces male sterility with developmental defects in male reproductive organs of *Arabidopsis*, in: *Plant Biotechnology Reports*, [online] <https://doi.org/10.1007/s11816-019-00559-8> [02.01.2020].

Simpson, M.G. (o.J.): Palynology, [online] <https://slideplayer.com/slide/5316828/> [15.01.2020].

Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

Anhang

Tafel 1

Adoxaceae (Moschuskrautgewächse)

Viburnum spec. indet_1

Abbildung A: Übersicht, Äquatorialansicht, untere optische Ebene, LM, Balken=10µm

Abbildung B: Übersicht, Äquatorialansicht, obere optische Ebene, LM, Balken=10µm

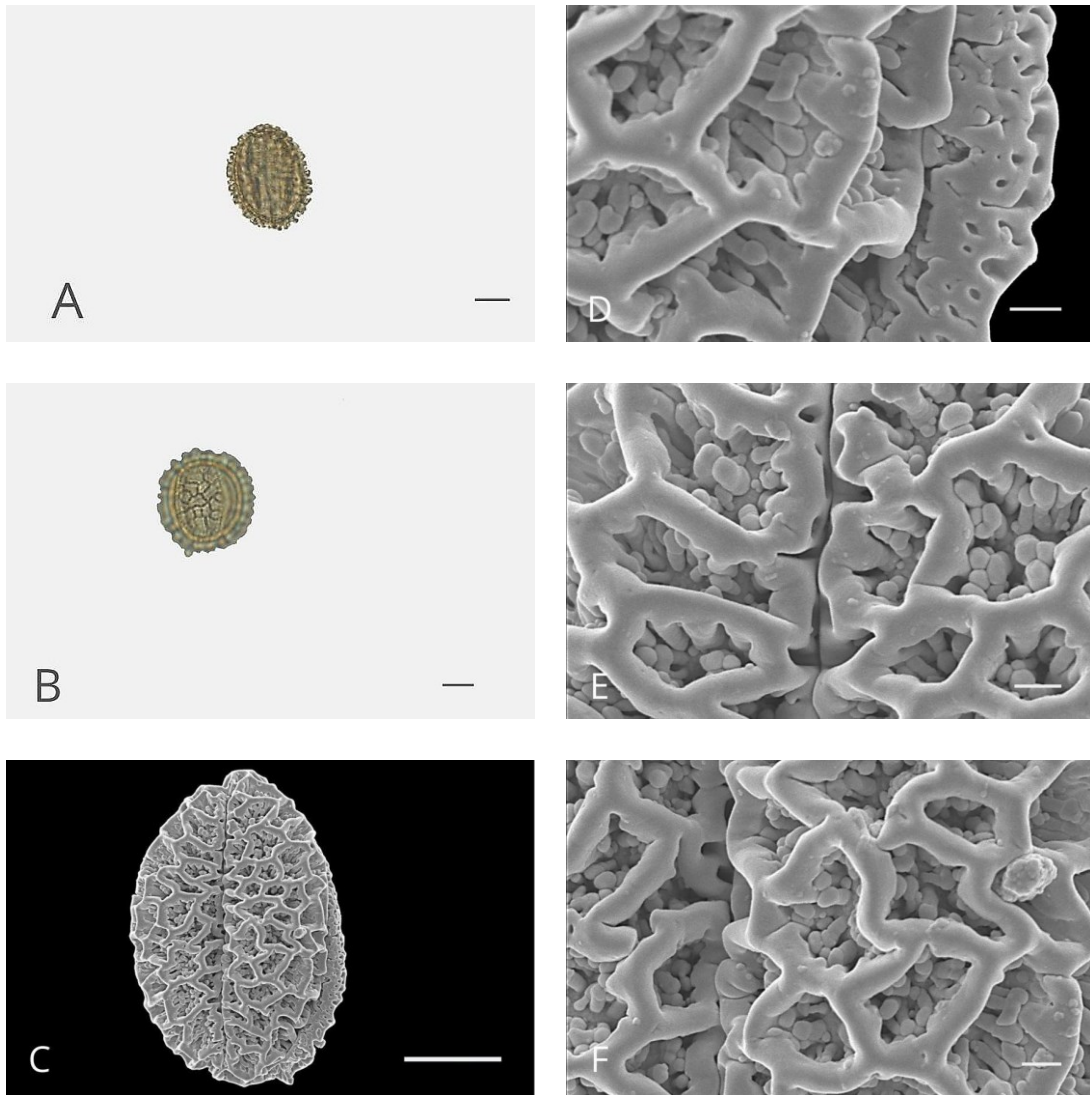
Abbildung C: Übersicht, Äquatorialansicht, REM, Balken=10µm

Abbildung D: Detail des Colpus schräg, REM, Balken=1µm

Abbildung E: Detail des Colpus im Polbereich, REM, Balken=1µm

Abbildung F: Detail des Mesocolpiums, REM, Balken=1µm

Tafel 1



Tafel 2

Adoxaceae (Moschuskrautgewächse)

Viburnum spec. indet_2

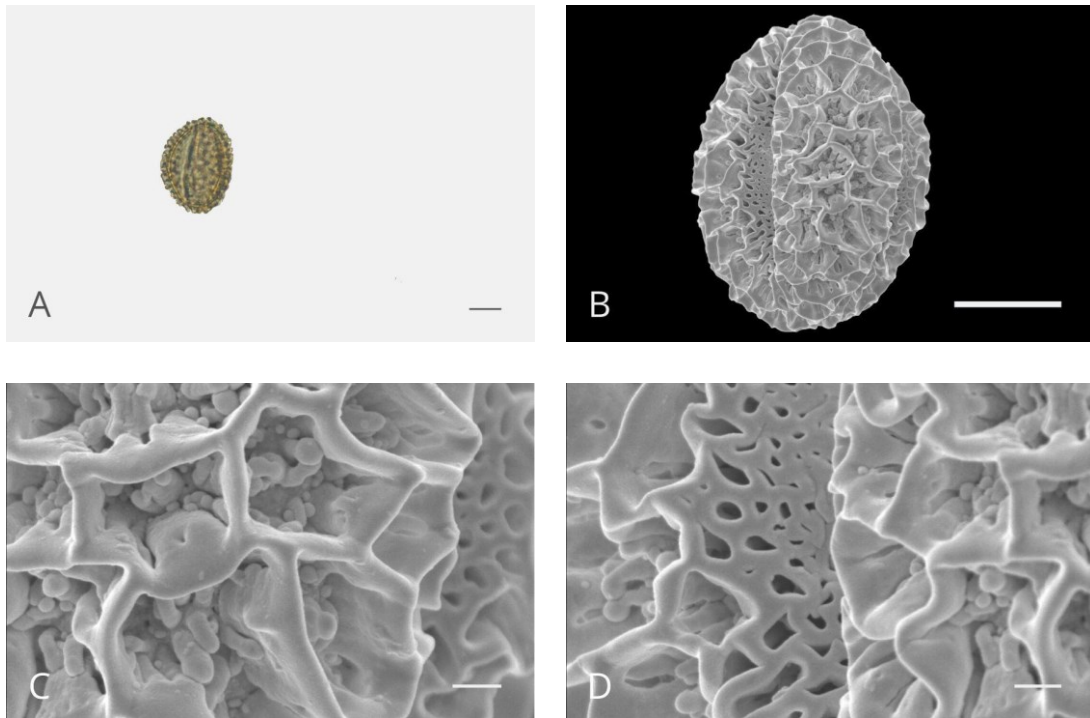
Abbildung A: Übersicht, Äquatorialansicht, LM, Balken=10µm

Abbildung B: Übersicht, Äquatorialansicht, REM, Balken=10µm

Abbildung C: Detail des Colpus, REM, Balken=1µm

Abbildung D: Detail des Mesocolpiums, REM, Balken=1µm

Tafel 2



Tafel 3

Cyrrillaceae

Cyrrillaceae gen. et spec. indet.

Abbildung A: Übersicht, Polansicht, LM, Balken=10µm

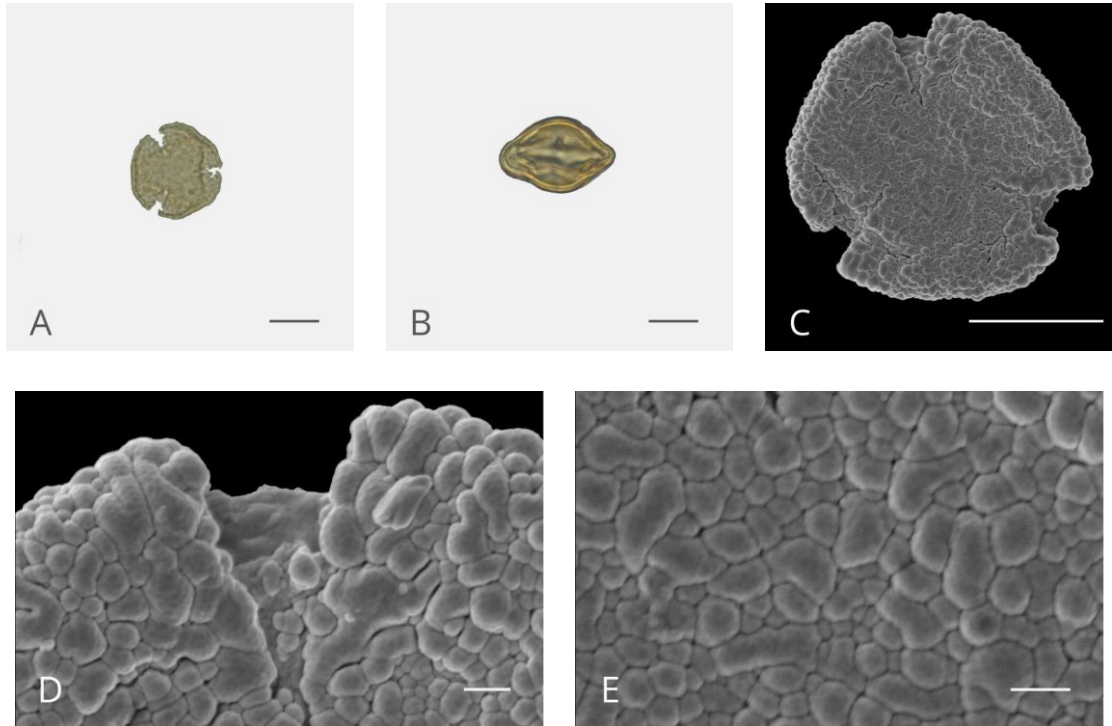
Abbildung B: Übersicht, Äquatorialansicht, LM, Balken=10µm

Abbildung C: Übersicht, Polansicht, REM, Balken=10µm

Abbildung D: Detail des Colporus, REM, Balken=1µm

Abbildung E: Detail des Mesocolpiums, REM, Balken=1µm

Tafel 3



Tafel 4

Eucommiaceae

Eucommia spec. indet. (Guttaperchabaum)

Abbildung A: Übersicht, Polansicht, LM, Balken=10µm

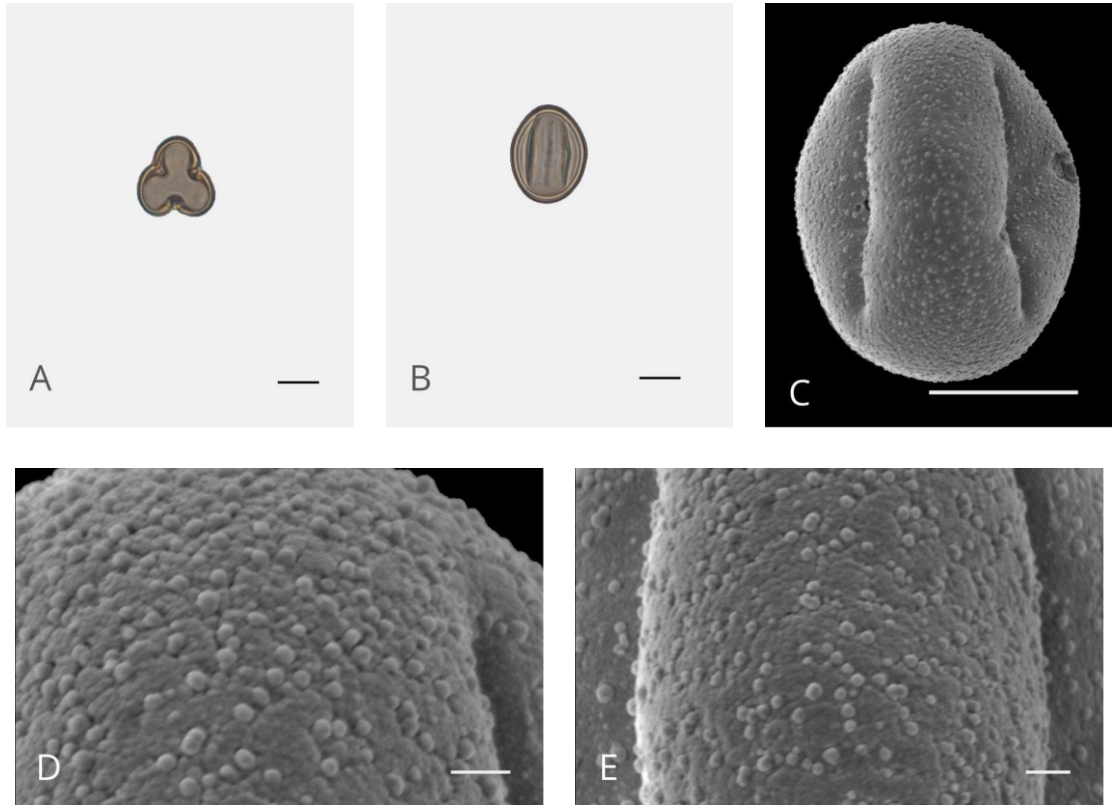
Abbildung B: Übersicht, Äquatorialansicht, LM, Balken=10µm

Abbildung C: Übersicht, Äquatorialansicht, REM, Balken=10µm

Abbildung D: Detail des Pols, REM, Balken=1µm

Abbildung E: Detail des Mesocolpiums, REM, Balken=1µm

Tafel 4



Tafel 5

Hamamelidaceae (Zaubernussgewächse)

Fortunearia spec. indet.

Abbildung A: Übersicht, Polansicht, LM, Balken=10µm

Abbildung B: Übersicht, Äquatorialansicht, LM, Balken=10µm

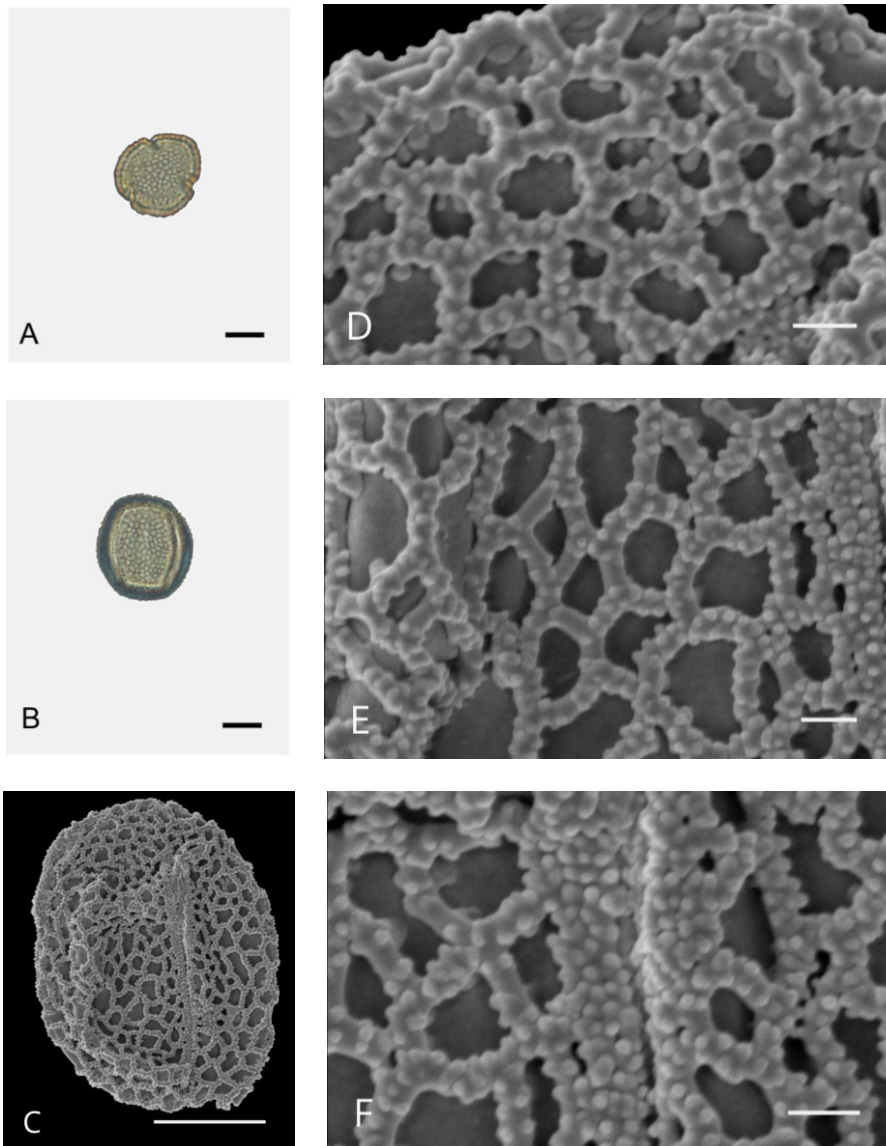
Abbildung C: Übersicht, Äquatorialansicht, REM, Balken=10µm

Abbildung D: Detail des Pols, REM, Balken=1µm

Abbildung E: Detail des Mesocolpiums, REM, Balken=1µm

Abbildung F: Detail des Colpus, REM, Balken=1µm

Tafel 5



Tafel 6

Juglandaceae (Walnussgewächse)

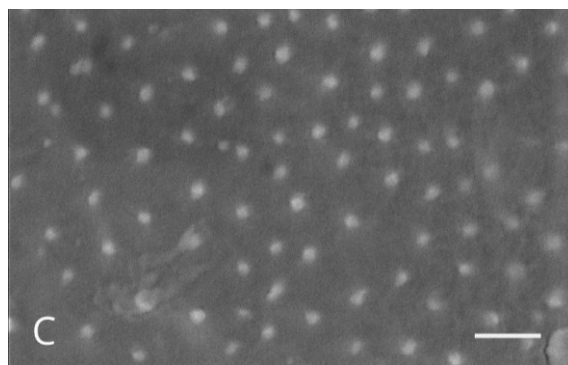
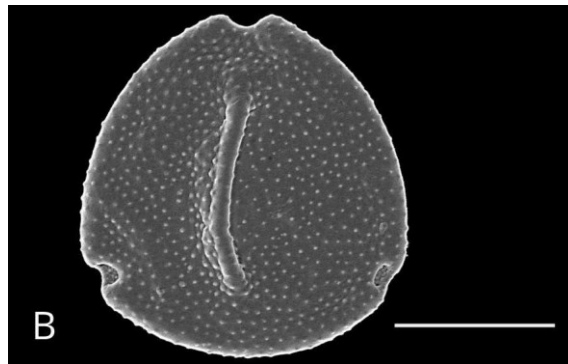
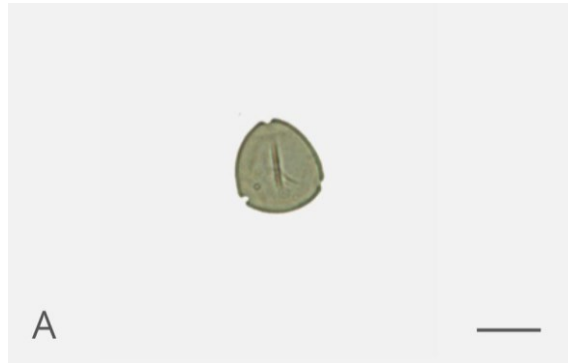
Juglandaceae gen. et spec. indet_1

Abbildung A: Übersicht, Polansicht, LM, Balken=10µm

Abbildung B: Übersicht, Polansicht, REM, Balken=10µm

Abbildung C: Detail der Exine, REM, Balken=1µm

Tafel 6



Tafel 7

Juglandaceae (Walnussgewächse)

Juglandaceae gen. et spec. indet_2

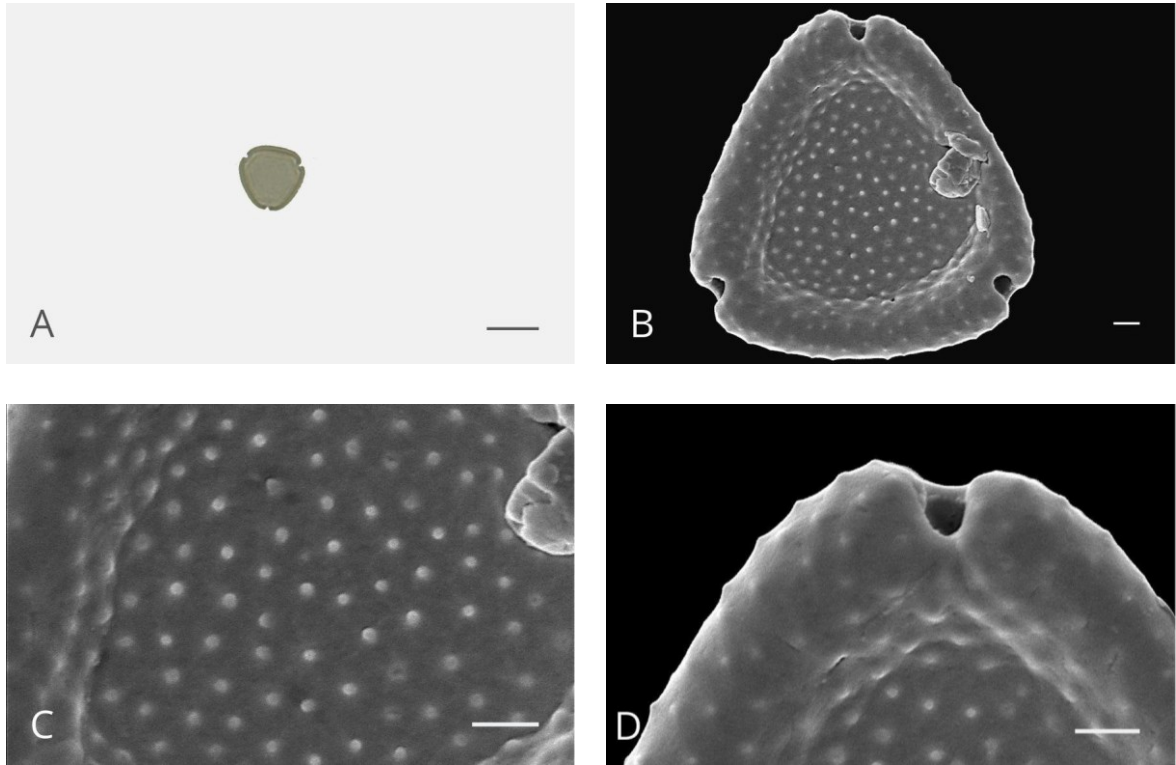
Abbildung A: Übersicht, Polansicht, LM, Balken=10µm

Abbildung B: Übersicht, Polansicht, REM, Balken=1µm

Abbildung C: Detail der Exine, REM, Balken=1µm

Abbildung D: Detail des Porus, REM, Balken=1µm

Tafel 7



Tafel 8

Juglandaceae (Walnussgewächse)

Juglandaceae gen. et spec. indet_3

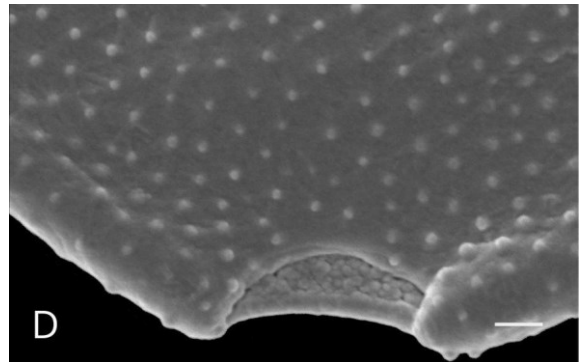
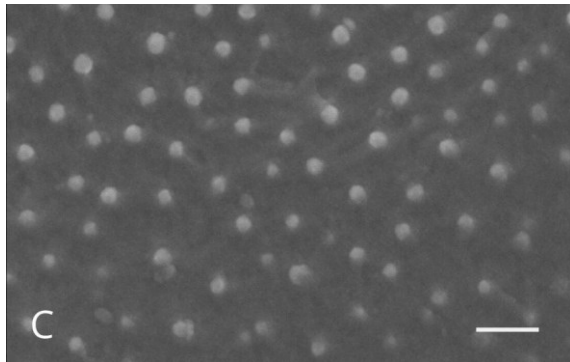
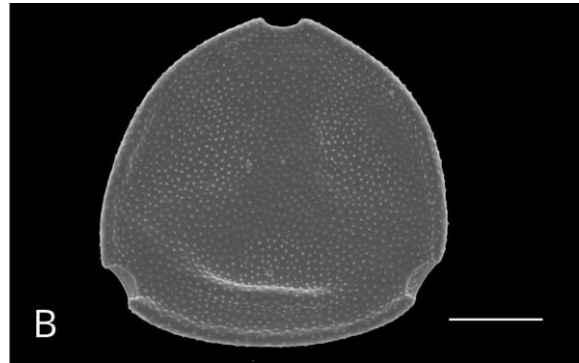
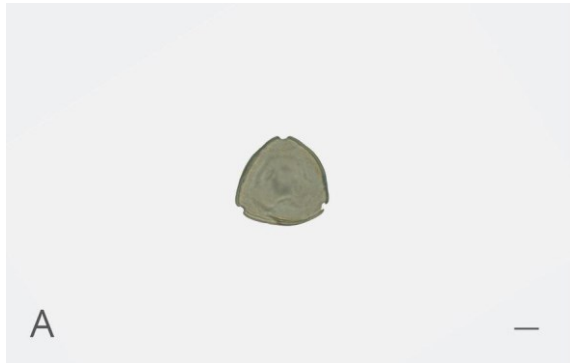
Abbildung A: Übersicht, Polansicht, LM, Balken=10µm

Abbildung B: Übersicht, Polansicht, REM, Balken=10µm

Abbildung C: Detail der Exine, REM, Balken=1µm

Abbildung D: Detail des Porus, REM, Balken=1µm

Tafel 8



Tafel 9

Malvaceae (Malvengewächse)

Malvaceae gen. et spec. indet_1

Abbildung A: Übersicht, Polansicht, LM, Balken=10µm

Abbildung B: Übersicht, Polansicht, REM, Balken=10µm

Abbildung C: Detail der Exine, REM, Balken=1µm

Abbildung D: Detail des Colporus li. oben, mit Bakterienfraßspur, REM, Balken=1µm

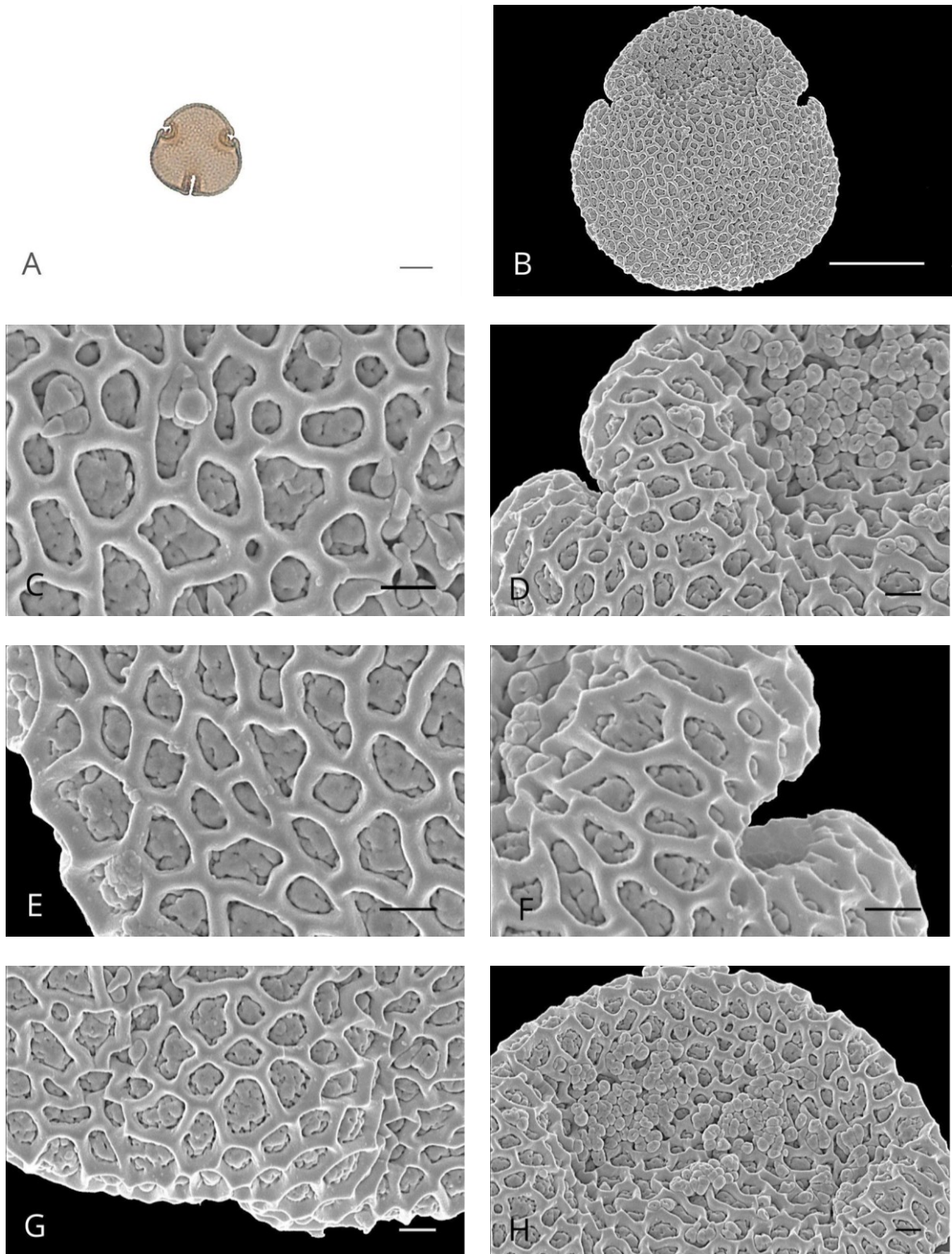
Abbildung E: Detail der Exine, REM, Balken=1µm

Abbildung F: Detail des Colporus re. oben, REM, Balken=1µm

Abbildung G: Detail des Colporus unten, REM, Balken=1µm

Abbildung H: Detail der Exine, mit Bakterienfraßspuren, REM, Balken=1µm

Tafel 9



Tafel 10

Malvaceae (Malvengewächse)

Malvaceae gen. et spec. indet_2

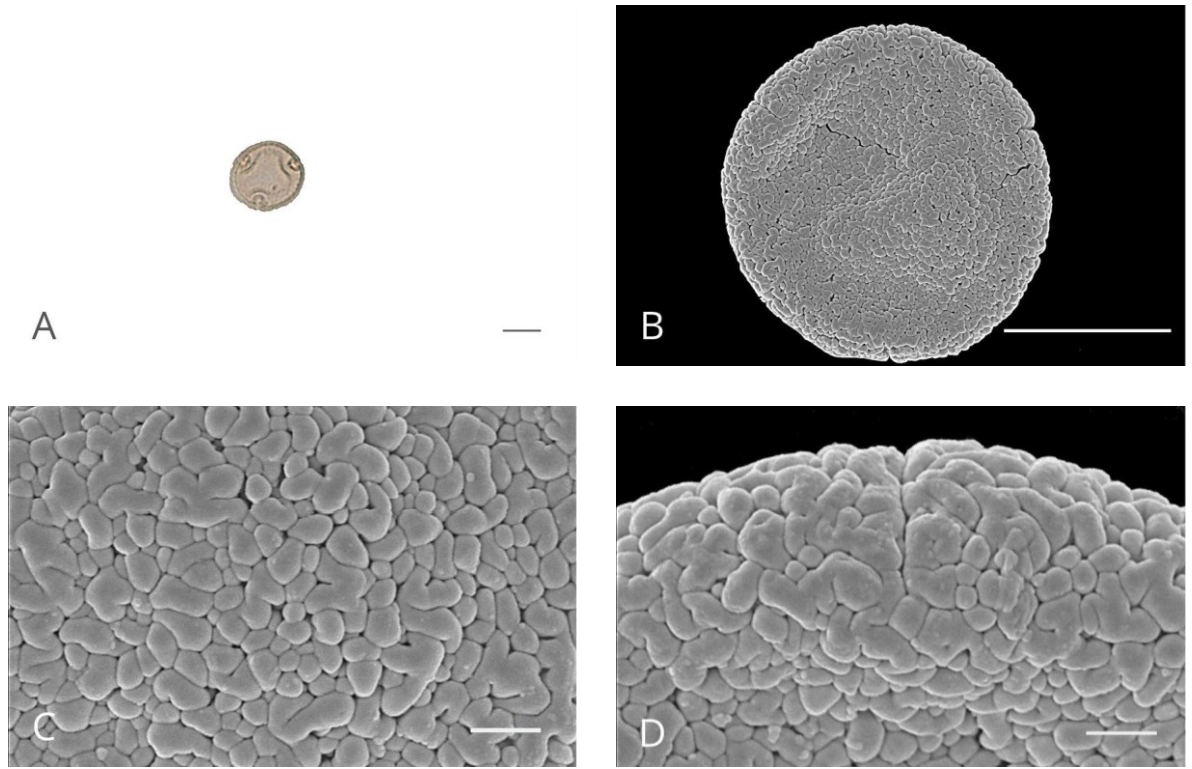
Abbildung A: Übersicht, Polansicht, LM, Balken=10µm

Abbildung B: Übersicht, Polansicht, REM, Balken=10µm

Abbildung C: Detail der Exine, REM, Balken=1µm

Abbildung D: Detail des Colporus, REM, Balken=1µm

Tafel 10



Tafel 11

Malvaceae (Malvengewächse)

Malvaceae gen. et spec. indet_3

Abbildung A: Übersicht, Polansicht, LM, Balken=10µm

Abbildung B: Übersicht, Polansicht, REM, Balken=10µm

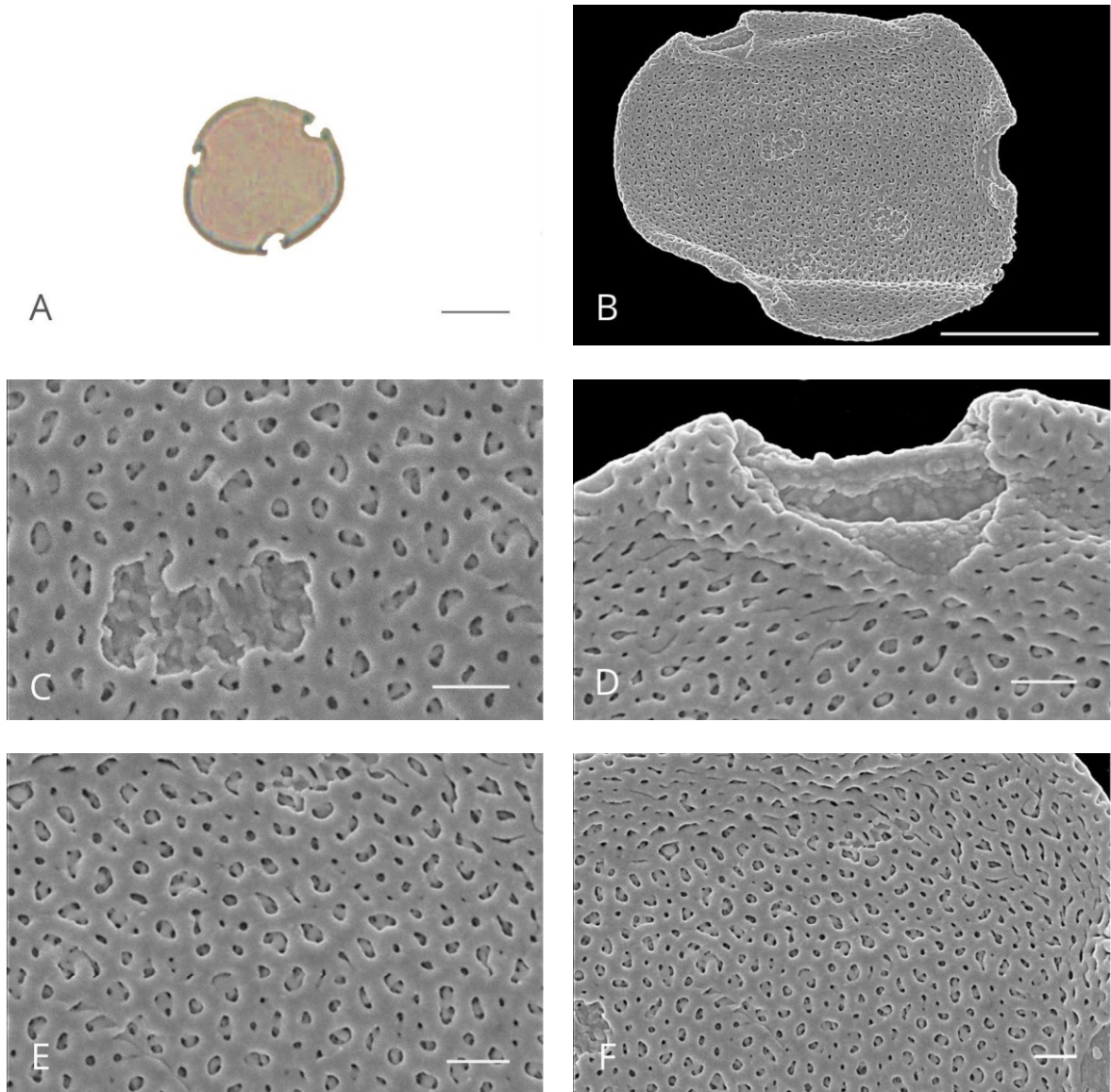
Abbildung C: Detail der Exine, mit Bakterienfraßspuren, REM, Balken=1µm

Abbildung D: Detail des Colporus, REM, Balken=1µm

Abbildung E: Detail der Exine, REM, Balken=1µm

Abbildung F: Detail der Exine, REM, Balken=1µm

Tafel 11



Tafel 12

Myricaceae (Gabelstrauchgewächse)

Myricaceae gen. et spec. indet.

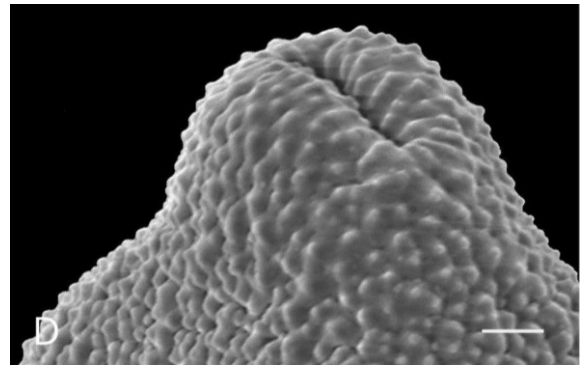
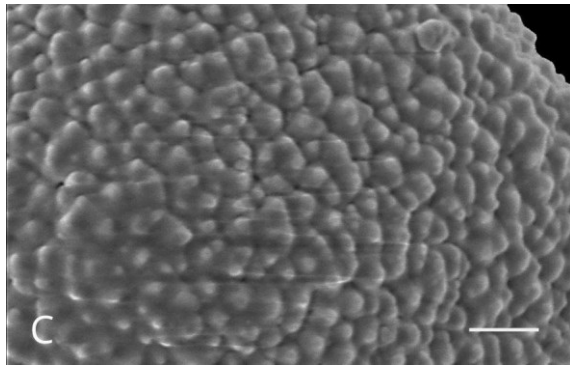
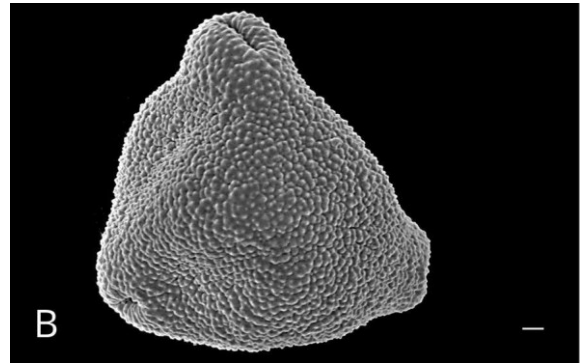
Abbildung A: Übersicht, Polansicht schräg, LM, Balken=10µm

Abbildung B: Übersicht, Polansicht schräg, REM, Balken=1µm

Abbildung C: Detail der Exine, REM, Balken=1µm

Abbildung D: Detail des Porus, REM, Balken=1µm

Tafel 12



Tafel 13

Rhamnaceae (Kreuzdorngewächse)

Rhamnaceae gen. et spec. indet.

Abbildung A: Übersicht, Äquatorialansicht, LM, Balken=10µm

Abbildung B: Übersicht, Polansicht, LM, Balken=10µm

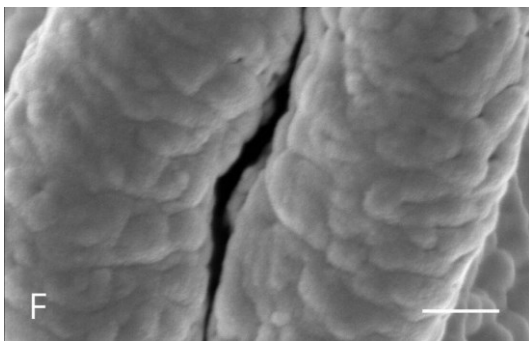
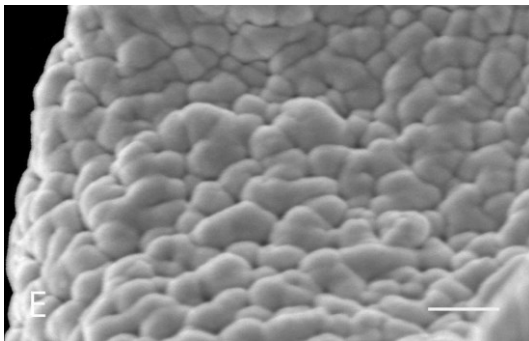
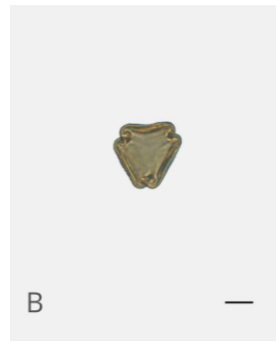
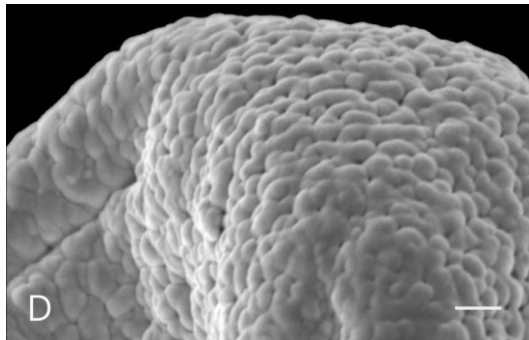
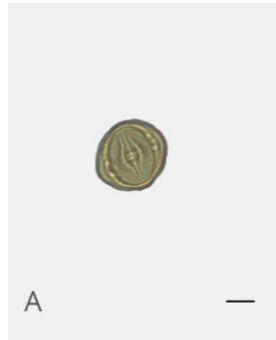
Abbildung C: Übersicht, Äquatorialansicht schräg, REM, Balken=10µm

Abbildung D: Detail des Pols, REM, Balken=1µm

Abbildung E: Detail der Exine, REM, Balken=1µm

Abbildung F: Detail des Colporus, REM, Balken=1µm

Tafel 13



Tafel 14

Salicaceae (Weidengewächse)

Salix spec. indet.

Abbildung A: Übersicht, Äquatorialansicht, LM, Balken=10µm

Abbildung B: Übersicht, Polansicht, LM, Balken=10µm

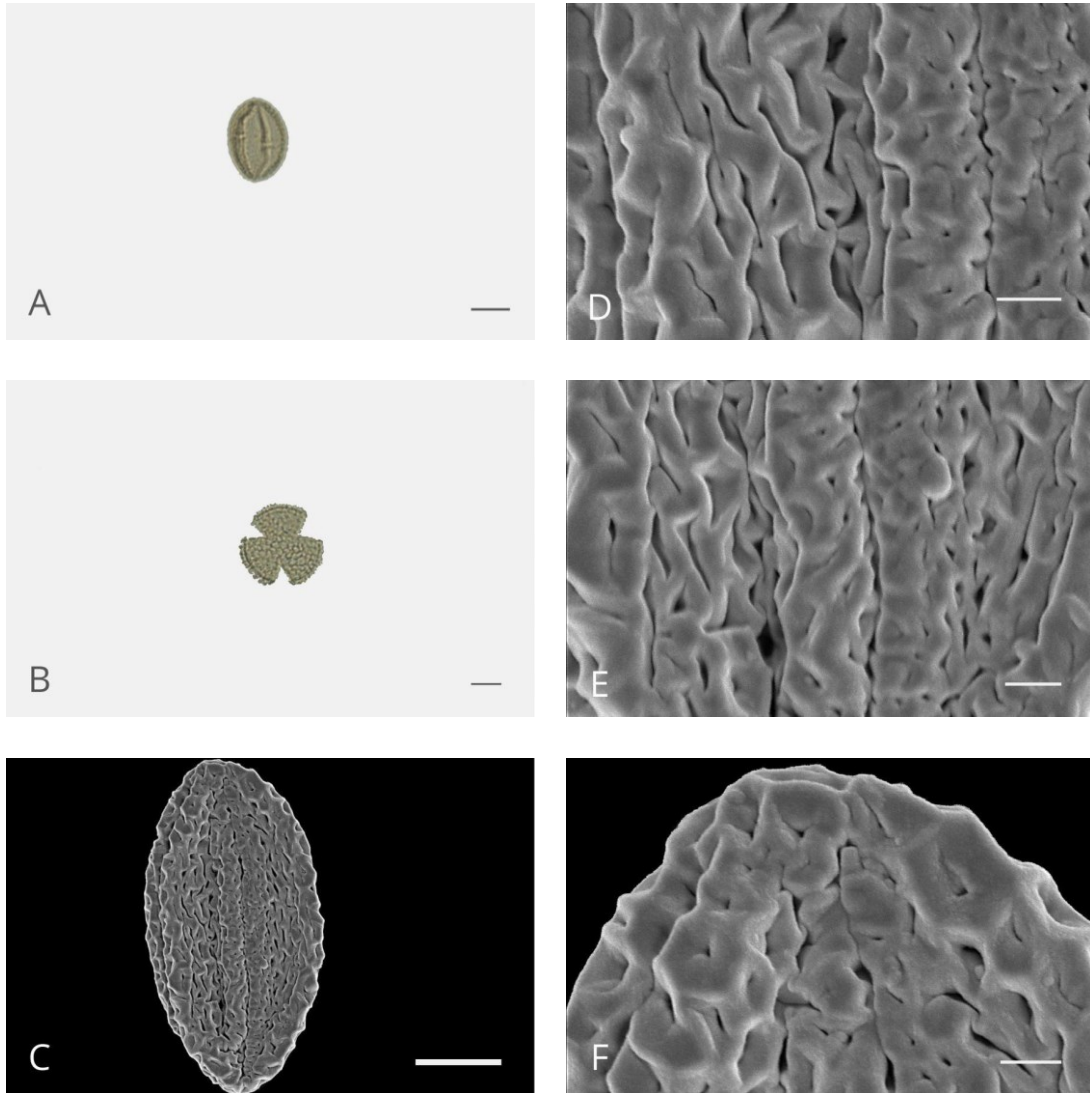
Abbildung C: Übersicht, Äquatorialansicht, REM, Balken=10µm

Abbildung D: Detail des Mesocolpiums, REM, Balken=1µm

Abbildung E: Detail des Colporus, REM, Balken=1µm

Abbildung F: Detail des Pols, REM, Balken=1µm

Tafel 14



Tafel 15

Sapindaceae (Seifenbaumgewächse)

Sapindaceae gen. et spec. indet.

Abbildung A: Übersicht, Polansicht, LM, Balken=10µm

Abbildung B: Übersicht, Äquatorialansicht, Colporus mittig, LM, Balken=10µm

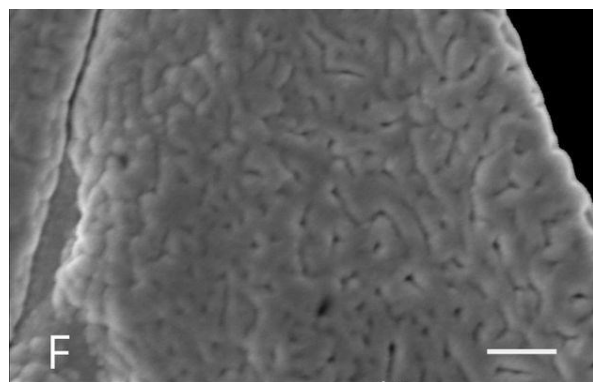
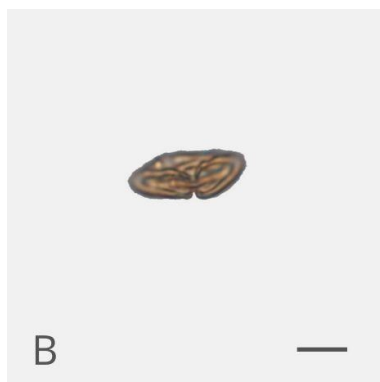
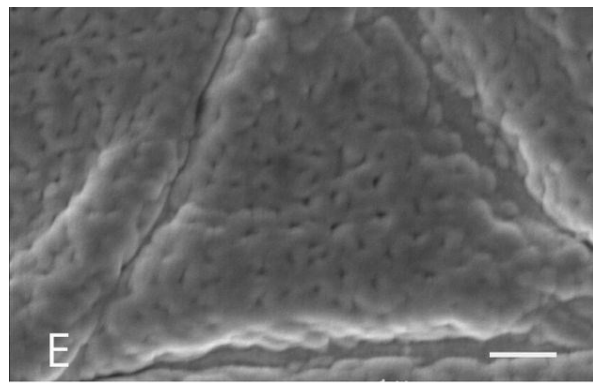
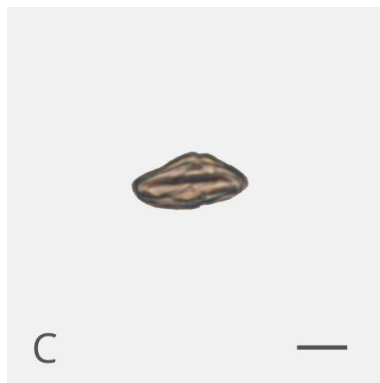
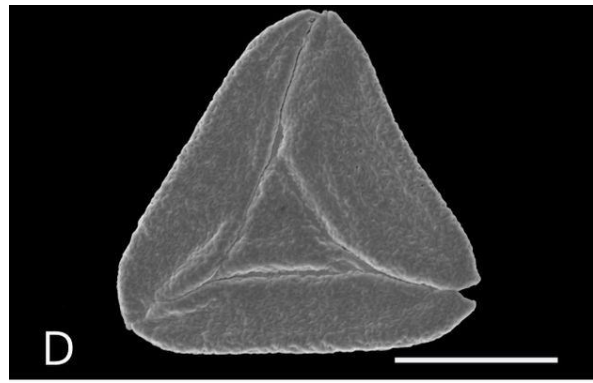
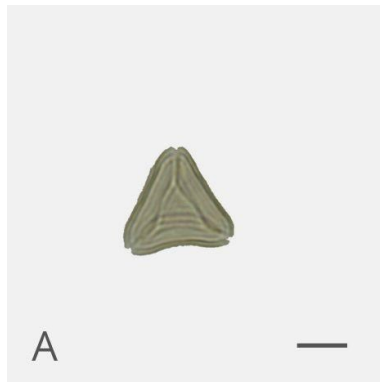
Abbildung C: Übersicht, Äquatorialansicht, LM, Balken=10µm

Abbildung D: Übersicht, Polansicht, REM, Balken=10µm

Abbildung E: Detail des Apicafeldes, REM, Balken=1µm

Abbildung F: Detail der Exine, REM, Balken=1µm

Tafel 15



Tafel 16

Vitaceae (Weinrebengewächse)

Parthenocissus spec. indet.

Abbildung A: Übersicht, Äquatorialansicht, LM, Balken=10µm

Abbildung B: Übersicht, Äquatorialansicht, REM, Balken=10µm

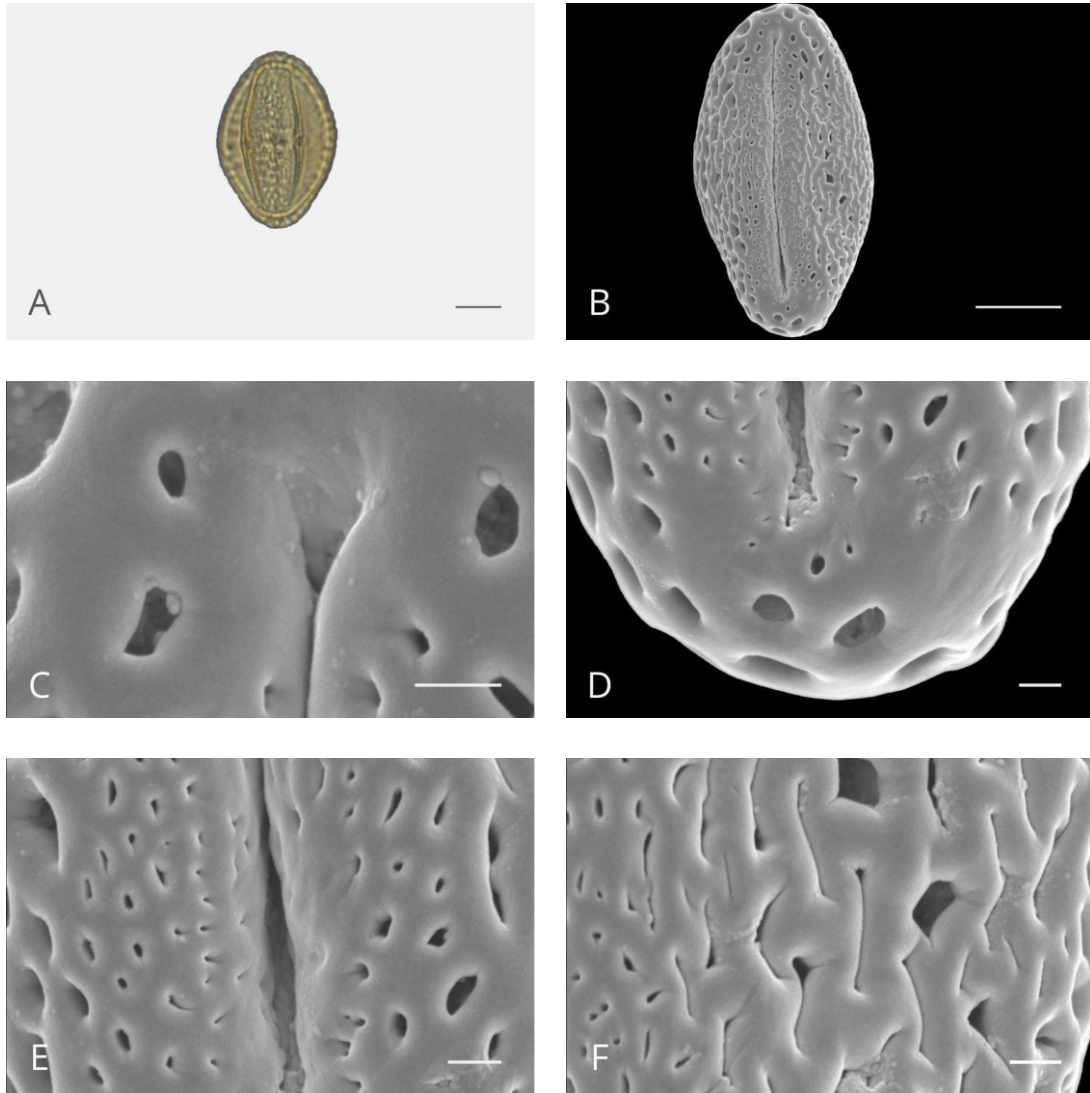
Abbildung C: Detail vom Endabschnitt des Colpus, REM, Balken=1µm

Abbildung D: Detail des Pols, REM, Balken=1µm

Abbildung E: Detail des Colporus, REM, Balken=1µm

Abbildung F: Detail des Mesocolpiums, REM, Balken=1µm

Tafel 16



Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Diplomarbeit war die morphologische Untersuchung und Beschreibung ausgewählter, fossiler Pollenkörner aus einer Gesteinsprobe aus dem Tagebau Profen (Deutschland), welche aus dem Zeitalter des Eozäns stammt. Die erhaltenen Pollen, die vermutlich zwischen 56 und 33,9 Millionen Jahre alt sind, wurden mithilfe des Lichtmikroskops (LM) und des Rasterelektronenmikroskops (REM) bildlich dargestellt. Die Bestimmung der Pollenkörner erfolgte mithilfe von Ao. Uni.-Prof. Mag. Dr. Zetter und mittels Fachbüchern und Artikeln, die in diesem Thema publiziert worden sind. Unter den analysierten Pflanzenfamilien sind: Adoxaceae mit der Gattung *Viburnum*, Cyrillaceae, Eucommiaceae mit der Gattung *Eucommia*, Hamamelidaceae mit der Gattung *Fortunaria*, Juglandaceae, Malvaceae, Myricaceae, Salicaceae mit der Gattung *Salix*, Sapindaceae und Vitaceae mit der Gattung *Parthenocissus*. Eine nähere Einordnung in die Systematik ist aufgrund fehlenden Vergleichsmaterials nicht möglich. Die Aufnahmen der fossilen Vertreter dieser Pflanzenfamilien wurden im Anhang zu Tafeln zusammengefasst, die detaillierte, morphologische Beschreibung der Pollenkörner erfolgt in einem separaten Kapitel mit dem Titel Ergebnisse.

Abstract

The aim of this diploma thesis was the morphological investigation and description of selected fossil pollen grains from a rock sample from the open-cast mining Profen (Germany), which dates from the Eocene era. The pollen obtained, probably between 56 and 33.9 million years old, were visualized using the light microscope (LM) and the scanning electron microscope (SEM). To determinate the pollen grains, I used the help of Ao. Uni.-Prof. Mag. Dr. Zetter and professional books and articles that have been published in this topic. The following plant families were analyzed: Adoxaceae with the genus *Viburnum*, Cyrillaceae, Eucommiaceae with the genus *Eucommia*, Hamamelidaceae with the genus *Fortunearia*, Juglandaceae, Malvaceae, Myricaceae, Salicaceae with the genus *Salix*, Sapindaceae and Vitaceae with the genus *Parthenocissus*. A more detailed classification in the system is not possible due to the lack of comparative material. The images of the fossil representatives of these plant families were summarized in tables and their morphology described in the corresponding chapters.