



DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Untersuchungen zum Pollenflug im Jahr 2013 im
Gebiet des Laaerbergs, Wien“

verfasst von

Theresa Weinberger

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, Mai 2015

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 190 445 299

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Lehramtsstudium UF Biologie und Umweltkunde UF
Psychologie und Philosophie

Betreuer:

ao. Univ. Prof. Dr. Reinhard Zetter

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mich bei dieser Arbeit und während meines gesamten Studiums unterstützt haben. Zu Beginn danke ich meinem Betreuer Univ.-Prof. Dr. Reinhard Zetter für die kompetente Betreuung. Durch ihn erhielt ich die Möglichkeit Erfahrungen im Bereich des wissenschaftlichen Arbeitens zu sammeln. Mit viel Geduld, Zeit und fachlicher Unterstützung hat er mir stets geholfen.

Mein großer Dank gilt auch meiner Familie und meinen Freunden, die mir während meines gesamten Studiums mit Rat und Tat zur Seite standen. Vor allem meine Eltern waren mir eine große Stütze.

Mein besonderer Dank geht an meinen Onkel Dr. Dieter Zahradnik, der mich in meinen gesamten Schreibprozess begleitet hat. Ich danke ihm, für sein konstruktives Feedback und seine motivierenden Worte. Zum Schluss danke ich meinem Freund Christian Wilfinger der mir meine Ziele auch in schwierigeren Situationen vor Augen gehalten hat.

Abstract

The following work focusses on an investigation concerning pollination and the possible use of its results in Biology classes in high school. For that purpose a study was performed at the Laaerberg in Vienna to find out details about the pollination. The results have been compared with a study from the Austrian Central Institution for Meteorology and Geodynamics as well as an earlier study from Stix (1981) performed in Munich, Germany. The comparison will show whether the results of the three studies correlate or whether the variety of locations results in high variation flight periods of different taxa.

The outcome and experiences of this comparison underwent a subject-didactic analysis and were compared with the goals of the curriculum for biology classes.

Palynology is able to deliver important biological knowledge for the students, but even more it may offer them some insight into actual biological research. On top of that it became clear that there are good possibilities to conduct simple experiments in the classroom. Finally, a teaching sequence to embed these experiments in the classroom was put together.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Untersuchung des Pollenflugs und der möglichen Anwendung im Biologieunterricht in der AHS. Zu diesem Zweck wurde eine Untersuchung des Pollenflugs 2013 am Laaerberg in Wien vorgenommen und mit Daten von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien sowie den Ergebnissen von Stix (1981) aus München verglichen. Der Vergleich soll zeigen, ob die Ergebnisse der drei Untersuchungen miteinander übereinstimmen oder ob es aufgrund der unterschiedlichen Standorte zu Abweichungen in den Flugperioden der unterschiedlichen Taxa kommt. Die Ergebnisse sowie die Erfahrungen des Vergleichs wurden einer fachdidaktischen Analyse unterzogen und den Zielen des Lehrplans für Biologie und Umweltkunde gegenübergestellt. Die Palynologie liefert den Schülern und Schülerinnen zentrale biologische Erkenntnisse, einen Einblick in ein aktuelles Forschungsgebiet und bietet zusätzlich die Möglichkeit Experimente im Klassenverband durchzuführen. Die daraus gewonnen Erkenntnisse wurden anschließend in einer Unterrichtssequenz zum Thema „Pollenflug“ umgesetzt.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Theoretische Einführung in die Palynologie	4
2.1. Palynologie	4
2.1.1. Grundlagenforschung	4
2.1.2. Angewandte Palynologie.....	5
2.2. Entstehung des Pollenkorns	6
2.3. Verbreitungseinheiten des Pollens.....	9
2.4. Aufbau des Pollenkorns	10
2.4.1. Aufbau der Pollenwand.....	11
2.4.2. Entstehung der Pollenwand.....	13
2.4.3. Pollenkitt	14
2.4.4. Pollengröße.....	15
2.4.5. Farbe der Pollenkörner	15
2.5. Transport der Pollenkörner	16
2.5.1. Anemogamie (Windbestäubung).....	17
2.5.2. Zoogamie (Tierbestäubung)	20
2.5.3. Hydrophilie (Wasserbestäubung).....	24
2.6. Aeropalynologie.....	26
2.6.1. Freisetzung der Pollenkörner	26
2.6.2. Transport und Ausbreitung.....	28
2.6.3. Aufzeichnung des jahreszeitlichen Pollenflugs.....	31
2.7. Iatropalynologie (Heufieberpollenforschung)	33
2.8. Terminologie.....	38
3. Praktischer Teil	41
3.1. Beschreibung des Standortes	41
3.2. Materialien und Methoden.....	42

3.2.1. Auszählen der Pollenkörner	42
3.2.2. Lichtmikroskopische Untersuchung.....	42
3.2.3. Erstellung der Tafeln.....	43
3.2.4. Ergebnisse der Auswertung.....	43
3.3. Vergleich mit dem Pollenkalender von Stix	50
3.4. Vergleich der Untersuchungen:	
Laaerberg 2013, ZAMG 2013 und Stix 1971-1976.....	52
3.4.1. Zusammenfassung der Ergebnisse	55
3.5. Pollenbeschreibung.....	58
4. Fachdidaktische Theorie.....	66
4.1. Lehrplan	66
4.2. Faktoren für eine gute Unterrichtsplanung	67
4.3. Arbeitsunterricht	69
4.4. Das exemplarische Lernen	70
4.5. Das Experiment.....	71
4.6. Mikroskopieren im Unterricht	75
5. Analyse der Anwendbarkeit der forschenden Palynologie im Unterricht	77
5.1. Überprüfung des Lehrplans und mögliche Einsatzbereiche	77
5.2. Didaktische Werte des Lehrplans	77
5.3. Reflexion der durchgeführten Methode in Bezug auf den Schulunterricht	79
5.4. Die Bedeutung der Palynologie für den Unterricht	81
5.5. Vorstellung der Unterrichtsidee	82
6. Zusammenfassung	88
7. Literaturverzeichnis	91
8. Internetquellen.....	93
9. Abbildungsverzeichnis	94
10. Tabellenverzeichnis	95
11. Tafeln I - III	

12. Lebenslauf	104
-----------------------------	------------

1. Einleitung

Die vorliegende Diplomarbeit trägt den Titel „Untersuchungen zum Pollenflug im Jahr 2013 im Gebiet des Laaerbergs, Wien“.

Im ersten Kapitel wird ein kurzer Überblick über das Thema gegeben, die Forschungsfragen dargelegt sowie die Methodik und die Gliederung der Arbeit erklärt. Insgesamt 6 Kapitel verhelfen dazu, dem Leser, der Leserin eine gute Übersicht zu gewähren und strukturiert näher zu bringen.

Die Palynologie ist die Wissenschaft von den Pollen und Sporen und beschäftigt sich mit der Vielseitigkeit, dem morphologischen Aufbau sowie den Übertragungsmechanismen und Entstehungsprinzipien von Pollenkörnern. Pollen erlangten ihre Popularität vor allem dadurch, dass die männlichen Gametophyten von bestimmten Bäumen, Sträuchern oder Gräsern bei empfindlichen Menschen allergische Reaktionen verursachen können. (Hesse, 2012)

Die Palynologie etablierte sich als selbstständige Grundlagenwissenschaft und ist für viele benachbarte wissenschaftliche Disziplinen (Geologie, Klimatologie, Geochronologie, Paläontologie, medizinische Allergieforschung und Forensik) eine wichtige Hilfswissenschaft. (Hesse, 2012)

Trotz dieser weitreichenden Einsatzmöglichkeiten in andere Disziplinen, der maßgeblichen Rolle des Pollenkorns in der pflanzlichen Entwicklung und der Möglichkeiten an forschendem Lernen im Schulunterricht, erfährt die Palynologie in der Schule wenig Einsatz.

Der Lehrplan für die Allgemein bildende Höhere Schule (AHS) gibt Ziele vor, die im Unterricht erreicht werden müssen und die Lehrpersonen haben die Aufgabe, ihren Unterricht in gewissenhafter und eigenständiger Weise entsprechend zu gestalten. Der Lehrer, die Lehrerin hat die Verantwortung über die Unterrichtsinhalte und Unterrichtsmethoden zielführend auszuwählen, Lernsituationen zu gestalten, Lernprozesse einzuleiten und zu begleiten, Zugänge zu Wissen zu ermöglichen, selbst Informationen anzubieten und Gelegenheiten zu schaffen, Fähigkeiten zu entwickeln sowie Erfahrungen und Eindrücke zu vermitteln. (<https://www.bmbf.gv.at>, 07.03.2015)

Die vorliegende Diplomarbeit soll klären, ob nach dem österreichischen Lehrplan für die AHS der Einsatz der Palynologie im Unterricht zielführend ist und die im Lehrplan geforderten Ziele damit erfüllt werden können.

Mittels einer einfachen und kostengünstigen Analyse des Pollenflugs 2013 am Laaerberg soll die Anwendungsorientiertheit für den Schulunterricht überprüft und untersucht werden. Auf diese Weise soll festgestellt werden ob das Sammeln und Untersuchen von Pollenkörnern für den Unterricht geeignet ist und welche Vorteile und Nachteile dieser forschungsorientierte Unterricht mit sich bringt.

Forschungsfragen

Folgende Forschungsfragen wurden zur Klärung dieser Anliegen formuliert:

1. Zeigt die Auswertung des Pollenflugs 2013 am Laaerberg mit dem Pollenkalender von Stix (1981) und den Daten von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) aus dem Jahr 2013 Übereinstimmungen?
2. Inwiefern ist es sinnvoll, den Pollenflug in Form von forschendem Lernen im Unterricht zu behandeln?

Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in einen theoretischen, einen praktischen und einen fachdidaktischen Teile. Der erste theoretische Teil der Arbeit basiert auf einer umfangreichen Literaturrecherche, gibt eine Einführung in die Palynologie und geht anschließend auf die Anemogamie genauer ein. Unterkapitel 2.2 dient dazu, die Entstehung, den Aufbau und die morphologischen Merkmale des Pollenkorns zu beschreiben. Auf diesen allgemeinen Teil aufbauend beschäftigt sich Unterkapitel 2.5. bereits konkret mit den verschiedenen Transportmedien der Pollenkörner, woraufhin Unterkapitel 2.6. näher auf die Beschreibung der Aeropalynologie eingeht. Das letzte Unterkapitel des theoretischen Teils widmet sich der Iatropalynologie. Das Kapitel „Terminologie“ dient dazu, die maßgeblichen Begriffsdefinitionen klargestellt, um die Nachvollziehbarkeit des praktischen Teils zu gewährleisten.

Dieser theoretische Teil dient als Basis für die Ergebnisse der lichtmikroskopischen Analysen. Im ersten Teil des praktischen Kapitels befindet sich zunächst die Beschreibung des Standortes und der durchgeführten Untersuchungsmethoden. Im darauffolgenden Unterkapitel 3.3 werden die Auswertungen und Ergebnisse vorgestellt. Unterkapitel 3.4 stellt den Pollenkalender von Stix vor, welcher anschließend zum Vergleich mit den Untersuchungen von 2013 am Laaerberg und auf der Hohen Warte (ZAMG) herangezogen wird. Der praktische Teil endet mit der Zusammenfassung der Ergebnisse und der Beschreibung der aufgefundenen Pollenkörner. Im fachdidaktischen Teil werden die

Vorteile eines praktischen Schulunterrichts behandelt. In einzelnen Unterkapiteln werden die Themen „Lehrplan“, „Faktoren für einen guten Unterricht“, „Arbeitsunterricht“, „exemplarisches Lernen“, „Experimentieren“ und „Mikroskopieren“ betrachtet.

Das Kapitel fünf legt sein Augenmerk auf die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage, indem der Einsatz der Palynologie im Unterricht diskutiert wird.

Zuletzt erfolgt die Zusammenfassung der zuvor erarbeiteten Recherchen, um eine endgültige Conclusio zu erstellen. Mit dieser Darstellung schließt die Arbeit letztlich ab.

.

2. Theoretische Einführung in die Palynologie

2.1. Palynologie

Im Jahr 1943 gaben Hyde & William der Pollen- und Sporenkunde mit dem Wort Palynologie eine eigene Bezeichnung und kennzeichneten so ein neues Spezialgebiet in der Botanik. Der Begriff Palynologie stammt aus dem Griechischen und bedeutet so viel wie „die Lehre des Blütenstaubes“ (pale=Staub, logos=Lehre). Es ist zu erwähnen, dass trotz des relativ jungen Begriffs, Palynologie, die Anfänge der Pollenforschung auf das 17. Jahrhundert zurückzuführen sind. (Klaus, 1987)

„Unter Palynologie versteht man die Wissenschaft von der lebenden und fossilen Sporen- und Pollengeneration der Pflanzen in Grundlagenforschung und dessen Anwendungsbereich“. (Klaus, 1987)

Die Palynologie beschäftigt sich Großteils mit den Wänden der Sporen und Pollenkörner sowie deren Ausbreitung. Die Wände dieser Objekte erhalten so eine große Bedeutung, da sie sehr mannigfaltig und trachtenreich ausgebildet sind und aufgrund ihrer hohen Widerstandsfähigkeit und der daraus resultierenden leichten Erhaltung bedeutsam für die Mikro-Paläobotanik sind. (Straka, 1975) Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Arbeit auf die Entstehung der Pollenwand und den Aufbau des Pollenkorns genau eingegangen.

Um einen Überblick über das Forschungsgebiet Palynologie vermitteln zu können, wird im folgenden Absatz die Einteilung der Palynologie nach Erdtman 1963, welche 1969 von Straka ergänzt wurde, aufgelistet:

2.1.1. Grundlagenforschung

- **Pollen und Sporenmorphologie**

Dieses Fach liefert die Grundlagen über den Bau der Sporen- und Pollenwand.

- **Theoretische Grundlagen der angewandten Palynologie**

Es wird unter anderem die Produktion, die Ausbreitung und die Ausbreitung von Sporen und Pollenkörnern (Aeropalynologie) sowie die unterschiedliche Widerstandsfähigkeit der Sporen-, und Pollenwände in verschiedenen Medien behandelt. (Straka, 1975)

2.1.2. Angewandte Palynologie

- **Systematische Palynologie (Palynosystematik)**

Die Pollen- und Sporenmorphologie wird zur systematischen Einteilungen genutzt oder zur Feststellung von Verwandtschaftsbeziehungen verwendet.

- **Geo-oder Palaeopalynologie (Pollenanalyse)**

Hierbei handelt es sich um die Erforschung fossiler Sporen und Pollenkörner aus jüngeren und älteren Ablagerungen. Diese Untersuchungen tragen dazu bei, dass zum Beispiel für das Quartär die Vegetationsgeschichte und damit auch die Klimageschichte rekonstruiert werden kann.

- **Iatropalynologie**

Die Iatropalynologie kommt in der Medizin zum Einsatz. Allergien und Heufieber können durch den Pollen diverser Pflanzen ausgelöst werden.

- **Melitopalynologie(Honigpollenanalyse)**

Die Melitopalynologie beschäftigt sich mit der Herkunftsbestimmung (Land bzw. Tracht-Pflanze) von Pollenkörnern die im Honig gefunden werden.

- **Fluoreszenz-Palynologie**

Mit Hilfe der Fluoreszenz der Exine kann ihr Alter festgelegt werden.

- **Kryopalynologie**

Im Gletschereis bleiben Pollenkörner und Sporen erhalten. Anhand dieser Pollenkörner können Fragen der Gletscherkunde erforscht werden.

- **Pharmakopalynologie**

Pollenkörner in Drogen können herangezogen werden um Aufschluss über die Echtheit der vorliegenden Substanzen zu geben.

- **Forensische Palynologie**

Die männlichen Gametophyten werden in der Kriminologie herangezogen, um zum Beispiel den Tatort oder Aufenthaltsort von Verbrechern zu bestimmen.

- **Phytopathologie**

Die Anwendung der Sporenkunde (parasitische Pilze) dient dazu, um Wissen über die Ausbreitung von Pflanzenkrankheiten zu erlangen.

- **Kopropalynologie.**

Mit Hilfe von Pollenkörnern in rezentem oder fossilem Tierkot können die Futterpflanzen der Tiere bestimmt werden. (Straka, 1975)

Diese Einteilung zeigt den vielfältigen Einsatzbereich der angewandten Palynologie und welchen bedeutenden Einfluss Sporen- und Pollenkörner für diverse Fachbereiche haben indem sie durch ihre Bestimmung zur Aufklärung konkreter Fragen beitragen können.

Es ist interessant zu beobachten, dass es eine enorme Vielfalt an Variation der Pollenarten gibt. Es wird davon ausgegangen, dass es tausende unterschiedliche Pollenkörner gibt, wobei eine Pflanzenspezies meist nur einen Pollentyp hervorbringt. Einige nah verwandte Pflanzenarten und Familien produzieren zueinander sehr ähnliche Pollenkörner, welche meist schwer voneinander abzugrenzen sind und somit die Bestimmung erschweren. Als Beispiel ist die Familie der *Poaceae* zu nennen, ihre unterschiedlichen Arten lassen sich betreffend ihrer Gestalt und anderen Merkmalen schwer voneinander unterscheiden. Oft unterliegt der Pollen einer Pflanzenfamilie spezifischen Merkmalen, welche innerhalb ihrer Arten von verschiedenen Variationen gekennzeichnet sind. (Kessler & Harley, 2008)

2.2. Entstehung des Pollenkorns

Wirft man einen Blick in die für das gegenständliche Thema einschlägige Literatur, so trifft man meist bei der Einführung auf die Begriffsdefinition des Pollens. Das Wort „Pollen“ leitet sich aus dem Lateinischen ab und bedeutet „sehr feines Mehl“. Es bezeichnet so die Gesamtheit der Pollenkörner einer Blüte. (Dany, 1990)

Das Pollenkorn, welches im Normalfall nur mit dem Mikroskop wahrgenommen werden kann, zeigt unter mikroskopischer Betrachtung eine faszinierende Gestalt und zahlreiche weitere Merkmale. Im Hinblick auf die zahlreichen weiteren Eigenschaften ist hervorzuheben, dass das Pollenkorn nicht auf seine äußeren Merkmale zu reduzieren ist, sondern sich besonders durch seine Effizienz und Funktionalität auszeichnet. (Kessler & Harley, 2008)

Als Pollenkorn bezeichnet man eine Mikrospore, welche einen reduzierten männlichen Gametophyten beinhaltet. (Straka, 1975)

Um zu verstehen welche bedeutende Rolle das Pollenkorn in der Entwicklung unserer Pflanzenwelt einnimmt und um die weiterführende Thematik genauer erklären zu können, wird nachstehend erstmals auf die Sexualorgane einer Blüte, welche für die Fortpflanzung entscheidend sind, eingegangen.

Um folgende Organe einfacher zu erläutern, wäre das Beispiel der Gärtnerlilien (*Lilium – Kultivare*) zu nennen. Der Grund dafür ist, dass sie wie die Mehrheit der Pflanzenarten

über eine hermaphroditische Blüte verfügt, in welcher sowohl die männlichen als auch die weiblichen Geschlechtsorgane verankert sind und sie zudem große Fortpflanzungsorgane aufweist. Das weibliche Geschlechtsorgan, welches aus der Mitte der Blüte hervorragt, wird als Pistill bezeichnet und weist auf der Spitze ein dreilappiges Stigma auf. Der Stylus, welcher sich unterhalb des Stigmas befindet, verfügt über einen zentralen Kanal und führt hinab bis zu den Fächern des Ovars. Als Ovar wird der Teil des Stempels verstanden, in dem sich die Samenanlage mit den Eizellen befindet. Die Stamina sind die männlichen Geschlechtsorgane und umgeben das Pistill in sechsfacher Anzahl. Die Stamina findet man häufiger zu dritt (oder in Vielfachem von drei), zu fünf (oder in Vielfachem von fünf) oder in vielfacher Anzahl in der Blüte vor. Bei vielen Pflanzen weisen Stamina und Pistille eine hohe Variation betreffend ihre äußeren Form sowie in Struktur und Form auf. (Kessler & Harley, 2008)

Die Pollenkörner sind in den Antheren aufzufinden. Die Antheren bei der Lilie befinden sich auf den Stamen und werden von einem dünnen, stengelartigen Filament getragen. Eine Vielzahl von Antheren beherbergt zwei Fächer oder Theken, welche wiederum in zwei Abteile oder Pollensäcke aufgesplittet sind. Die Theken stehen durch ein Gewebe, das Konnektiv, miteinander in Verbindung und reißen für gewöhnlich der Länge nach auf, wenn sie reif sind und setzen dabei hunderte bis tausende Pollenkörner frei. (Kessler & Harley, 2008)

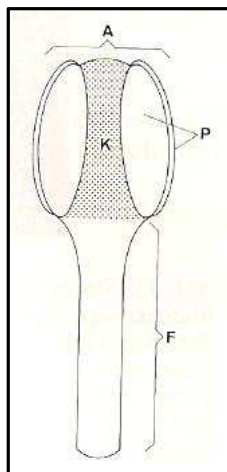


Abbildung 1: Staubgefäß
A Anthere, K Konnektiv, F Filament, P Pollensäcke
 Quelle: Leins, 2000

Besonders hervorzuheben ist, dass die Pollenkörner sehr kurzlebig sind. Da ihre Überlebensdauer nur wenige Tage beträgt, müssen sie nach der Freisetzung schnell verteilt

werden, um eine erfolgreiche Befruchtung durchführen zu können. (Kessler & Harley, 2008)

Im Nuzellus der Samenanlage wird die Makrospore gebildet, welche bei einfachen Nacktsamern von einer derben Wand und bei den Bedecktsamern von einer dünnen Zellwand umgeben ist. In Folge der Entwicklung wird die Makrospore als Embryosack bezeichnet, da sich darin der weibliche Gametophyt entwickelt. Vergleicht man die Nacktsamer mit den Bedecktsamern, lässt sich erkennen, dass bei den Gymnospermae der weibliche Gametophyt weniger stark reduziert ist als bei den Angiospermae. Die Mikrospore der Samenpflanzen hingegen entwickeln sich aus spezialisierten Zellen in den Antheren, welche von einer schützenden inneren Schicht, dem Tapetum, umhüllt sind. (Kessler & Harley, 2008)

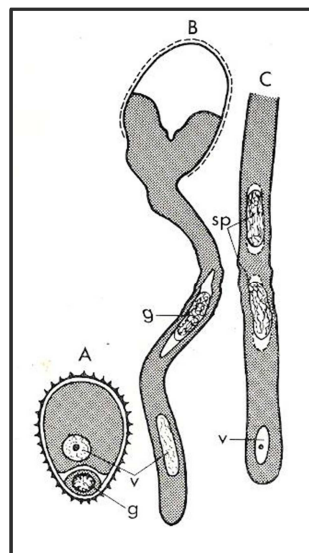


Abbildung 2: A Pollenkorn, B Männlicher Gametophyt von Lilium martagon
Quelle: Straka, 1975

Jene Sporen, welche den männlichen Gametophyten beherbergen, werden als Pollenkörner bezeichnet. Auch bei dem stark reduzierten männlichen Gametophyt lässt sich ein Unterschied zwischen den Nackt- und Bedecktsamern erkennen, da er bei Ersteren aus mehreren und bei Zweiteren aus nur mehr drei Zellen besteht. (Straka, 1975)

Die Pollenmutterzelle, welche sich durch einen doppelten Chromosomensatz auszeichnet, durchläuft die Meiose, wodurch in Folge vier gleichwertige haploide Tochterzellen entstehen. In diesem Zusammenhang wird von „Tetrade“ oder weniger gewöhnlich von „Polyade“ oder „Pollinium“ gesprochen. Der Unterschied ist, dass sich die Pollenkörner in einem Tetraderverband vor der Reifung in einzelne Pollenkörner (Monaden) aufteilen, Polyaden und Pollinien hingegen stabil bleiben. Die Bildung zu vollentwickelten

Pollenkörnern kann je nach Art Stunden, Tage oder Wochen dauern. In diesem Schritt durchläuft der Zellkern jedes ausgeformten Pollenkorns eine Mitose, wobei sich der Zellkern teilt. Das Pollenkorn verfügt nun über eine vegetative Zelle (Pollenschlauch), welche den vegetativen Kern beherbergt und eine generative Zelle (Fortpflanzungszelle), die den generativen Zellkern enthält. Das reife Pollenkorn verfügt daher über mindestens zwei Zellkerne (Kessler & Harley, 2008)

In der Natur sind auch Familien vorzufinden, bei der sich die generative Zelle erneut teilt, so dass am Ende ein dreikerniger Pollen gebildet wird. Nachdem es sich bei den Pollenkörnern um sehr kurzlebige Gebilde handelt, ist es von essenzieller Bedeutung, dass sie schnell von den Antheren freigesetzt werden, um eine erfolgreiche Befruchtung zu ermöglichen. (Kessler & Harley, 2008)

2.3. Verbreitungseinheiten des Pollens

In Zusammenhang mit den Verteilungsmöglichkeiten des Pollens ist zu erwähnen, dass bei der Mehrheit der Pflanzenarten die Pollenkörner einzeln (Monade) aus den Antheren ausgestoßen werden. Der Vollständigkeit halber wird jedoch in Folge auch auf einige andere Gegebenheiten eingegangen. Pollenkörner können nach erfolgreicher Reifung neben der einzelnen Verbreitung auch in Tetraden und Polyaden ausgeworfen werden. (Kessler & Harley, 2008)

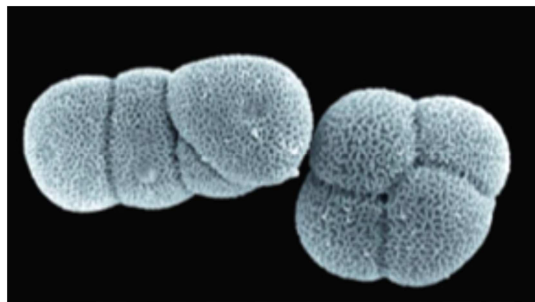


Abbildung 3: Pollentetraden
Quelle: Hesse, 2012

Zu den Vertretern mit Tetraden, wobei die Pollenkörner zu viert freigesetzt werden, gehören viele Arten der Heidekraut Familie (*Ericaceae*) wie auch eine Nachtkerze Gattung (*Fuchsia*). Die Polyaden hingegen, welche aus einem Vielfachen von vier bestehen, treten unter anderem bei *Acacia* und *Mimosa* (Familie *Leguminosae*) auf. (Kessler & Harley, 2008)

Insbesondere hervorzuheben ist, dass bei den beiden Familien *Orchidaceae* und *Asclepiadaceae* eine andere Verbreitungseinheit, nämlich das Pollinium existiert. Kennzeichnend ist, dass bei dieser Verbreitungseinheit die Pollenkörner in mehr oder weniger kompakten miteinander verbundenen Paketen, den Massulen ausgeworfen werden. Wie bei den Antheren vieler anderer Familien findet man vier Pollinien vor, welche in der selbigen Anzahl an Pollensäcken unterteilt sind. Zu unterscheiden ist, dass die vier Pollinien zusammen auf einen einzelnen Stiel (Caudiculum) oder in Paaren auf zwei Stielen (Caudiculen) positioniert sein können. Als Viscidium wird die Klebdrüse bezeichnet welche die Massulen mit dem Caudiculum verbindet. Hier wird vom Pollinarium gesprochen. (Kessler & Harley, 2008)

2.4. Aufbau des Pollenkorns

Ein wesentliches Element des Pollenkorns ist ein klar strukturierter Aufbau. Die Pollenhülle schützt den pflanzlichen männlichen Gametophyt während der Verbreitung. Im Gegensatz zu den tierischen Spermien liegt vor den männlichen Gametophyten eine längere Distanz bis sie zu den Eizellen gelangen, in der sie nicht geschützt sind. Hierbei besteht die Gefahr auszutrocknen, wodurch eine Befruchtung nicht mehr möglich wäre. Um Fremdbestäubung zu gewährleisten mussten die Pflanzen Mechanismen entwickeln, die es ihnen ermöglichen, ihr Erbgut in geschützter Form über längere Strecken zu transportieren. Das Ergebnis ist, dass das männliche Gen von einem luftdichten Behälter umgeben ist, der während des Transports vor dem Austrocknen schützt und über mindestens eine Öffnung verfügt, um den Pollenschlauch den Austritt zu ermöglichen. Um eine Keimung durchführen zu können, muss dieser Behälter auch Feuchtigkeit absorbieren können. (Kessler & Harley, 2008)

Grundlegend ist zu sagen, dass ein Pollenkorn aus folgenden drei Bestandteilen aufgebaut ist:

- a. Lebender Zellinhalt
- b. Intine
- c. Exine

Aufgrund dessen, dass der Zellinhalt für die Bestimmung keine wesentlichen Kriterien liefert, wird dieser für die mikroskopischen Betrachtung entfernt. (Klaus, 1987)

2.4.1. Aufbau der Pollenwand

Die Pollenwand weist zwei charakteristische Schichten auf:

- a. innere und lückenlose Intine
- b. äußere Exine. (Klaus, 1987)

Die Intine, welche die Zelle umgibt, lässt zwei bis drei schlecht strukturierte Schichten erkennen, wobei die innere Membran aus Zellulose und die äußere aus Pektin besteht. Die zarte Intine ist gegenüber Chemikalien nicht widerstandsfähig (Straka, 1975)

Die lamellaren Schichten von Zellulose und Pektin verleihen ihr eine stark quellfähige Eigenschaft. Unterhalb einer präformierten Keimstelle kann sich ein Oncus bilden. Hierbei handelt es sich um eine Verdickung, welche bei der Keimung durchbricht und somit die Wandschicht des Pollenschlauches bildet. (Klaus, 1987)

Es wurde bereits erwähnt, dass Sporen- und Pollenkörner sehr widerstandsfähig sind. Diese Eigenschaft ist auf die zweite Schicht, die Exine, zurückzuführen. Sie erhält die Eigenschaft von ihrem sporopollenen Aufbau. (Straka, 1975) Bei den Sporopollenen handelt es sich um hochpolymere Ester und Fettsäuren oder Carotinoide. Diese spezifische Schicht führt dazu, dass ein Pollenkorn unter günstigen Bedingungen über Jahrtausende erhalten werden kann. (Dany, 1990)

Typisch für die Exine sind ihre mehrfache Schichtung sowie ihr kompliziertes Kammersystem. Die Untersuchungen mit dem Lichtmikroskop zeigen, dass über die Intine die Nexine zu liegen kommt. Oberhalb der Nexine befindet sich die Sexine, die für die meisten Strukturdetails der Exine verantwortlich ist. Das Elektronenmikroskop ermöglicht eine Differenzierung in detaillierte Schichten. Es kann zwischen der Fußschicht, dem darüber liegende Kammersystem und in dem Tectum unterschieden werden. Diese drei Schichten werden als Ektexine bezeichnet. Das Kammersystem wird meist von Columellae (Säulen) gebildet. Die Enden der Columellae bilden das geschlossene Tectum. Es gibt auch Pollenkörner, bei denen sich die Säulchen an den Enden nicht verdicken, sondern zu einem netzförmigen Muster (Retikulum) aneinanderfügen. An der Oberfläche des Tectums kann es zur Ausbildung von verschiedenen Skulpturen kommen, wie zum Beispiel Warzen (Verrucae), und Dornen (Spinae). (Klaus, 1987)

Ein weiteres Charakteristikum der Exine ist, dass meist eine oder mehrerer Keimöffnungen vorhanden sind, welche den Austritt des Pollenschlauches bei der Fortpflanzung

ermöglicht. Die Anzahl der Öffnungen unterliegt keiner hohen Variation innerhalb der Arten und dient deswegen auch als ein grundlegendes Bestimmungskriterium. Die feine Aperturmembran, welche unter Druck aufreißen kann, bedeckt die Keimöffnungen oder Aperturen, und verhindert zusätzlich die Austrocknung. (Kessler & Harley, 2008)

Beide Schichten (Intine und Exine) dienen dem Schutz von vegetativer und generativer Zelle während des Transports zum Stigma des Pistills, wobei die Exine durch ihre Korrosionsresistenz eine bedeutendere Funktion einnimmt. Die Intine hingegen schützt in weiterer Folge die Spermazelle während des Keimvorgangs. (Kessler & Harley, 2008)

2.4.2. Entstehung der Pollenwand

Wie elektronenmikroskopische Untersuchungen zeigen, wird das Archespor (pollenbildendes Gewebe) im Pollensack vom Tapetum (Nährgewebe) umgeben. In diesem Organ bildet sich die Pollenmutterzelle aus, welche nach der Reduktion (Meiose) die Mikrosporen hervorbringt und nach anschließender Teilung (Mitose) im Inneren zu Pollenkörnern wird. Nach dieser Reduktion aus den Pollen- oder Mikrosporenmutterzellen entsteht ein Tetradenstadium, welches für die Morphologie der Pollenwand eine bedeutende Rolle spielt. Einige monokotyledone Pollenkörner verfügen zum Beispiel über eine schlitzförmige Keimstelle für den Pollenschlauch. Diese Keimstelle wird als Sulcus bezeichnet und wird in jenem Bereich gebildet, der die anderen drei Pollenkörner der Tetrade nicht berührt. Dieser sogenannte distale Bereich ist vom Zentrum der Tetrade am weitesten entfernt. Bei den Dikotyledonen ist hingegen ein dreifaltiges (tricolpates), dreiporiges (triporates) oder dreiporfaltiges (tricolporates) Pollenkorn häufig anzutreffen. Untersuchungen zeigten, dass die Pollenmutterzellen, welche sich mit Hilfe von Mitose entwickeln, sich untereinander durch Kanäle verbinden können, die für das Zellplasma passierbar sind. Die Pollenmutterzelle kann sich vergrößern und umhüllt sich mit einer amorphen Callose-Schicht. Diese Schicht separiert die einzelnen Pollenmutterzellen voneinander, da nicht einmal kleine Moleküle in der Lage sind, diese zu durchqueren. Anschließend erfolgt die Zellteilung und Tetradenbildung. Es entstehen vier voneinander getrennte Mikrosporen welche von Callose umgeben sind. Die Callose hilft der Mikrosporenwand sich zu verdicken. Im Zellinneren hingegen verdichtet sich das endoplasmatische Reticulum, da hier in Zukunft die Keimfurchen entstehen werden. In jenen Bereichen, in welchen es zu keiner Verdichtung des endoplasmatischen Reticulum kommt, folgt eine Ablagerung der Primärenexine, welche

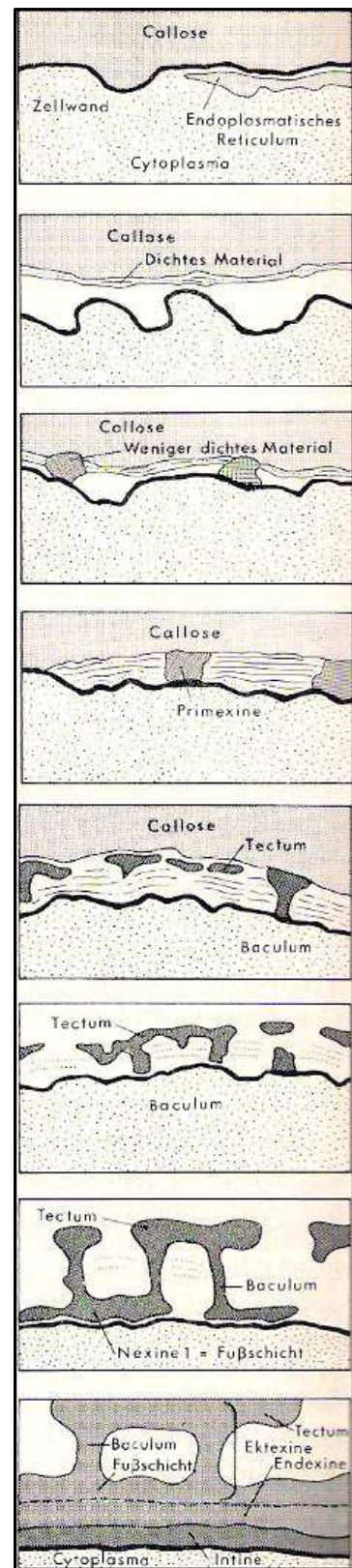


Abbildung 4: Entstehung der Pollenwand
Quelle: Straka, 1975

von Vorläufern der Exine gebildet werden. Im Bereich der Primärexine entstehen Columellae. Sie sind die Träger der äußeren Exinenschicht. Die Träger sind charakterisiert durch ihre oberen und unteren seitwärts verbreiteten Enden, welche sich mit ihren direkten Nachbarn vereinigen. Auf diese Art und Weise entsteht innen die so genannte Fußschicht und Außen das Tectum. Die drei Bereiche Fußschicht, Columellae und Tectum fügen sich zur Ektexine zusammen, welche von Sporopollenin durchquert werden. Darauf folgend wird die Endexine vom Zellplasma gebildet. Es wird eine einheitliche Schicht gebildet, die von kleinen Membranen von Sporopollenin umgeben sind und sich zu Platten zusammenlegen. Zum Schluss kommt es zur Bildung der Intine. (Straka, 1975)

Nach einer mitotischen Kernteilung resultiert der generative und der vegetative Kern beziehungsweise Zelle, zwischen denen sich eine Zellulosewand ausbildet. Nun spricht man vom Pollenkorn. (Straka, 1975)

2.4.3. Pollenkitt

Pollenkörner können hinsichtlich ihres Trockengehalts beziehungsweise ihrer Klebrigkeit unterschieden werden. Grundlegend kann gesagt werden, dass die äußere Schicht von Windblütlern wie Birke, Eiche, Hasel und Gräser eher trocken oder pulvrig ist. Blüten, die mithilfe von Vögeln, Insekten und anderen Tieren bestäubt werden, besitzen klebrige Pollenkörner. (Kessler & Harley, 2008)

Es wird zwischen zwei pollenverkitteten Stoffen unterschieden:

- **Ölige Lipide**

Das Pollenkorn kann seine Klebrigkeit von einer Beschichtung mit öligen Lipiden beziehen. Die dünne, ölige Schicht ermöglicht eine Haftung auf jedem Substrat. (Greilhuber et al, 1978) Der klebrige Pollenkitt wird von der schützenden inneren Schicht dem Tapetum des Pollensacks hergestellt und sobald das Pollenkorn und die Antheren reif sind, auf dem Korn abgelagert. (Kessler & Harley, 2008)

- **Viscinfäden**

Viscinfäden, welche nur bei wenigen Familien wie zum Beispiel bei den *Onagraceen* und *Ericaceen* vorkommen, unterscheiden sich betreffend der Pollenverkittung wesentlich von den öligen Lipiden. Der Unterschied ist, dass sie nicht an Oberflächen kleben. Ihre Haftung an behaarten Insekten, kommt dadurch zustande, dass sich die Viscinfäden um die Haare des Tieres herumschlingen. An glatten Oberflächen ist ein Festsetzen unmöglich. (Greilhuber et al, 1978)

Betreffend des Chemismus ist zu erwähnen, dass sich die pollenverkitteten Substanzen als hydrophob erwiesen haben. Wie bereits genannt, bestehen sie zur einen Seite aus lipiden Komponenten und auf der anderen Seite, wie bei den Viscinfäden, aus Sporopolleninen. In Folge ist erwähnenswert, dass die Klebstoffe nicht homogen sind und vor allem die Lipide sich im ultrastrukturellen Aufbau variabel und keineswegs einheitlich erweisen. (Greilhuber et al, 1978)

Der Pollenkitt ist blütenbiologisch ein wichtiges Thema, da er für folgende Aufgaben verantwortlich ist:

- Schutz des Zellinhalts
- Schutz vor Sonneneinstrahlung
- Fixierung des Pollenproteins in den Hohlräumen der Exine
- Anlocken von Insekten (Greilhuber et al, 1978)

2.4.4. Pollengröße

Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei den Pollenkörnern um Gebilde, welche bis auf Einzelfälle mit dem freien menschlichen Auge nicht wahrgenommen werden können. Die Maßeinheit, die zur Beschreibung von Pollen herangezogen wird, ist das Mikrometer. Ein Mikrometer ist ein Tausendstel eines Millimeters. Ein Großteil der Pollenkörner lässt sich im Maßstab zwischen 20 und 80 Mikrometer einordnen. Die kleinsten Gebilde sind mit 5 bis 8 Mikrometer und die Größten mit über 500 Mikrometer skaliert. Erwähnenswert ist, dass Pollenkörner mit über 500 Mikrometer sehr ungewöhnlich und äußerst selten vorzufinden sind. (Kessler & Harley, 2008)

2.4.5. Farbe der Pollenkörner

Die Farben der in der Natur existierenden Pollenkörner erhalten diese hauptsächlich von Carotinoiden und Flavonoiden. Die Farbbandbreite der Carotinoide in Pollenkörnern erstreckt sich von hellgelb über dunkelgelb bis hin zu orange. Die Flavonoide beinhalten farblose und gelbe Flavone und Isoflavone sowie auch rote und purpurne Anthocyane. Beide Farbpigmente wurden in der Exine nachgewiesen, wobei nennenswert ist, dass die Flavonoide in größeren Mengen enthalten sind. Carotinoide hingegen sind in der äußeren öligen Lipidschicht anzutreffen. Die Farbbandbreite ist von der Menge als auch der Anordnung der Flavone und Anthocyane abhängig. Zusätzlich können die zwei Metalle Eisen und Aluminium, welche häufig im Pollenkorn in Verbindung mit Flavonoiden vorkommen, Auswirkungen auf das Absorptionsspektrum haben. Wenn auch die meisten

Pollenkörner einer Farbe zwischen farblos und gelb zuzuordnen sind, können einige Pflanzenarten eine hohe Bandbreite an Farben hervorbringen. Andere Farben als farblos und gelb sind häufig bei Pflanzen vorzufinden, die von Insekten bestäubt werden. (Kessler & Harley, 2008)

2.5. Transport der Pollenkörner

Das vorliegende Kapitel handelt von den unterschiedlichen Verbreitungsmöglichkeiten der Pollenkörner, welche in unserer Pflanzenwelt vorherrschend sind. Wie bereits erwähnt, trägt die Strategie, das Sperma in eine zähe Sporopolleninhülle einzuschließen, maßgeblich zu einer erfolgreichen Vermehrung bei. Ein weiteres Erfordernis ist Inzucht zu vermeiden, indem das Pollenkorn zu einer anderen weiblichen Stigmaoberfläche der gleichen Pflanzenart befördert wird.

In diesem Zusammenhang sind nun die üblichen Beförderer zu nennen:

- Anemogamie (Wind)
- Hydrogamie (Wasser)
- Zoogamie (Tiere)
 - Insekten
 - Vögel
 - kleine Säugetiere (Kessler & Harley, 2008)

Als Bestäubung wird jener Vorgang bezeichnet, welcher den Pollen auf jenen Teil einer Samenpflanze befördert, der die Samenanlage enthält. Fängt das beförderte Pollenkorn zu wachsen an und kommt es zu einer erfolgreichen Keimung, wird ein Pollenschlauch ausgebildet. Der hervorgegangene Pollenschlauch überträgt zwei Spermazellen in den weiblichen Gametophyten der Samenanlage.

Die herangereiften Pollenkörner sind von einer widerstandsfähigen Pollenwand umhüllt, welche dazu beiträgt, dass der männliche Gametophyt geschützt wird wenn er von Wind, Wasser oder Tieren verbreitet wird.

Der Vorteil dieses Lebenszyklus ist, dass Spermazellen der Samenpflanzen nicht beweglich sein müssen, da sie direkt in die Nähe der Eizelle injiziert werden. Kommt es zu einer Befruchtung, wird eine Zygote gebildet, welche im Sporophytenembryo heranwächst. Die gesamte Samenanlage bildet sich zum Samen aus. (Campell, 2008)

Pollenkörner können mithilfe von Wind, Tieren und Wasser verbreitet werden und werden daher in drei große Gruppen unterteilt:

2.5.1. Anemogamie (Windbestäubung)

Unsere heimische Flora ist gekennzeichnet durch eine hohe Anzahl an Windblütlern. Zu ihnen zählen unter anderem: Waldbäume, Gräser, Seggen der Moore und Getreide. (Reinerth, 1942)

Die Pollenkörner der Windblütler können aufgrund ihrer aerodynamischen Eigenschaften vom Wind verbreitet werden und so den Blütenstaub auf die Narbe befördern. (Dany, 1990)

An der Struktur der windblütigen Pflanzen ist ihre äußere Glattheit und Trockenheit charakteristisch. Ein weiteres Merkmal einiger windblütigen Familien sind die abgesetzten und halbkugeligen Luftsäcke, welche sich links und rechts von einem gewellten und gekerbten Kamm positionieren. (Dany, 1990)

Wesentliche Merkmale der windbestäubenden Pflanze sind die unscheinbaren Blüten, welche eine geringe Organzahl aufweisen. Meist zeigen die Blüten eine dichte Infloreszenz (oft hängend). Die oberflächenvergrößerte Narbe ermöglicht ein leichtes Auftreffen der Pollenkörner. Charakteristisch sind „Pendelantheren“ mit dünnen Filamenten. Im Gegensatz zu den insektenbestäubenden Blüten verfügen sie über keinen Nektar. Die meist glatten Pollenkörner verfügen über wenig beziehungsweise kein Pollenkitt. (Leins, 2000)

Windblütige Pflanzen sind zu einem großen Teil diklin (getrenntgeschlechtlich), worunter eine räumliche Separation der Geschlechtsorgane auf unterschiedliche Blüten verstanden wird. In diesem Zusammenhang sind die beiden Begriffe „Monözie“ und „Diözie“ zu erwähnen. Eine einhäusige Pflanze (Monözie) beherbergt beide eingeschlechtigen Blüten auf einem Individuum. Bei zweihäusigen Pflanzen (Diözie) hingegen sind die jeweils eingeschlechtlichen Blüten auf unterschiedlichen Exemplaren vorzufinden. Aufgrund dieser anatomischen und biologischen Gegebenheiten werden bis zu einer Million Pollenkörner benötigt, um eine einzige Samenanlage mit einem Pollenkorn zu bedecken. Die enorme Pollenmenge die hierfür produziert wird, wird jedes Jahr im Frühsommer erkennbar, wenn Autos und der Boden von einem gelben Staub („Schwefelregen“) überzogen werden. Dieser Staub besteht vermehrt aus koniferen Pollen.

Dennoch kommt es zu starken Schwankungen des P/O-Werts.

Dieser Wert liefert eine Aussage über das Verhältnis der Anzahl an Pollenkörnern zur Anzahl der Ovarien. Kommt es schnell und leicht zu einer Befruchtung muss umso

weniger Pollen produziert werden, um eine erfolgreiche Kopulation zu ermöglichen. Das bedeutet, dass der P/O-Wert eine gute Auskunft über den Zusammenhang von Bestäubungs- und Befruchtungsmechanismen liefert. (Leins, 2000)

Um einen genaueren Einblick in windblütige Arten zu geben werden folgend einige Beispiele herausgehoben:

- **Haselnussbaum (*Corylus avellana*) vs. Birke (*Betula pendula*)**

Der Haselnussbaum verfügt mit ca. 2,5 Millionen über einen sehr hohen P/O-Wert. Die Birke hingegen hat einen P/O-Wert von 6700 und liegt mit dieser Zahl im Bereich von vielen tierbestäubenden Pflanzen. Oft geht eine hohe Pollenproduktion Hand in Hand mit einem geringen Sporopollenin Einsatz. Das heißt, dass Pollenkörner, welche durch das Medium Wind verbreitet werden, in der Regel eine geringe Skulpturierung aufweisen. (Leins, 2000)

- **Süßgräser (*Poaceae*)**

Ein weiteres nennenswertes Beispiel sind die Süßgräser, deren Blüten sich als unscheinbar, meist zwittrig und mit ährigen Blütenständen charakterisieren lassen. Der Pollen wird mithilfe der "Pendelantheren", welche bei einem leichten Luftzug ins Schütteln geraten, schnell freigesetzt. Ein gametophytischer Mechanismus der Selbstinkompatibilität trägt dazu bei, dass der entlassene Pollen nicht auf der stark vergrößerten Narbe zu keimen beginnen kann. (Leins, 2000)

- **Kätzchenblütler (*Fagales*)**

Zu den windblütigen Kätzchenblütlern zählen die Buchengewächse (*Fagaceae*) mit Buche (*Fagus*), Eiche (*Quercus*) und Esskastanie (*Castanea*), sowie die Birkengewächse (*Betulaceae* inkl. *Corylaceae*) mit Hasel (*Corylus*), Hainbuche (*Carpinus*), Hopfenbuche (*Ostrya*), Erle (*Alnus*) und Birke (*Betula*). Sie verfügen über eingeschlechtliche, monözisch verteilte Blüten. Von den soeben Aufgezählten wird zum Beispiel die Esskastanie auch von Insekten bestäubt.

Die Besonderheit, die eine Verbreitung durch den Wind erleichtert, sind die männlichen Blütenkätzchen. Dieser speziell angeordnete Blütenstand ist für gewöhnlich hängend, kann durch die schlaffe Hauptachse leicht vom Wind bewegt werden und ermöglicht so eine Versetzung des Pollens. (Leins, 2000)

- **Brennnesselgewächse (*Urticales*), Ulmengewächse (*Ulmaceae*), Hanfgewächse (*Cannabaceae*) und Brennnesselgewächse im engeren Sinn (*Urticaceae*)**

Abgesehen von einzelnen Ausnahmen handelt es sich hierbei um getrenntgeschlechtliche Blüten, welche monözisch oder diözisch verteilt sind. Bei diesem Verwandtschaftskreis ist charakteristisch, dass die unscheinbaren Blütenhüllen, auch Perianth genannt, fünf- oder vierzählig sind, mit insgesamt fünf oder vier davorstehenden Stamina. Der Hopfen (*Humulus lupulus*), welcher zu den Hanfgewächsen gehört, weist fünf Staubblätter auf, wo die Antheren, ähnlich wie bei den Gräsern, an dünnen, leicht beweglichen Filamenten sitzen. Die Ausstreuung des Pollens wird durch einen hängenden Blütenstand in Rispenform erleichtert.

Im Vergleich sind die weiblichen Blüten durch einen dichten und kurzen thyrsischen Blütenstand gekennzeichnet. Die zwei oberflächenvergrößerten Narben werden von einem einsamigen Fruchtknoten getragen, welcher von einer ungegliederten, stark vereinfachten Hülle beherbergt wird. (Leins, 2000)

Betreffend der Pollenausstreuung bei den Brennnesselgewächsen hat sich ein spezieller Mechanismus herausgearbeitet, welcher es ermöglicht, die Pollenmenge einer Blüte bei der Verbreitung zu dosieren.

Die Brennnesseln (*Urtica*) oder das Glaskraut (*Parietaria*) verfügt über vierzählige, männliche Blüten, wobei die Staubgefäße zur Mitte eingebogen sind. In diesem Stadium schließen die Antheren den produzierten Pollen ein. Diese charakteristische Morphologie resultiert daraus, dass während der Entwicklung der männlichen Blütenknospen die Filamente an den Außenseiten ein höheres Wachstum als an den Innenseiten widerfahren. Daraus ergibt sich, dass sich die Filamente zur Blütenmitte winden und gegen die kegelförmige Aufwölbung gedrückt werden. Während der Zeit, in der eine Blüte aufblüht bis hin zum Verblühen erfahren die Epidermiszellen an der Innenseite der Filamente ein enormes Streckenwachstum, sodass im Zusammenhang mit der Staubblättererretierung am Gynoecearudiment ein Druck aufgebaut wird der schließlich so massiv ist, dass sie mitunter in Folge eines Luftzuges die Arretierung überwältigt und somit das Filament zu einem explosionsartigen Rückwärtsschlag veranlasst wird. Da dies bei den vier Antheren nacheinander erfolgen kann, wird hier von Pollenportionierung gesprochen. (Leins, 2000)

- **Wiesenraute (*Thalictrum*)**

Es gibt Familien, welche von Insekten bestäubt werden, wobei sich jedoch einzelne Gattungen und Arten an die Windbestäubung angepasst haben. Die Wiesenraute, welche zu den Hahnenfußgewächsen zählt, ist aufgrund ihrer präadaptiven windblütigen

Merkmale mit wenigen Arten zur Windbestäubung übergetreten. Zu den eben angesprochenen Merkmalen zählen: die Neigung zur Reduktion der Perigonblätter, der Hang zur Ausbildung von dünnen Filamenten und die Tendenz zur Hängelage der Blüten in einem rispigen Blütenstand. An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass es auch Blüten gibt, die die eben erwähnten Merkmale zum Großteil aufweisen, jedoch ebenso Auffälligkeiten besitzen, welche Insekten anlocken sollen. Exemplarisch zu nennen sind die auffällig helllila gefärbten Perigonblätter von *Thalictrum dipterocarpum*. (Leins, 2000)

2.5.2. Zoogamie (Tierbestäubung)

Zur enormen Erfolgsgeschichte der Blütenpflanzen haben von Beginn an die bestäubenden Tiere (anfänglich Insekten) einen großen Beitrag geleistet. Hierbei sind die großen Ordnungen, *Coleoptera* (Käfer), *Diptera* (Zweiflügler), *Hymenoptera* (Hautflügler) und *Lepidoptera* (Schmetterlinge), wo die meisten blütenbesuchenden Insekten eingeordnet sind, zu erwähnen. Unter den Wirbeltieren sind die Vögel bei der Tierbestäubung nicht außer Acht zu lassen, da auch sie an der Pollenverbreitung beteiligt sein können. Natürlich gibt es auch Säugetiere wie zum Beispiel manche Fledermäuse, welche für einen erfolgreichen Pollentransfer prädestiniert sind. Unsere vielfältige Tier-, und Pflanzenwelt hat dazu beigetragen, dass unterschiedliche Blumen-Syndrome entstehen, welche oftmals an eine bestimmte Tiergruppe gekoppelt sind. (Leins, 2000)

Ein Pollenkorn, welches über Insekten verbreitet wird, unterscheidet sich von der Oberflächenstruktur wesentlich im Vergleich zu windblütigen Pflanzen.

Die Pollenkörner werden oft von einer öligen und klebrigen Schicht umgeben. Ihre Oberflächensculptur ist rauh, stachelig und kann Höcker sowie andere Unebenheiten aufweisen. (Dany, 1990)

Charakteristische Merkmale der tierbestäubenden Pflanze sind die zwittrigen Blüten (oder Pseudanthien), welche auffällig gefärbt sind und/oder stark duften. Sie bieten den Insekten Nahrung in Form von Pollen und/oder Nektar. Die Oberfläche der Pollenkörner ist stark skulptiert. Des Weiteren verfügen sie über reichlich Pollenkitt.

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass die Strategie, bei der Entwicklung der Bedecktsamer die pollen- und samenproduzierenden Organe zu einer Zwitterblüte zu verpacken, maßgeblich zu einer gezielten und umso erfolgreicheren Pollenübertragung

beigetragen hat. Das Vorhandensein von doppelgeschlechtlichen Individuen trägt auch zur Einsparung der Pollenproduktion bei. (Leins, 2000)

Folglich werden auch hier ein paar Beispiele für die Bestäubung durch Insekten angeführt.

- **Melittophilie (Bienenbestäubung)**

Mit ihren leckenden-saugenden Mundwerkzeugen, welche einen 4-15 mm langen Rüssel bilden, sind die Bienen geradezu prädestiniert für die Insektenbestäubung. Die Bienen weisen eine rinnenförmige Zunge auf, mit welcher sie den Blütennektar leicht auflecken und zwischen den eng stehenden Haaren mittels Kapillareffekt hochziehen können. Die Zunge wird in das Saugrohr zurückgezogen und ermöglicht mit Hilfe der Schlundpumpe ein erfolgreiches Aufsaugen des Nektars. Folgende Familien gehören unter anderem zu den Bienenbestäubern:

- viele Vertreter der Schmetterlingsblütler (*Fabaceae*)
- Lippenblütler (*Lamiaceae*)
- Rachenblütler (*Scrophulariaceae*)
- Raublattgewächse (*Boraginaceae*)
- Glockenblumengewächse (*Campanulaceae*)
- Köpfchenblütler (*Asteraceae*)
- Doldenblütler (*Apiaceae*).

Die *Asteraceae* und *Apiaceae* verfügen über ein weites Spektrum an Bestäubern. Zu den *Apiaceen* gehören die *Eryngium*-Arten, welche wiederum spezielle Anpassungen für die Bienenbestäubung aufweisen. Charakteristisch ist, dass sich die Petalen nach oben hin mittig neigen und die starren, schuppigen Kelchblätter aufrecht stehen. Diese Blütenbildung führt dazu, dass nur Insekten mit längeren Rüsseln zwischen den Krobblättern hindurch gelangen und den Nektar erreichen. (Leins, 2000)

- **Schmetterlingsblütler**

Die Schmetterlingsblütler wiederum weisen einen absolut anderen Blütenbau auf. Dennoch zählen sie zu den Bienenbestäubern. Die Schmetterlingsblütler, welche aus fünf Blütenblättern bestehen, bilden aus den zwei unteren, verwachsenen Kronblättern das sogenannte Schiffchen. Das obere, meist aufgerichtete Blütenblatt wird als Fahne

bezeichnet und wird seitlich von den zwei Flügeln umgeben. Im Schiffchen befinden sich die Staubblätter und der einkarpellige Fruchtknoten. (Leins, 2000)

Innerhalb der Schmetterlingsblütler bildeten sich aufgrund des homogenen Blütenbaus relativ unterschiedliche Bestäubermechanismen. Der Klappenmechanismus zeichnet sich dadurch aus, dass das besuchende Insekt beim Kontakt mit der Blüte das Schiffchen mit der Bauchseite nach unten drückt. Bei Druck klappt die Blüte auseinander und ermöglicht so den Zugang zu Stamina und Griffel.

Einige andere Arten der *Fabaceen* weisen den Nudelpump-Mechanismus auf. Charakteristisch ist, dass das an den oberen Pentaländern verbundene Schiffchen in eine lange Kanüle übergeht. Das Insekt löst beim Besuch der Blüte einen Druck auf der Unterseite aus, welche für die anschließende Vorwärtsbewegung des Filamentbündels verantwortlich ist. Dadurch wird das Heraufbefördern der Pollenmasse verursacht.

Ein interessanter Übertragungsmechanismus des Pollens auf die Blütenbesucher ist der Explosionsmechanismus. Beim Besenginster (*Sarothamnus scoparius*) zum Beispiel können die beiden oberen Schiffchenränder mittels Falten fest verschmolzen sein. Die Hälfte der zehn Staubblätter sind länger als die anderen und sind mit dem langen Griffel unter Spannung in das Schiffchen gepresst. Beim Kontakt mit einem schweren Blütenbesucher schnellen die Staubblätter und der Griffel nach oben und sorgen dafür, dass das Insekt mit Pollen eingepudert wird.

(<http://www.biologie.uni-ulm.de/lehre/bestueb/fabaceae.htm>, abgerufen am 25.11.2014)



Abbildung 5: *Sarothamnus scoparius*

Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Besenginster#/media/File:Cytisus_scoparius_flos.jpg,
abgerufen am 23.03.2015

- **Lepidopterophilie (Schmetterlings-, und Falterbestäubung)**

Lepidopterophilie bezeichnet die Bestäubung, die durch Schmetterlinge und Falter (*Lepidoptera*) verursacht wird. Schmetterlinge zeichnen sich durch ihre saugenden Mundwerkzeuge aus, welche aus Teilen des Unterkiefers aufgebaut sind. Der sogenannte Rüssel der Schmetterlinge ist so konstruiert, dass sich die darin befindlichen Muskeln und Nerven so zusammenschließen, dass sie einen Hohlraum bilden. Dieser Hohlraum ermöglicht es, dass die Schmetterlinge den Nektar durch das Saugen zum Schlund führen können. Die im Saugrohr befindlichen Muskeln tragen dazu bei, dass sich der in Ruhe eingerollte Rüssel durch die Kontraktion der Muskeln strecken kann.

Bei der Bestäubung durch Schmetterlinge unterscheidet man zwischen Psychophilie und Sphingophilie aufgrund der unterschiedlichen zeitlichen Aktivität der Tiere.

Als Psychophilie wird die Anpassung an Bestäubung durch Tagfalter bezeichnet, welche sich oftmals auf langröhrlige Blumen oder Stieltellerblumen spezialisiert haben.

Bei der Feuer-Lilie (*Lilium bulbiferum*) und der Türkenbund-Lilie (*Lilium martagon*) handelt es sich um charakteristische Tagfalterblumen. Bei ihnen befördert die Nektarrinne an den Perigonblättern den Nektar nach außen. Die Türkenbundlilien sind hängend und bieten daher dem Insekt keinen Landeplatz. Dieses Charakteristikum ist für die Tagfalter mit ihrem langen Rüssel und dem möglichen Schwirrflug kein Problem.

Unter den Nelkengewächsen (*Caryophyllaceae*), wie zum Beispiel bei der Steinnelke (*Dianthus sylvestris*) und der Rot-Lichtennelke (*Silene dioica*) bildet sich mithilfe der verwachsenen Kelchblätter eine lange, enge Röhre, welche die freien Kronblätter zusammenhält. Der schmale, lange Kelch bewirkt, dass nur Insekten mit einem langen Rüssel eine Bestäubung durchführen können.

Die Nachtfalterblumen ermöglichen ebenfalls oftmals den Besuchern aufgrund ihrer Oberflächenstruktur und der Anatomie der Blüte keinen Landeplatz. Diese zwei Kriterien tragen dazu bei, dass auch sie im Schwirrflug von Schwärmen bestäubt werden. In der Gattung *Lonicera* (Geißblatt, *Caprifoliaceae*) sind die Kelchblätter röhrlig oder becherförmig verwachsen. Bei *Lonicera periclymenum* sind die Kronblätter der Ober- und Unterlippe so glatt, dass eine Landung auf der Blüte nicht möglich ist. Die langen Schaukelantheren dieser Pflanze lassen schnell erkennen, dass diese von Schwärmen bestäubt werden.



Abbildung 6: *Lonicera periclymenum* ,

Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3b/European_honeysuckle_800.jpg,
abgerufen am: 11.12.2014

2.5.3. Hydrophilie (Wasserbestäubung)

Bei der hydrophilen Pollenverbreitung fungiert das Medium Wasser zur Übertragung der Pollenkörner. Daraus resultiert, dass die Pflanze bestimmte Merkmale aufweisen muss, um eine Bestäubung auf diese Art und Weise zu ermöglichen. Die Wasserübertragung ist ein Bestäubungsmechanismus, welcher nur bei wenigen Wasserpflanzen, wie zum Beispiel bei *Najas* zum Einsatz kommt.

Die Bestäubung der hydrophilen Pflanzen kann auf zwei unterschiedlichen Wegen zustande kommen: Die Pollenkörner können entweder unterhalb der Wasseroberfläche oder direkt an der Oberfläche des Mediums übermittelt werden.

Die Staubgefäße, welche sich durch die fehlende Wandverstärkung des Endothecium auszeichnen, werden unterhalb der Wasseroberfläche geöffnet.

Ebenfalls typisch ist, dass die Pollenkörner bis zum Auftreffen auf der Narbe eine fadenförmige Gestalt aufweisen. Eine andere Möglichkeit ist, dass der Pollen, bevor er die Staubgefäße verlässt, zu keimen beginnt und dabei einen längeren Schlauch ausbildet. Diese charakteristischen Formen ermöglichen dem Pollenkorn eine Schwebefähigkeit und erleichtern das Auffinden einer kompatiblen Narbe.

Die kleinen, unscheinbaren, eingeschlechtlichen Blüten besitzen oftmals nur eine Samenanlage. Die oberflächenvergrößerte Narbe erleichtert das Auftreffen der Pollenkörner. Die unscheinbaren Blüten sind meist diklin (Monözie, Diözie).

Um die hydrophile Pollenverbreitung zu veranschaulichen wird die amerikanische Wasserpest als Beispiel herangezogen.

- ***Elodea nutallii* (Amerikanische Wasserpest)**

Die unter Wasser liegenden krautigen Pflanzen trennen die männlichen Blüten noch als Knospe von der Mutterpflanze ab und gelangen folglich an die Wasseroberfläche. Sobald sich die Knospen geöffnet haben, setzen die Antheren die Pollenkörner frei. Die Pollenkörner, welche als Tetraden vorliegen, werden an die Oberfläche befördert. Mithilfe der außerordentlichen Streckung des gynoecealen Hypanthiums erreicht die weibliche Blüte die Wasseroberfläche und ermöglicht somit die Entfaltung der Kelchblätter sowie die Spreizung der drei langen Narben. Die Spitze der Narbe hängt somit im Wasser. Die wasserabstoßenden Kelchblätter verändern die Oberflächenspannung rund um die weibliche Blüte. Diese veränderte Oberflächenspannung trägt dazu bei, dass die in der Nähe befindenden Pollentetraden, zu einer der drei Narben gezogen werden.

2.6. Aeropalynologie

Die Aeropalynologie steht im engen Zusammenhang mit dem Begriff „Aeroplankton“. Unter „Aeroplankton“ wird der Gehalt an organischen Schwebstoffen in der Luft verstanden. Dabei nehmen Pollenkörner von Windblütlern einen wesentlichen Anteil ein. Dieser Anteil ist natürlich von jahreszeitlichen Schwankungen stark abhängig. Ein wesentliches Aufgabengebiet der Aeropalynologie ist die Heufieberforschung welche in den folgenden Seiten erklärt wird. (Klaus, 1987)

In der Aeropalynologie wird zwischen 3 Vorgängen unterschieden:

2.6.1. Freisetzung der Pollenkörner

Pflanzen verfügen über eine enorme Pollenproduktion. Im Vergleich zu dieser erreichen nur wenige ihr Ziel, eine für sie passende Narbe anzutreffen. Einige Untersuchungen haben gezeigt, dass es keine feste Regel dafür gibt, dass Windblütler immer über eine höhere Pollenproduktion verfügen als Insektenblütler. Wissenswert sind Ergebnisse aus Pohls (1937) Untersuchung, welche aufzeigte, dass die windblütigen Waldbäume und die Bodenflora viele Millionen Pollenkörner je m² hervorbringen. Die Pollenzahl je m² Bodenfläche, (Zahlen in Millionen, abgerundet) aus dieser Veröffentlichung beträgt:

Baum- und Strauchschicht	
<i>Populus canadensis</i>	2.562
<i>Alnus glutinosa</i>	2.158
<i>Corylus avellana</i>	965
<i>Carpinus betulus</i>	711
<i>Pyrus communis</i>	388
<i>Fraxinus excelsior</i>	118
Krautschicht	
<i>Calluna vulgaris</i> (Tetraden)	4.058
<i>Secale cereale</i>	1.272
<i>Arrhenatherum elatius</i>	560
<i>Lavatera thuringiaca</i>	12

Tabelle 1: Anzahl der Pollenkörner je m² Bodenfläche in einer Blühperiode, Zahlen in Millionen, abgerundet;
Quelle: Pohl (1937) in Straka, 1975

Kohäsionsmechanismen tragen dazu bei, dass Pollensäcke von Blütenpflanzen geöffnet werden. Diese Mechanismen können dazu führen, dass aufgrund einer plötzlichen explosiven Bewegung das Makrosporangium oder Mikrosporangium oder selten auch die Pollen aus den Pollensäcken einige Zentimeter weit ausgeworfen werden, bevor sie vom Wind vertragen werden. Bei geöffneten Pollensäcken windblütiger Arten trägt der Wind dazu bei, dass der Pollen herausgeschüttelt wird. In der Pflanzenwelt gibt es noch zahlreiche weitere Mechanismen, die zur Ausbreitung der Pollenkörner beitragen, auf welche jedoch bereits im Kapitel “Transport der Pollenkörner“ eingegangen wurde. (Straka, 1975)

Erwähnenswert ist, dass Pollenausstreue und Pollenproduktion nicht gleichzusetzen sind. Im Vergleich streuen Selbstbestäuber nur eine geringe Menge an Pollenkörnern aus. Diese Aussage lässt sich mithilfe eines Beispiels unterstreichen. Beim Roggen handelt es sich um einen Fremdbestäuber, welcher 500-mal mehr Blütenstaub produziert als die übrigen selbstbestäubenden Getreidearten zusammengefasst.

Eine Methode, um die Bestäubungswahrscheinlichkeit abschätzen zu können, ist die Bestimmung des Pollenanflugs an der Krone blühender Bäume. Bei der Durchführung werden Fangröllchen senkrecht aufgehängt und der Pollenanflug je cm² bestimmt. Grundsätzlich kann man sagen, dass die Pollenausstreue von Insektenblütlern geringer ist, als die von windblütigen Pflanzen. Natürlich gibt es auch Pflanzen wie zum Beispiel *Tilia* und *Castanea*, welche eine Zwischenstellung einnehmen, indem sie über einen mittleren Wert verfügen. Folglich produziert *Tilia* eine hohe Anzahl an Pollenkörnern, streut im Vergleich jedoch eine geringe Menge aus. (Straka, 1975)

2.6.2. Transport und Ausbreitung

Wie bereits erwähnt wurde, spielen Luftströmungen eine entscheidende Rolle bei der Ausbreitung von Sporen und Pollen. (Straka, 1975)

a. Ortsniederschlag

Als Ortsniederschlag wird jener Pollen bezeichnet welcher von den Pflanzen stammt die unmittelbar am Entstehungsort vorzufinden sind.

b. Umgebungsniederschlag

Hierbei handelt es sich um Pollenkörner welche bis zu 500 m von der Mutterpflanze entfernt vorgefunden werden.

c. Nahflugpollen

Am Sedimentationsort werden Pollenkörner vorgefunden die in einem Umkreis von 10 km produziert wurden.

d. Weitflugpollen

Beim Weitflug erhöht sich das Einzugsgebiet der Pflanzen, die für die Ablagerung verantwortlich sein können auf bis zu 100 km.

e. Fernflug

Von Fernflug wird gesprochen, wenn Pollenkörner über 100 km von der Mutterpflanze entfernt entdeckt werden. Eine der weitesten Pollenverbreitungen wurde über dem Südatlantik festgehalten. Pollenkörner von *Nothofagus* und *Ephedra* wurden durch Strömungen des Westwindes 3000 km über den Atlantik getragen und konnten auf der Insel Tristan da Cunha entdeckt werden. Nicht nur über den Atlantik sind Pollenflüge über weite Distanzen bekannt, sondern auch in Österreich kommen immer wieder Pollenkörner von *Ephedra* aus Nordafrika bis in die Alpen vor.

Anhand der nachstehenden Grafik lässt sich erkennen, dass der Pollenniederschlag mit zunehmender Entfernung abnimmt. Direkt am Entstehungsort ist mit circa 50% die größte Dichte an Pollenkörnern vorzufinden. Wenn nun die Begriffsdefinitionen der verschiedenen Verbreitungsdistanzen geklärt sind, folgt die Frage, wie die Abnahme des

Niederschlag über die Distanz zustande kommt (Klaus, 1987). Hier spielen die verschiedenen Luftströmungen eine entscheidende Rolle:

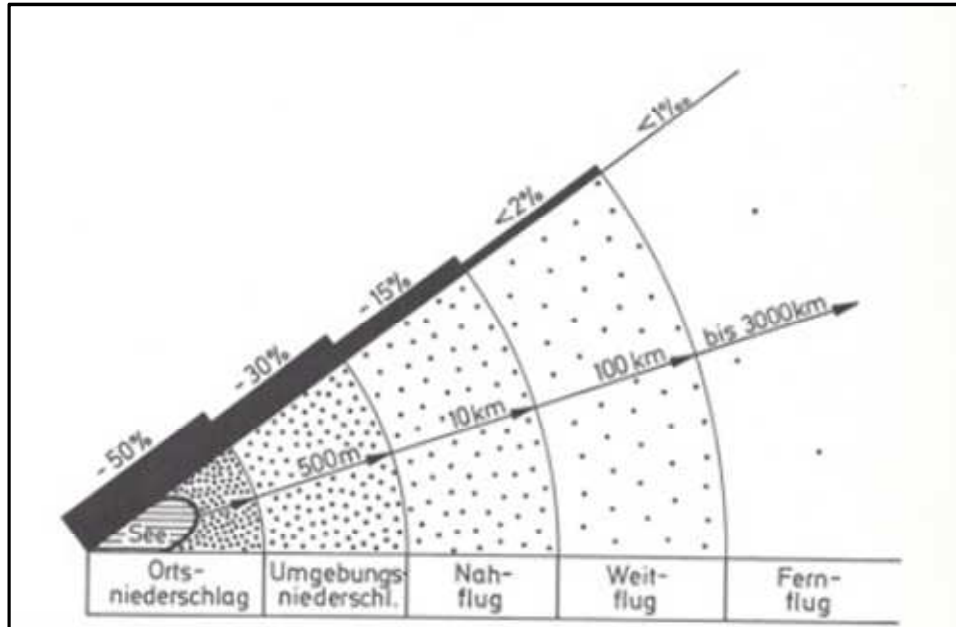


Abbildung 7: Verbreitungsdistanz windblütiger Pollenkörner sowie die Niederschlagsdichte in Bezug auf die Streudistanz

Quelle: Klaus, 1987

a. Horizontale Luftströme

Horizontale Luftströme tragen wesentlich zur Ausstreuung der verschiedenen Pollenkörner bei. Tauber (1965, 1967) untersuchte den Pollentransport und die Pollenablagerung in bewaldeten Landschaften.

In diesen Zusammenhang unterschied er zwischen folgenden drei Bereichen:

- Ca: Pollenkörner, welche im Bereich der Baumstämme verbreitet werden.
- Cb: Pollenkörner, welche oberhalb der Baumkrone transportiert werden.
- Cc: Pollenkörner, welche durch den Regenniederschlag zu Boden gebracht werden.

Ein Grund, weshalb es eine Unterscheidung in die eben genannten Bereiche gibt, ist, dass die unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten sowie die Vegetationsdichte zur Pollenverbreitung maßgeblich beitragen.

Aufgrund der Stammelemente sowie der zusätzlichen Waldvegetation ist im Bereich Ca nur eine geringe Windgeschwindigkeit möglich. Dies trägt dazu bei, dass im Stammbereich vor allem Pollenkörner aus einer Entfernung von rund 100 m herkommen. Anzumerken ist, dass schwere und große Pollenkörner unter diesen Bedingungen schwerer transportiert werden als kleinere und leichtere und so eine gewisse Filterwirkung zum Tragen kommt.

Oberhalb der Baumkronen (Cb) sind Pollenkörner von Pflanzen aus mehreren Kilometern Entfernung vorzufinden. Der ungehinderte Luftstrom ermöglicht die Verbreitung über eine weite Distanz.

Regen trägt dazu bei, dass der Pollenflug gehemmt wird, da dieser die Pollenkörner zum Boden bringt (Cc). Hierbei ist der Pollenniederschlag oft regional bestimmt. (Straka, 1975)

Im Herbst kann es zu einer Wiederaufnahme des Pollenflugs kommen. Dabei wird der Pollen, welcher im Frühjahr oberflächlich zu liegen kam, mit dem Wind wieder hochgewirbelt. (Straka, 1975)

b. Aufsteigende Luftströme

Pollenkörner können mit Hilfe von aufsteigenden Luftströmen durch die Luft gewirbelt werden und gelangen so bis in eine relativ große Höhe in die Atmosphäre. Die Möglichkeit, in der Luft über weite Strecken transportiert zu werden steht in direktem Zusammenhang mit der Sinkgeschwindigkeit des Pollenkorns. Die Sinkgeschwindigkeit wird von der Größe und dem Gewicht des Pollens beeinflusst. Je langsamer ein Pollenkorn absinkt, umso länger kann es sich in der Luft aufhalten und von Luftströmen transportiert werden.

Abgesehen von einigen Ausnahmen ist die Sinkgeschwindigkeit von windblütigen Pollenkörnern geringer als von Insektenblütler. (Straka, 1975)

c. Absteigende Luftströme

In der Nacht kommt es meist zu absteigenden Luftströmen. Auch hier spielt die Größe und das Gewicht des Pollens betreffend der Sinkgeschwindigkeit eine entscheidende Rolle. Pollenkörner wie zum Beispiel Fichte und Buche weisen eine hohe Sinkgeschwindigkeit auf und können so schwieriger verbreitet werden. (Straka, 1975)

Pollendichte

Rempe hat herausgefunden, dass die maximale Pollenkonzentration in einer Höhe von 500m über den Boden erreicht wird. Es kommt zu einer langsamen Reduktion der Pollendichte zwischen 500-1000m und zu einer raschen Abnahme zwischen 1000-1500m. In einer Höhe von über 3000m ist der Pollengehalt sehr gering und liegt bei etwa 100 Körnern pro m³ Luft. Bei 1000m hingegen, sind rund 10.000 Körner pro m³ Luft aufzufinden. (Straka, 1975)

2.6.3. Aufzeichnung des jahreszeitlichen Pollenflugs

Heutzutage werden volumetrische Pollenfallen verwendet, um den Pollengehalt der Luft in Pollen pro Kubikmeter im Tagesmittel zu messen. Die Fallen werden meistens auf Dächern in einer Höhe zwischen 15 und 20 Metern aufgestellt um einen besseren Überblick zu erhalten beziehungsweise um einen weiteren Radius miteinbeziehen zu können. Würden sich die Pollenfallen in nur zwei Metern Höhe befinden, wären enorme örtliche Unterschiede bemerkbar. Mithilfe eines Ansaugschlitzes werden zehn Liter Luft pro Minute eingesaugt. Die Luft trifft in Folge eine Trommel, die ca 0.7 Millimeter hinter dem Ansaugschlitz positioniert ist. Sie ist mit einem durchsichtigen Kunststofffilm versehen, welcher wiederum dünn mit Vaseline oder Silikonflüssigkeit (Haftmedium) bestrichen ist. Der Haftfilm dient dazu, dass die in der Luft enthaltenen Mikropartikel, wie zum Beispiel Pollenkörner, Pilzsporen und Bakterien, kleben bleiben. Die Trommel, welche regelmäßig gewechselt werden muss, dreht sich mit einer Geschwindigkeit von ca. zwei Millimetern pro Stunde.

Der Streifen mit den festgeklebten Partikeln wird nun in Tagesabschnitte eingeteilt und anschließend in wasserlöslichem Kunststoff oder Glyzerin-Gelatine, eventuell unter Zusatz von Färbemitteln, eingelegt und unter dem Mikroskop auf Pollen und Sporen analysiert. Diese Methode ermöglicht es, auf zwei Stunden genau die Positionierung einzelner Objekte, aber auch ihre Anzahl abzulesen.

(<http://www.pollenwarndienst.at/de/allergieinfos/fueraerobiologen/methodik/pollenfallen.html>, abgerufen am 30.09.2014)

Die Auswertung des jahreszeitlichen Pollengehalts in der Luft hat unter anderem die wichtige Bedeutung, Pollenallergiker über die unterschiedlichen Verbreitungsperioden einzelner Pollenkörner zu informieren.

Einen der ersten saisonalen Blühkalender im Bereich der Gebirgslagen der Schweiz und Tirols entwickelte Vareschi (1942) .

„1. Frühjahresspektrum (März – April):

Hasel, Erle, erste Gräser, zunehmender Pollengehalt

2. Frühsommer (Mai – Juni):

Zusätzlich Kiefer, und viele Gräser, hoher Pollengehalt der Luft

3. Hochsommer (Juli - August):

Zusätzlich Linde, Zirbe, hoher Pollengehalt

4. Herbst (September - Oktober):

Restpollen von Zirben und Gräsern, abnehmender Pollengehalt

5. Winter (November – Februar):

Fast kein Pollengehalt, nur ganz vereinzelt Kiefern- und Graspollen“ (Klaus 1987)

Die einzelnen Pollenwerte können enormen Jahresschwankungen unterliegen. Solche Schwankungen resultieren aus den klimatischen Bedingungen. Wenn das Wetter während der Vegetationsperiode wesentlich feuchter, kühler und sonnenscheinärmer ist, kann es zu verspäteten Blühterminen kommen.

2.7. Iatropalynologie (Heufieberpollenforschung)

„Unter Allergie versteht man eine in zeitlicher, qualitativer und quantitativer Hinsicht erworbene, spezifische Reaktionsveränderung des Organismus auf der Basis einer pathogenen Immunreaktion.“ (Hausen, Vieluf, 1997)

Zahlreiche Pollenkörner sind angesichts ihres Gehalts an allergenen Substanzen (Proteinen), die nach Freisetzung Allergenaktivität besitzen, Allergenträger. Meist handelt es sich um sogenannte Glykoproteine mit einer molekularen Masse zwischen 10.000 bis 30.000 Dalton. (Hausen, Vieluf, 1997)

Die Allergene der Pollenkörner können sich auf der Intine oder der Exine befinden. (Howlett et al. 1973)

Der Schwellenwert, der zur Auslösung von allergischen Reaktionen notwendig ist, liegt mit 50 Pollen/m³ im mittleren Bereich. Die Intensität der Erkrankung ist abhängig von dem jahreszeitlichen Auftreten der erregenden Pollen. Zu starken Auswirkungen der Allergie kommt es während der Blühperiode von Gräsern (Wildgräser und Kulturgräser), Birke, Erle, Hasel sowie den Wildkräutern Beifuß und Spitzwegerich. (Hausen, Vieluf, 1997; Klaus, 1987)

In Österreich sind bis zu 80% aller pollenallergischen PatientenInnen überempfindlich auf Allergene aus der Familie *Betulaceae*. (Schäppi et al., 1999)

Der Bestäubungsmechanismus und das Potential einer Pflanze Pollinosis auszulösen stehen stark miteinander in Verbindung.

1. Anemophilie

Die windbestäubenden Pflanzen bilden den größten Teil der Pollinosis auslösenden Pflanzen. Die hohe Produktion an leichten und kleinen Pollenkörner sowie die Verbreitung durch den Wind sind dafür ausschlaggebend.

2. Entomophilie

Die klebrigen und oft großen Pollenkörner werden in kleinen Mengen produziert und meist von Insekten direkt verbreitet. Das hat zur Folge, dass der Mensch mit Pollenkörnern, die durch Insekten verbreitet werden, weit seltener in Kontakt kommt.

3. Ambophilie

Die Pflanzen besitzen auffallende und duftende Blüten sowie leichte Pollenkörner. Daraus ergibt sich, dass diese sowohl von Wind als auch von Insekten verbreitet werden können.

Trotz der Tatsache, dass hauptsächlich windblütige Pflanzen für die Auslösung von allergischen Reaktionen verantwortlich sind, können in Ausnahmefällen auch von Insekten bestäubte Pflanzen eine Sensibilisierung herbeiführen. (Hausen, Vieluf, 1997)

Nach THOMMEN (1931) müssen folgende Voraussetzungen gegeben sein um, die Auslösung einer Allergie herbeizuführen:

1. Die Pollenkörner müssen reichhaltig an sensibilisierenden (Antigenen) Substanzen sein.
2. Die Pflanze muss windblütig sein.
3. Eine hohe Menge an Pollenkörnern muss produziert werden.
4. Die männlichen Gametophyten müssen über ein geringes spezifisches Gewicht verfügen um gut vom Wind verbreitet werden zu können.
5. Die Pflanzenart muss überall verbreitet sein. (Hausen, Vieluf, 1997)

Eine allergische Konjunktivitis und Rhinitis oder ein exogen-allergisches Asthma wird durch das Auftreffen eines Pollenkorns auf den Schleimhäuten der Augen oder des Respirationstraktes ausgelöst. (Hausen, Vieluf, 1997)

Es wird geschätzt, dass ungefähr 10-15% der Bevölkerung an einer Pollinosis leiden. (Hausen und Vieluf, 1997) In Österreich gibt es offiziell eine Million Pollenallergiker. Der Aerobiologe Uwe Berger, MBA vom österreichischen Pollenwarndienst vermutet jedoch, dass weit mehr Menschen an einer Pollenallergie erkrankt sind. Der Experte schätzt, dass rund 30 bis 35 Prozent der österreichischen Bevölkerung allergisch reagieren können.

(<http://derstandard.at/2000013342086/Pollenwarndienst-Einst-Tonbandansage-heute-Echtzeit-Info-per-App>, abgerufen am 28.03.2015)

In den letzten Jahren kam es zu einem hohen Anstieg der Erkrankungen in den städtischen Gebieten der Industrieländer. Die Änderungen des Lebensstils und die damit Hand in Hand gehende Luftverschmutzung spielt hierbei eine große Rolle. (D'Amato, 2002) Es wurde wissenschaftlich bewiesen, dass ungünstige Umwelteinflüsse die Allergenität von Pflanzen erhöht. Der Kontakt von Pollenkörnern mit Dieselpartikeln löst eine leichtere Freisetzung der Allergene aus. Daraus resultiert, dass die Verbesserung der Luftqualität eine tragende Rolle betreffend Allergiepräventionen einnimmt. (Rueff, 2009)

Einen großen Beitrag für PatientenInnen den aktuellen Pollengehalt in der Luft zu erfahren, leistet der österreichische Pollenwarndienst. Ebenfalls können sich PatientenInnen über Blühkalender entsprechende Informationen einholen. (Klaus, 1987)

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die in Österreich vorkommenden Allergiepflanzen. Die Auflistung wurde mit Hilfe der Daten des österreichischen Pollenwarndienstes erstellt. (<https://www.pollenwarndienst.at/de/allergie-infos/fuer-allergiker/steckbriefe.html>, 24.02.2015)

Familie	Art	Allerginität
<i>Asteraceae</i> (Korbblütengewächse)	<i>Artemisia</i> (Beifuß)	hoch
	<i>Ambrosia</i> (Ragweed)	hoch
<i>Araliaceae</i> (Araliengewächse)	<i>Hedera</i> (Efeu)	gering
<i>Adoxaceae</i> (Moschuskrautgewächse)	<i>Sambucus</i> (Holunder)	gering
<i>Betulaceae</i> (Birkengewächse)	<i>Alnus</i> (Erle)	mäßig bis hoch
	<i>Betula</i> (Birke)	hoch
	<i>Carpinus</i> (Hainbuche)	gering
	<i>Corylus</i> (Hasl)	mäßig
<i>Fagaceae</i> (Buchengewächse)	<i>Fagus</i> (Buche)	gering
	<i>Quercus</i> (Eiche)	gering
<i>Fabaceae</i> (Hülsenfrüchtler)	<i>Robinia</i> (Robinie)	gering
<i>Gramineae</i> (Süßgräser)	<i>Poaceae</i> (Gräser)	hoch
<i>Malvaceae</i> (Malvengewächse)	<i>Tilia</i> (Linde)	gering
<i>Oleaceae</i> (Ölbaumgewächse)	<i>Fraxinus</i> (Esche)	Kreuzreaktion zum Ölbaum
	<i>Ligustrum</i> (Liguster)	gering, meist durch Kreuzreaktion aufgrund der Verwandtschaft in den Ölbaumgewächsen
<i>Pinaceae</i> (Kieferngewächse)	<i>Pinus</i> (Kiefer)	gering
	<i>Larix</i> (Lärche)	nicht bekannt
	<i>Abies</i> (Tanne)	gering

<i>Platanaceae</i> (Platanengewächse)	<i>Platanus</i> (Platane)	gering, ausgenommen Regionen mit hohen Pollenbelastungen
<i>Plantaginaceae</i> (Wegerichgewächse)	<i>Plantago</i> (Wegerich)	mäßig
<i>Polygonaceae</i> (Knöterichgewächse)	<i>Rumex</i> (Ampfer)	gering
<i>Rosaceae</i> (Rosengewächse)	<i>Prunus</i> (Kirsche, Pflaume, Schlehe)	gering
<i>Sapindaceae</i> (Seifenbaumgewächse)	<i>Acer</i> (Ahorn)	gering
	<i>Aesculus</i> (Roskastanie)	gering
<i>Taxaceae</i> (Eibengewächse)	<i>Taxus</i> (Eibe)	gering
<i>Salicaceae</i> (Weidengewächse)	<i>Populus</i> (Pappel)	gering
	<i>Salix</i> (Weide)	gering
<i>Ulmaceae</i> (Ulmengewächse)	<i>Ulmus</i> (Ulme)	gering
<i>Urticaceae</i> (Nesselgewächse)	<i>Urticaceae</i> (Nessel- und Glaskraut)	Brennnessel geringe Allergenität, Glaskraut mäßig allergen
<i>Juglandaceae</i> (Walnussgewächse)	<i>Juglans</i> (Walnuss)	gering

Tabelle 2: Allergiepotential der unterschiedlichen Taxa

Quelle: <https://www.pollenwarndienst.at/de/allergie-infos/fuer-allergiker/steckbriefe.html>, abgerufen am 24.02.2015

2.8. Terminologie

- Apertur: Austrittsstelle (Öffnung) für den Pollenschlauch; die Region unterscheidet sich morphologisch und/ oder anatomisch von dem Rest der Pollenwand
- aperturat: Pollenkörner mit Apertur
- Aperturmembran: Exinenschicht, welche die Apertur bedeckt, sie kann skulpturiert oder glatt sein
- Äquator: fiktive Mittellinie rund um ein Pollenkorn, zwischen dem proximalen und distalem Pol
- colpat: Pollenkorn mit Colpi, je nach Anzahl der Colpi unterscheidet man zwischen tricolpat, tetracolpat, usw. ...
- colporat: Pollenkörner mit Colpori, je nach Anzahl der Colpori unterscheidet man zwischen tricolpat, tetracolpat, usw. ...
- Colporus: (Pl.: Colpori): Apertur von verschiedener Form und Größe bestehend aus einem Colpus (Ektoapertur) in Zusammenhang mit einer Endoapertur
- Colpus (Pl.: Colpi): langgestreckte Apertur am Äquator oder gleichmäßig am Pollenkorn verteilt
- echinat: Pollenwand mit Echini
- Echinus (Pl.: Echini): langgestreckte, zugespitzte, freistehende Elemente, länger und/oder breiter als 1 μm
- endo-: Vorsilbe mit der Bedeutung „innen“
- Exine: die äußere Schicht der Pollenwand
- Fossula (Pl.: Fossulae): unregelmäßige geformte Furchen auf der Oberfläche der Pollenwand
- fossulate: Pollenwand mit Fossulae
- inaperturat: Pollenkorn ohne Apertur
- lalongat: Endoapertur äquatorial gestreckt
- lolongat: Endoapertur meridional gestreckt
- Lumus (Pl.: Lumina): Bezeichnung für einen geschlossenen Bereich, zum Beispiel durch Muri entstanden
- Monade: Verbreitungseinheit bestehend aus einem einzigen Pollenkorn
- Murus (Pl.: Muri): ist jene Wand, die zwei Lumina voneinander separiert
- Nexine: innerer und nicht ausgestalteter Teil der Exine, sie befindet unterhalb der Sexine; Bezeichnung, die für lichtmikroskopische Aufnahmen verwendet wird

- oblat: bei einem oblaten Pollenkorn ist die Polachse kürzer als der Äquatordurchmesser
- operculat: Apertur mit Operculum
- Operculum: Deckel; dicke Membran (Exine), die eine Apertur bedeckt
- pantoporat: ein pantoporates Pollenkorn hat Aperturen, die mehr oder weniger auf der Oberfläche verteilt sind
- perforat: Pollenwand mit Löchern kleiner als 1 μm
- Pol: äußerste proximale und/oder distale Punkt des Pollenkorns; in der Polansicht ist die Polebene gegen den Beobachter gerichtet
- Porus (Pl.: Pori): mehr oder weniger runde Aperturen entweder am Äquator oder gleichmäßig am Pollenkorn verteilt
- Prolat: bei einem prolaten Pollenkorn ist die Polachse länger als der Äquatordurchmesser
- psilat: Keine Skulptur oder mit unter 1 μ kleinen Vertiefungen versehen
- Reticulum (Pl.:Reticula): durch Muri entstandenes netzartiges Muster, die Luminar sind breiter als 1 μm
- Rugulae (Sing: Rugula): verlängerte Exineelement, länger als 1 μm und unregelmäßig verteilt
- rugulat: Pollenwand mit Reticulum
- scabrat: Begriff, der nur für lichtmikroskopische Aufnahmen verwendet wird; beschreibt Elemente der Exine, die beliebige Formen aufweisen können und von einer Größe sind, die das Lichtmikroskop gerade noch auflösen kann
- Sexine: beschreibt die strukturierte der Exine
- Sphäroidal: bei einem sphäroidalen Pollenkorn ist die Polachse mehr oder weniger gleich lang wie der Äquatordurchmesser
- striat: in der Aufsicht mit über 1 μ langen, hauptsächlich parallel angeordneten Skulpturelementen versehen.
- Tectat: mit Tectum
- tectat: Pollenkorn mit Tectum
- Tectum (Pl.: Tecta): äußere mehr oder weniger durchgehende Schicht der Sexine, je nach Zustand wird von eutectat (kontinuierlich), semitectat (unterbrochen) oder atectat (ohne) geredet
- Verruca (Pl.:Verrucae): warzenförmiges Erhebung auf der Exine, mindestens 1 μm breit, breiter als hoch, am oberen Ende abgerundet

- Verrucal: mit Verrucae (Punt, 2007; Hesse, 2009)

3. Praktischer Teil

3.1. Beschreibung des Standortes

Der in ca. 250 Meter Seehöhe gelegene Laaerberg befindet sich am äußeren, südlichen Rand des zehnten Wiener Gemeindebezirkes und liegt ca. 10km vom Stadtzentrum entfernt. Der östliche Teil des Wienerberges erhielt im Jahr 1331 urkundlich seinen Namen.

Der Laaerberg, leitet seinen Namen vom althochdeutschen Wort „loh“ ab, das so viel heißt wie Hain, Gebüsch, Gehölz beziehungsweise niedriger Wald. Der ursprüngliche Eichenmischwald wurde jedoch bereits im 17. und 18. Jahrhundert abgeholzt. Der vom pannonischen Klima geprägte Laaerberg ist im Wiener Becken eingebettet

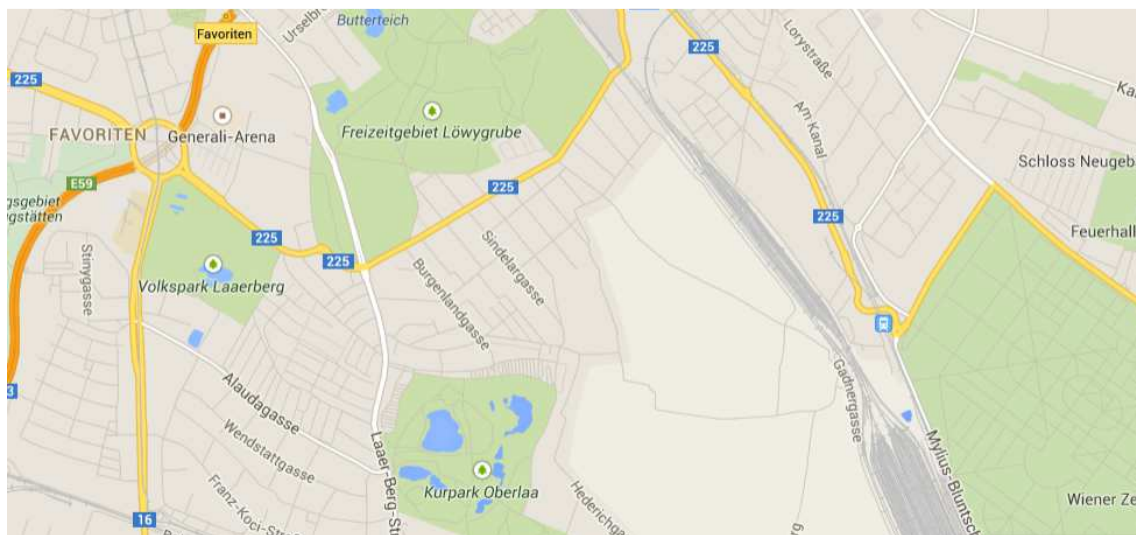


Abbildung 8: Karte Laaerberg

Quelle: <https://www.google.at/maps/@48.1570518,16.4004157,14z>, abgerufen am 11.12.2014

Das hügelige Gebiet formt die höchste der sechs Flussterrassen, welche die Donau einst durch ihren ursprünglichen Lauf formte. Der von Quarzschotter bedeckte Laaerberg umfasst an der Basis ein mächtiges Lehmvorkommen, welches auf ein ausgetrocknetes Urzeitmeer zurückzuführen ist. Der Löss, welcher an der Ostseite des Berges angeweht wird, ermöglichte einen erfolgreichen Weinanbau. Der höchste Punkt des Berges befindet sich an der Laaerbergstraße, direkt am Gelände des Kindergartens der Wiener Kinderfreunde. (Kaessmayer, 2012)

Nur wenige Flugmeter entfernt, in der Palisagasse wurde der Pollen mit Hilfe von ausgelegten mit Glycerin bestrichenen Objektträgern gesammelt. Diese Objektträger wurden an einem zirka sechs Meter von Boden entfernten Fensterbrett in einer

Reihenhaussiedlung ausgelegt. Die nahegelegenen Gärten beherbergen zahlreiche verschiedene Pflanzen welche sich durch eine Vielfalt an Pollenkörnern im Untersuchungszeitraum bemerkbar gemacht haben.

3.2. Materialien und Methoden

3.2.1. Auszählen der Pollenkörner

Von Ende März bis Mitte September wurden am Laaerberg insgesamt 15 Objektträger für 1-2 Wochen ausgelegt. Damit die sich in der Luft befindlichen Pollenkörner daran kleben bleiben, wurde an den Objektträgern ein kleiner Tropfen Glycerin angebracht, welcher anschließend zu einer schmalen Linie verstrichen wurde.

Nach genauer lichtmikroskopischer Betrachtung mit 40-facher oder 60-facher Objektivvergrößerung wurde jeder Objektträger einzeln betreffend der verschiedenen Taxa ausgezählt. Die unterschiedlichen Pollenkörner wurden in Bahnen beginnend von dem linken oberen Rand des Objektträgers vertikal nach rechts ausgezählt. Es wurde pro Objektträger eine Stichprobe von 300 Pollenkörnern gezählt. Von diesen 300 gezählten Pollenkörnern wurde die prozentuelle Anzahl der verschiedenen Taxa ermittelt. Jene Taxa die über 1% betrugen, wurden in einer grafischen Darstellung gegenübergestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Wetterbedingungen kam es vor, dass in einem Präparat weniger als 300 Pollenkörner vorzufinden waren, diese wurden daher nicht ausgewertet.

In diesen Zusammenhang ist zu erwähnen, dass ein langer und starker Niederschlag sich ungünstig auf den Pollenflug auswirkt. Es kommt zu einem Auswascheffekt. (Hausen, Vieluf, 1997).

3.2.2. Lichtmikroskopische Untersuchung

Nach der Auszählung wurden ausgewählte Pollenkörner mit Hilfe eines Mikromanipulators (einer Präparationsnadel mit aufgeklebtem Haar) auf einen neuen mit Glycerin bestrichenen Objektträger aufgetragenen und fotografiert.

Um den Zellinhalt zu entfernen, wurden diese Pollenkörner mit dem Mikromanipulator auf einen Objektträger mit einem Tropfen Acetolysegemisch (9 Teile Essigsäureanhydrid und 1 Teil konzentrierte Schwefelsäure) gegeben und über einem Teelicht erhitzt. Einige der übertragenen Pollenkörner wurden erneut auf einen Objektträger mit Glycerin übertragen und ohne Zellinhalt fotografiert

3.2.3. Erstellung der Tafeln

Die lichtmikroskopischen Aufnahmen wurden fotografiert und anschließend mit dem Bildbearbeitungsprogramm Gimp bearbeitet und auf Tafeln arrangiert. Die drei Tafeln sind gesammelt im Anhang dieser Arbeit angeführt.

3.2.4. Ergebnisse der Auswertung

Ein Großteil der im Objektträger vorgefundenen Pollenkörner konnte aufgrund der lichtmikroskopischen Aufnahmen bestimmt werden und wird folgend in dieser Arbeit beschrieben. Die Bestimmung beruht hauptsächlich auf dem Vergleichen mit zahlreichen Darstellungen in diversen Publikationen

Woche	% <i>Abies</i>	% <i>Acer</i>	% <i>Alnus</i>	% <i>Ambrosia</i>	<i>Amaranthaceae</i>	% <i>Artemisia</i>	% <i>Betula</i>	% <i>Brassicaceae</i>	% <i>Carpinus</i>	% <i>Caryophyllaceae</i>	% <i>Castanea</i>	% <i>Cedrus</i>	% <i>Cerealie</i>	% <i>Composite (Amprosiatyp)</i>	% <i>Corylus</i>	% <i>Dup. Composite</i>	% <i>Fagus</i>	% <i>Farnspore</i>	% <i>Fraxinus</i>
20.04 - 27.04			0,5				48,2		23,3						0,4		0,4		7,8
24.05 - 31.05		0,5	1				21,1		9,9								18,6		4,7
03.06 - 10.06	0,4						2	7,8	1,2	0,4	2,0		5,3						2,4
13.06 – 20.06			1,1			1,8	4,0		1,1				3,6		1,1				
07.07 – 14.07		0,5	0,9		2,3		5,9	0,5	1,4	1,4	2,7			1,4	0,9	1,4	0,9	4,1	
15.08 - 22.08		1,9	1,9	15,1	17		3,8		1,9		3,8							1,9	
10.09 - 17.09			0,4	70,7	1,1	0,7	0,7			0,4	0,4	9,1							

Tabelle 3: Prozentuelle Verteilung der Taxa im Zeitverlauf, 2014 (Angaben in Wochen), Weinberger (2014)

Woche	% <i>Hedera</i>	% <i>Ilex</i>	% <i>Juglans</i>	% <i>Larix</i>	% <i>Ligustrum</i>	% <i>Lonicera</i>	% <i>Malvaceae</i>	% <i>Picea</i>	% <i>Pinus</i>	% <i>Plantago</i>	% <i>Platane</i>	% <i>Poaceae</i>	% <i>Populus</i>	% <i>Quercus</i>	% <i>Rosaceae</i>	% <i>Salix</i>	% <i>Sambucus</i>	% <i>Sparganium</i>	% <i>Tilia</i>
20.04 - 27.04													12,2						
24.05 - 31.05		0,3	2,2	0,3				10,4	0,3		10	0,5		12,9	2,7	0,8		3,3	
03.06 - 10.06								12,2	15,9	2,4		32,2		2,4	2,4			0,4	0,8
13.06 – 20.06			1,1					4,7	15,6	2,2		37,8		1,1	2,9				2,2
07.07 - 14.07					0,9	0,5		0,9	5,5	17,8		14,6		2,3	2,7	0,5	0,5		6,8
15.08 – 22.08					1,9			1,9	3,8	3,8		15,1	3,8						
10.09 – 17.09	0,7						0,7	0,4		2,5		7,6			1,1				0,4

Tabelle 4: Prozentuelle Verteilung der Taxa im Zeitverlauf, 2014 (Angaben in Wochen), Weinberger, 2014

20. April - 27. April

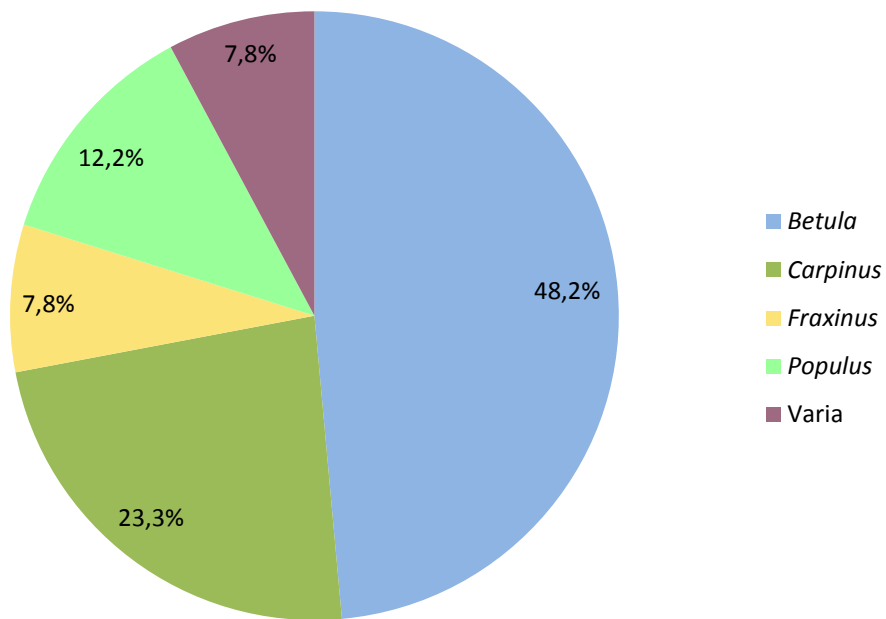


Abbildung 9: Auswertung 20.4.2013 – 27.04. 2013

24. Mai - 31. Mai

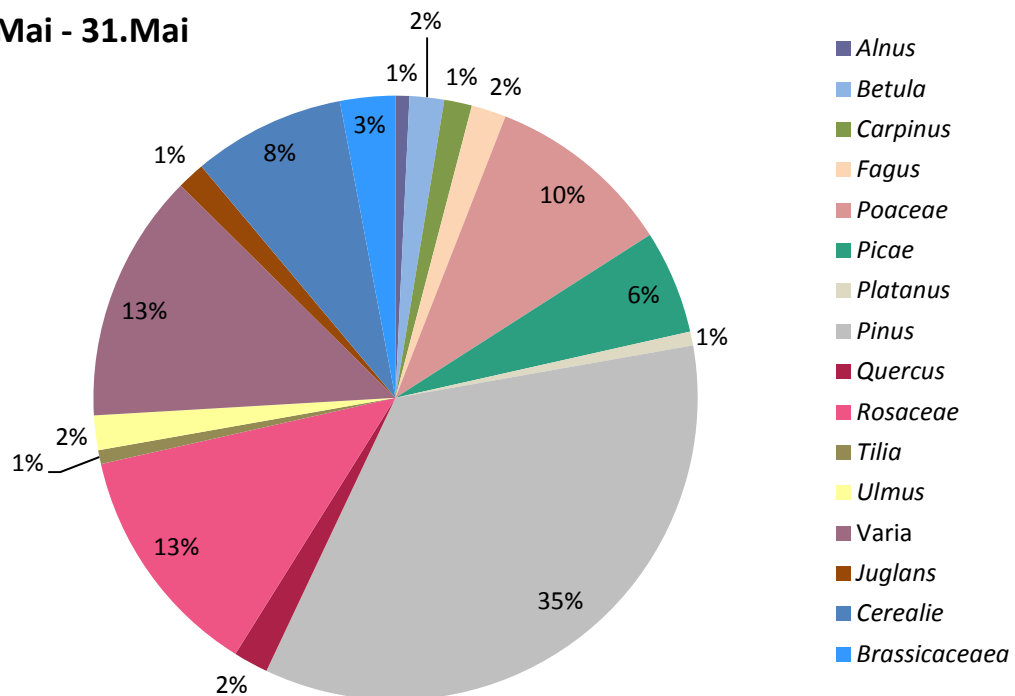


Abbildung 10: Auswertung 24.05.2013 – 31.05.2013

3. Juni - 10. Juni

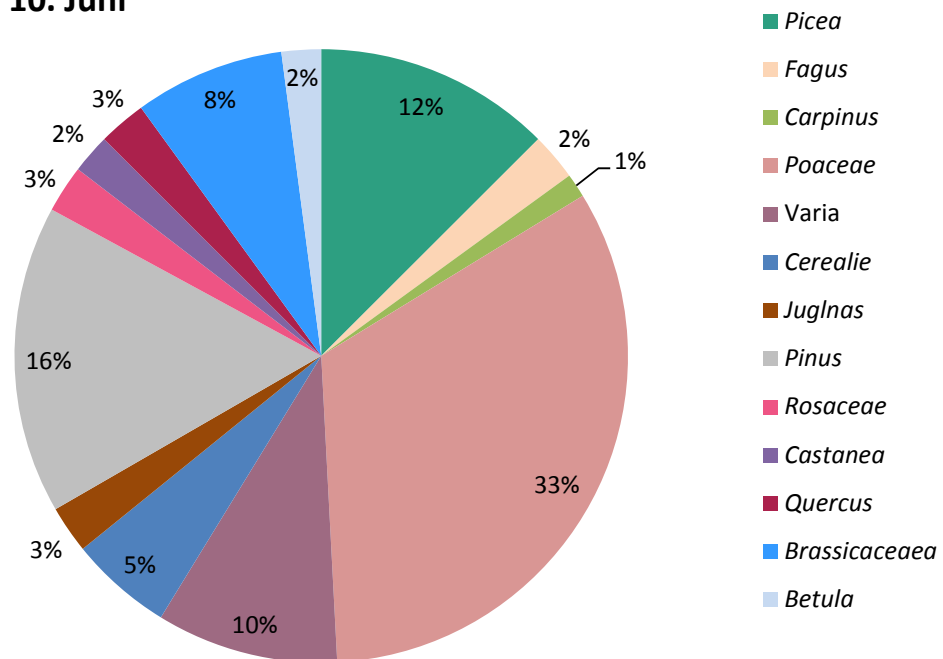


Abbildung 11: Auswertung 03.06.2013 . 10.06.2013

13. Juni - 20. Juni

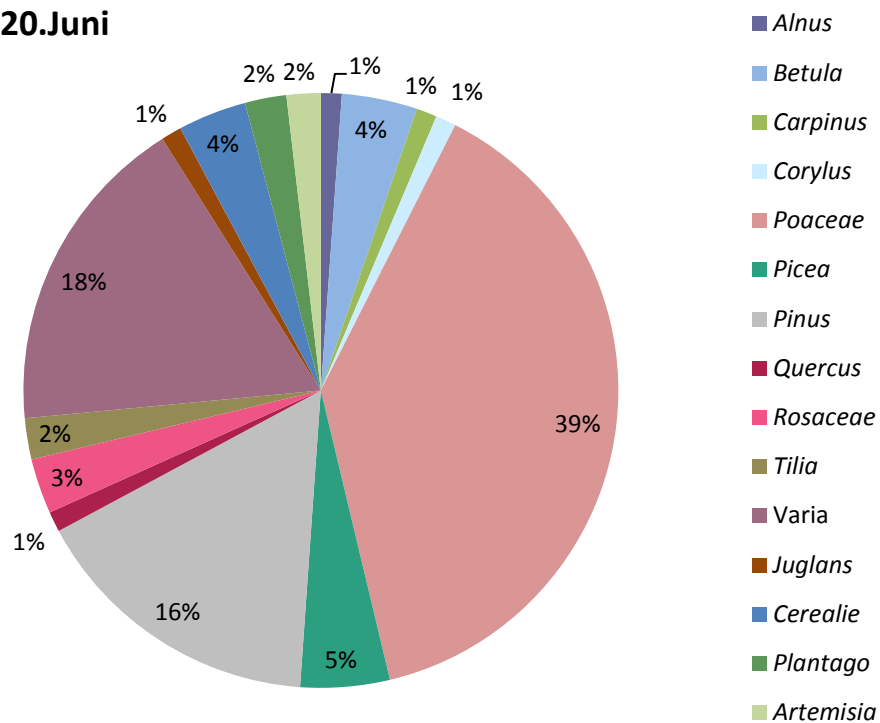


Abbildung 12 Auswertung 13.06.2013 – 20.06.2013

7. Juli - 14. Juli

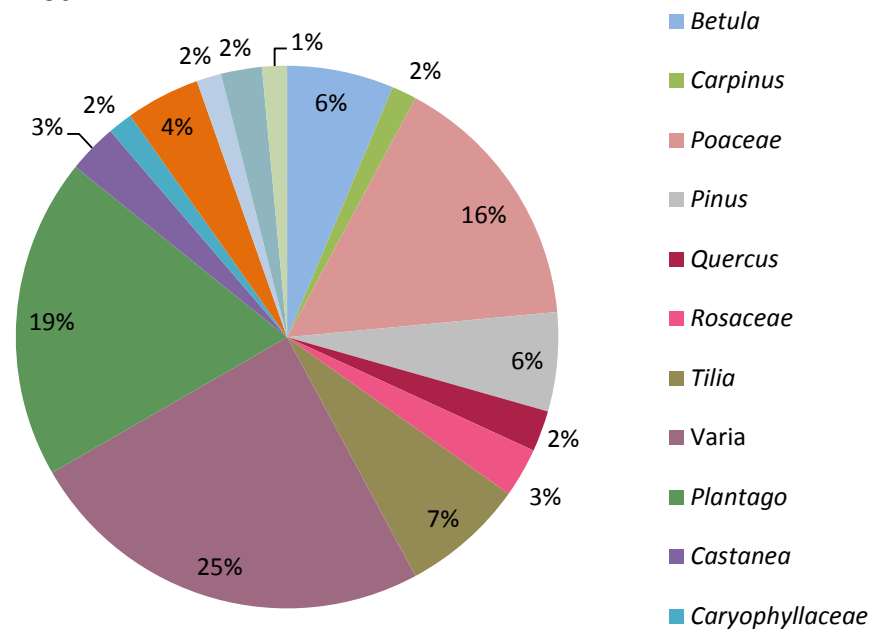


Abbildung 13: Auswertung 07.07.2013 – 14.07.2013

15. August - 22. August

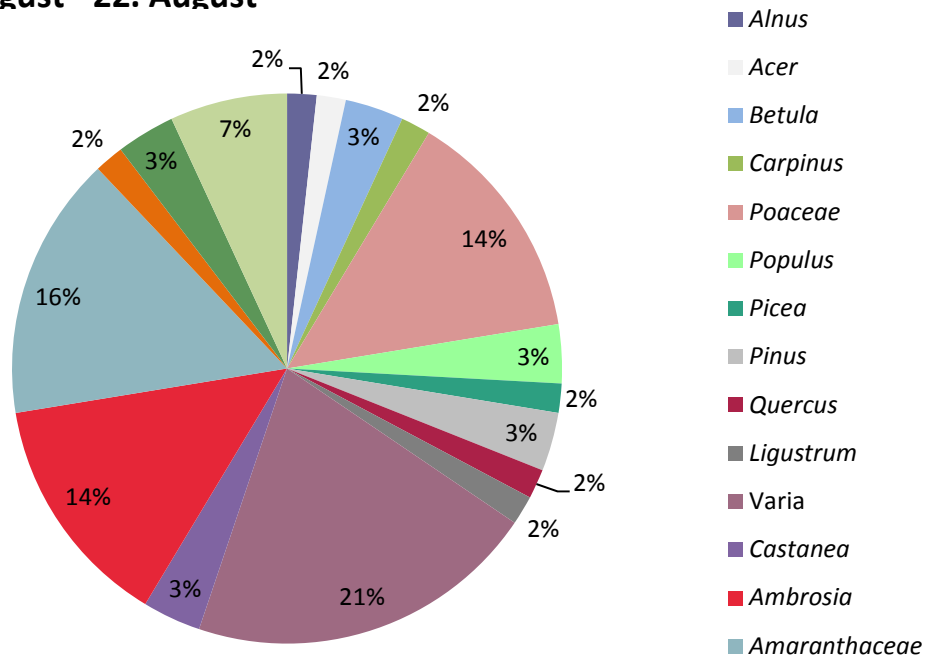


Abbildung 14: Auswertung 15.08.2013 – 22.08.2013

10. September - 17. September

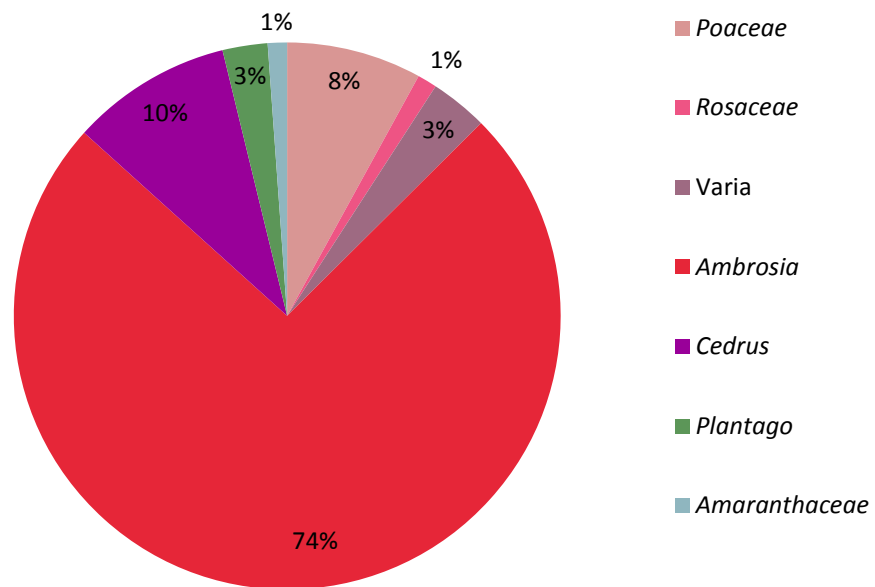


Abbildung 15: Auswertung 10.09.2013 – 17.09.2013

3.3. Vergleich mit dem Pollenkalender von Stix

Die Erstellung des Pollenkalenders von Stix erfolgte mithilfe von Daten, welche in den Vegetationsperioden von 1971 bis 1976 gesammelt wurden. Die Pollenkörner wurden mit Burkardfallen jeweils von Anfang Februar bis Ende Oktober gesammelt. Die Messstelle befand sich in München in 532m Höhe. Die Nahe Umgebung war geprägt von zahlreichen Parkanlagen und windblütigen Bäumen. Der Pollen von krautigen Pflanzen wurde vermutlich vom Stadtrand herangeweht.

Der Pollenkalender von Stix wurde zum Vergleich mit den aktuellen Ergebnissen hergezogen, da die Beschreibung des Standortes auf eine ähnliche Ortsgegebenheiten wie in der Untersuchung von 2013 am Laaerberg schließen lässt. Weiters beruht Stixs Auswertung auf den Ergebnissen der Pollensammlung von insgesamt 5 Jahren. Die von Jahr zu Jahr vorkommenden Schwankungen bezüglich Konzentration und der zeitlichen Lage des Vorkommens sind nicht berücksichtigt. Der Kalender wurde nach einheitlichen Gesichtspunkten erstellt. Der Anfang, die Höhepunkte und das Ende der ermittelten Pollenkozentration entsprechen dem Mittelwert des tatsächlich gemessenen Pollengehalts. (Stix, 1981)

Diese beiden Faktoren haben dazu beigetragen, dass der Pollenkalender von Stix jener ist, der am besten für den Vergleich geeignet ist.

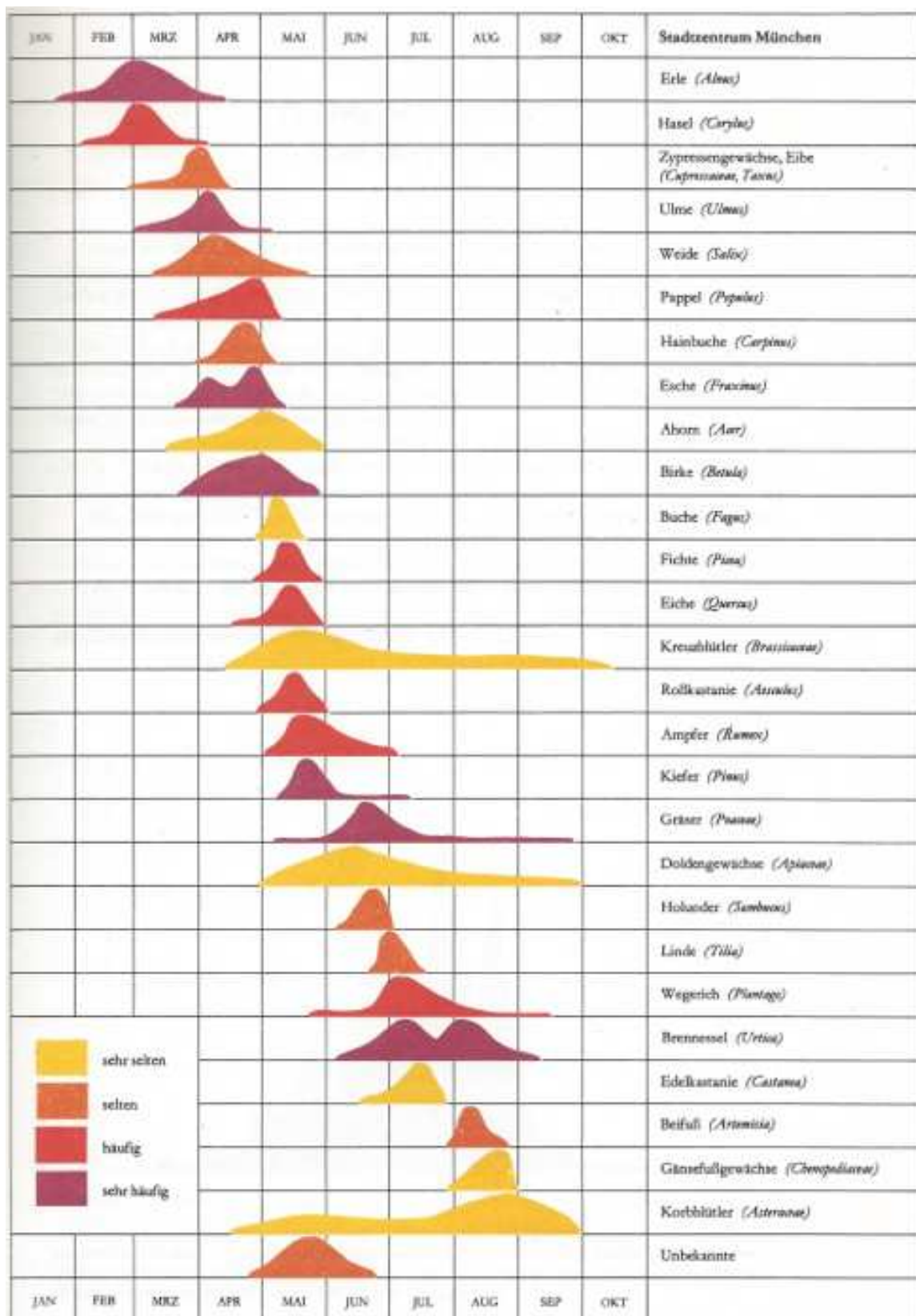


Abbildung 16: Pollenflugkalender von München (1971 – 1976)
 Quelle: Stix, 1981

3.4. Vergleich der Untersuchungen: Laaerberg 2013, ZAMG 2013 und Stix 1971-1976

Taxa	München 1971-1976 Jänner – Dezember	Laaerberg 2013 Mitte April – Anfang September	ZAMG Hohe Warte 2013 Jänner – Dezember
<i>Alnus</i>	Sehr häufig von Jänner – Mitte April; langsamer An- und Abstieg; Höhepunkt Ende Februar/Anfang März.	Einzelnes Vorkommen im Mai, Juli August.	Jänner – Anfang Mai; Häufig im März und Mitte April.
<i>Corylus</i>	Häufig von Anfang Februar – Anfang April; Höhepunkt Ende Februar/Anfang März.	Einmaliges und geringes Auftreten im Juni.	Häufig von Ende Jänner – Mitte April; Höhepunkt erste Märzhälfte
<i>Ulmus</i>	Selten von März – Mitte April; Höhepunkt Ende März/Anfang April.	Einmaliges und geringes Auftreten Ende Mai.	Selten von März – Anfang Mai; Höhepunkt Mitte April
<i>Populus</i>	Häufig von Mitte März – Anfang Mai; Höhepunkt Ende April.	Hohes Auftreten im April und geringes Vorkommen im August.	Selten von Anfang März – Ende April; Höhepunkt Mitte/Ende April
<i>Carpinus</i>	Selten von Ende März – Anfang April; Höhepunkt Ende April.	Hohes Vorkommen Ende April und geringes im Mai, Juni und Juli.	Mitte April – Anfang Mai; häufig Mitte – Ende April.
<i>Fraxinus</i>	Sehr häufig von Ende März – Mitte Mai; Höhepunkt Ende April.	Fraxinus häufiges Vorkommen Ende April	Anfang April – Mitte Mai; Sehr häufig im April; Vereinzelt

			Vorkommen im März.
<i>Acer</i>	Sehr selten von Mitte März – Ende Mai; Höhepunkt Mitte April.	Einmaliges und geringes Vorkommen Ende August.	Sehr selten von März – Ende April; Höhepunkt in der in der 2 Aprilhälfte.
<i>Betula</i>	Sehr häufig von Ende März – Ende Mai; Höhepunkt Ende April/Anfang Mai.	Sehr häufiges Vorkommen Ende April und geringes Vorkommen in Mai, Juni, Juli, August.	Sehr häufig von Mitte April – Ende Juni; Höhepunkt Mitte April.
<i>Fagus</i>	Sehr selten von Ende April – Mitte Mai; Höhepunkt Anfang April.	Sehr geringes Vorkommen im Mai und Juni.	Von Mitte April – Mitte Mai. Häufiges Vorkommen Ende April.
<i>Picea</i>	Häufig von Ende April – Ende Mai; Höhepunkt Mitte April.	Häufiges Vorkommen im Mai und Juni.	Sehr selten von Ende April – Mitte Juli.
<i>Quercus</i>	Häufig von Mitte April – Ende Mai; anfänglicher langsamer Anstieg, rascher Abstieg; Höhepunkt Mitte Mai.	Geringes Vorkommen im Mai, Juni und Juli.	Sehr selten von Mitte April – Mitte Juli.
<i>Brassicaceae</i>	Sehr selten von Mitte April – Mitte Oktober; Höhepunkt Mitte/Ende Mai.	Geringes Vorkommen im Mai und Juni.	Sehr selten von Ende April – Ende Mai.
<i>Pinus</i>	Sehr häufig von Mitte Mai – Anfang Juli; Höhepunkt Ende Mai.	Sehr häufiges Vorkommen im Mai, häufiges Vorkommen	Häufig von Anfang April – Mitte September, Höhepunkt

		im Juni und geringes Vorkommen Juli/August	Mitte Mai.
<i>Poaceae</i>	Sehr häufig von Anfang Mai – Ende August; Höhepunkt Mitte Juni.	Häufiges Vorkommen im Mai, Juni, August, September, sehr häufiges Auftreten im Juni.	Häufig von Mitte April – Ende September; Höhepunkt Mitte Juni.
<i>Tilia</i>	Selten von Ende Juni – Mitte Juli; Höhepunkt Ende Juni/Anfang Juli	Einmaliges und geringes Auftreten im Juni.	Selten von Anfang Juni – Mitte September, Höhepunkt Mitte Juni.
<i>Plantago</i>	Häufig von Ende April – Mitte September; Höhepunkt Anfang Juli.	Häufig Vorkommen im Juli, selten im Juni, August und September.	Selten von Anfang April – Ende Oktober. Meistes Vorkommen im Juli
<i>Castanea</i>	Sehr selten von Mitte Juni – Ende Juli; Höhepunkt Mitte Juli.	Seltens Auftreten im Juni.	Sehr selten von Anfang Juni – Mitte August.
<i>Artemisia</i>	Selten von Ende Juli – Ende August; Höhepunkt Anfang August.	Häufiges Vorkommen im August, gering im Juni und Juli.	Sehr selten von Mitte Juli – Mitte September.

Tabelle 5: Tabellarische Gegenüberstellung der Pollenfluguntersuchungen von Stix (1971-1976), Weinberger (2013) und ZAMG (2013)

Quelle: http://ean.polleninfo.eu/Ean_Stix, 1981

3.4.1. Zusammenfassung der Ergebnisse

In allen drei Untersuchungen hatte der Pollenflug von *Carpinus* im April seinen Höhepunkt. Im April 2013 waren in der Stichprobe 23,3% Pollenkörner von *Carpinus* vorzufinden. In den Monaten Mai, Juni und Juli hingegen nur 1-2%. Das Ergebnis im April kommt mit den Werten von Stix sowie ZAMG zur Deckung. Die 1-2% in den anderen Monaten können daraus entstanden sein, dass abgelagerte Pollenkörner vom Wind erneut aufgewirbelt wurden und so weiterhin mit einem geringen Prozentsatz in der Probe vorhanden waren. Laut Stix kommt *Fraxinus* in der Luft von Ende März bis Mitte Mai vor. Alle Untersuchungen zeigten das höchste Vorkommen von Eiche Ende April. Festzuhalten ist, dass *Betula*, *Carpinus*, *Fraxinus* und *Populus* in allen Untersuchungen Mitte April bis Ende April dominierend waren. Die Pollenkörner von *Betula* machten bei der Untersuchung am Laaerberg im April fast 50% der Probe aus. Auf der Hohen Warte konnten *Betula* und *Fraxinus* von Mitte bis Ende April im Vergleich zu den anderen Taxa die höchsten Werte erreichen.

Fagus zeigte in allen Untersuchungen im April/Mai ein sehr geringes Auftreten. In der Auswertung von ZAMG konnte von 24. April 2013 bis zum 28. April 2013 jedoch ein kurzes und hohes Vorkommen von *Fagus* festgestellt werden.

Picea hatte bei der Auswertung von Stix im Mai das höchste Vorkommen und bei der Untersuchung 2013 am Laaerberg im Juni. Solche Unterschiede können auch auf jährliche Temperaturunterschiede und folglich mit dem späteren oder früheren Einsetzen der Blühperiode zusammenhängen. ZAMG hingegen veröffentlichte 2013 ein sehr geringes Auftreten von *Picea* auf der Hohen Warte.

Interessanterweise beschrieb Stix ein häufiges Vorkommen von *Quercus* zwischen Mitte April und Ende Mai. 2013 wurde in der Stichprobe am Laaerberg nur eine Konzentration zwischen 1-3 % im Mai, Juni und Juli festgestellt. Auf der Hohen Warte setzte *Quercus* erstmals Mitte April ein. Bis Mitte Juli können Pollenkörner von *Quercus* nachgewiesen werden. Das regelmäßige Vorkommen von *Quercus* ist jedoch von Ende April bis Ende Mai festzustellen.

Stix veröffentlichte, dass die Pollenkörner der *Brassicaceae* sehr selten von Mitte April bis Mitte Oktober vorzufinden waren. Der Höhepunkt befand sich Mitte bis Ende Mai. 2013

am Laaerberg wurden die Pollenkörner der Kreuzblütler nur im Mai und Juni in der Stichprobe bestimmt, wohingegen die höchste Konzentration mit 5% im Juni lag. ZAMG konnte 2013 nur eine äußerst geringe Konzentration zwischen April und Ende Mai nachweisen.

Der Gehalt an Pollenkörnern von *Tilia* war in allen Untersuchungen sehr gering. Stix ermittelte das Vorkommen von Ende Juni bis Mitte Juli und ZAMG 2013 von Anfang Juni bis Anfang August. Bis Ende September konnten noch vereinzelt Pollenkörner nachgewiesen werden. Die Untersuchung am Laaerberg 2013 zeigte ein einmaliges Vorkommen von 2% der Linde im Juni.

Bei Stix startet der Pollenflug von *Plantago* Mitte Juni und endete im Juli. ZAMG konnte 2013 Pollenkörner von *Plantago* von Anfang April bis Ende September nachweisen. Im Oktober waren noch sehr selten einzelne Pollenkörner in den Proben vorhanden. Das meiste Vorkommen war im Juli. Bei der Untersuchung 2013 am Laaerberg wurde ein einmaliges Auftreten im Juni festgestellt.

Die höchste Konzentration an *Artemisia* lag in allen Studien im August vor.

Acer kommt bei Stix sehr selten zwischen Mitte März und Ende Mai vor. 2013 wurde hingegen ein einmaliges und geringes Auftreten von 2% im August festgestellt. ZAMG veröffentlichte ein seltenes Vorkommen von Mitte bis Ende April. Im März traten schon vereinzelt Pollenkörner in den Proben von ZAMG auf.

Laut Stix und ZAMG startet die Flugsaison 2013 von *Alnus* im Jänner, bei *Corylus* Ende Jänner/Anfang Februar und bei *Ulmus* Anfang März. Nachdem die Auswertung 2013 erst mit Ende April beginnt kann betreffend dieser Taxa kein genauer Vergleich gezogen werden. Das geringe Vorkommen zwischen Mai und August kann ebenfalls mit den aufsteigenden Luftströmen zusammenhängen. (Stix, 1981; <http://ean.polleninfo.eu/Ean>)

Im Großen und Ganzen lassen sich viele Gemeinsamkeiten der drei Untersuchungen feststellen. Unterschiede (wie zum Teil schon erwähnt), sind auf jährliche Temperaturschwankungen, Wetterbedingungen (Windstärke, Regen, Sonne), relative Luftfeuchtigkeit, den Standort beziehungsweise die Lage, die umgebende Vegetation,

sowie das von Wind verursachte erneute Aufsteigen von abgelagerten Pollenkörnern zurückzuführen. Ein hoher Niederschlag trägt zu einem Auswaschungseffekt bei, was folglich eine negative Auswirkung auf den Pollenflug hat. Eine stabile und gleichmäßige Luftschichtung löst einen positiven Effekt auf die Pollenkonzentration in der Luft aus. (Hausen, Vieluf, 1997; Straka, 1975)

Trotz dessen, dass auf ein sauberes Arbeiten großer Wert gelegt wurde, können minimale Abweichungen durch Verunreinigung der Präparate mit fremden Pollenkörnern nicht ausgeschlossen werden.

Des Weiteren muss darauf hingewiesen werden, dass bei den Untersuchungen von Stix und ZAMG mit einer Burkard-Falle gearbeitet wurde, wohingegen bei der Untersuchung am Laaerberg die Pollenkörner mittels Objektträger eingesammelt wurden. Dieser Umstand ermöglicht keinen exakten Vergleich der drei Untersuchungen.

Nachdem bei der Untersuchung 2013 am Laaerberg vor allem auch die Anwendbarkeit der Methode für den Schulunterricht im Fokus stand, wurde großen Wert darauf gelegt, dass der Pollen auf eine einfache und kostengünstige Art und Weise gesammelt werden kann.

3.5. Pollenbeschreibung

Als Grundlage der folgenden Pollenbeschreibungen wurden die Daten des österreichischen Pollenwarndienstes herangezogen. (<https://www.pollenwarndienst.at/de/allergie-infos/fuer-aerobiologen/pollenatlas.html>, abgerufen am 14.12.2014):

Abies

- rundovaler Zentralkörper mit zwei seitlichen, mehr als halbkugeligen (fast dreiviertelkugeligen) Luftsäcken, hantelförmig
- Größe: 106,9-139,3µm
- Keimöffnungen: Verdünnung (Leptoma)
- Pollenwand des Zentralkörpers: dicke, rugulate Exine, dicke Intine;
Pollenwand der Luftsäcke: Pollenwand mit grobmaschigem, unregelmäßigem Netz, Exineskulptur aufgrund der Lufteinschlüsse nur bedingt erkennbar

Alnus

- an den Polen abgeflacht, Polansicht: abgerundet vier- oder fünfeckig, Äquatorialansicht: oval
- Größe: Polachse: 20-23 µm, Äquatordurchmesser: 24-26 µm
- Keimöffnungen: stephanoporat, mit 4 bis 5 ovalen, vorstehenden Keimporen, Ausbildung einer getrennten, offenen Kammer innerhalb der Keimporen (Vestibulum), Keimporen von ringförmigen Verdickungen der Exine umrandet
- Pollenwand: dünne, scabrate Exine mit bogenförmigen Verdickungen (Arci) zwischen den Keimöffnungen, dünne Intine, bildet flache Keimhöfe aus

Acer

- Polansicht abgerundet dreiseitig, Äquatorialansicht: rundlich bis oval
- Größe: Polachse: 26-30 µm, Äquatordurchmesser: 34-39 µm
- Keimöffnungen: tricolpater Pollen mit langen, weiten Keimspalten
- Pollenwand: dünne, striate Exine, Intine verdickt sich im Bereich der Keimspalten und tritt dort etwas vor

Ambrosia

- Polansicht: rundlich, Äquatorialansicht: rundlich bis oval
- Größe: Polachse: 16,8-17,8 μm , Äquatordurchmesser: 17,8-19,8 μm
- Keimöffnungen: tricolporat, mit lolongaten Poren und kurzen Keimspalten
- Pollenwand: bis 2 μm dicke, echinate Exine, Stacheln sehr flach mit breiter Basis, dünne Intine, manchmal unter den Keimöffnungen leicht verdickt

Artemisia

- rund
- Größe: Polachse: 20-22 μm , Äquatordurchmesser: 20-24 μm
- Keimöffnungen: tricolporat, mit langen, zugespitzten Keimspalten und runden, klar abgegrenzten Keimporen
- Pollenwand: echinate Exine mit äußerst kleinen, rudimentären Stacheln, Exine erscheint im optischen Schnitt sichelförmig und quergestreift, verjüngt sich in Richtung der Keimspalten, dicke Intine, quillt oft im Bereich der Keimporen hervor

Betula

- Polansicht: rundlich, Äquatorialansicht: rundlich bis oval
- Größe: Polachse: 22,6 (21-25) μm , Äquatordurchmesser: 24 (22-25) μm
- Keimöffnungen: triporat mit vorstehenden Keimporen, seltener auch tetra- oder pentaporat, Ausbildung einer getrennten, offenen Kammer innerhalb der Keimöffnungen (Vestibulum)
- Pollenwand: dünne, scabrate Exine, um die Keimporen ringförmig verdickt, dünne Intine, bildet Keimhöfe aus

Brassicaceae

- Polansicht abgerundet dreieckig, Äquatorialansicht: rundlich bis oval
- Größe: 21-24 μm , Äquatordurchmesser: 23-25 μm
- Keimöffnungen: tricolpater Pollen mit an den Enden abgerundeten Keimspalten, Keimspaltenmembran manchmal von feinkörnigen Exineresten bedeckt
- Pollenwand: retikulate Exine, Netzwände erscheinen in der Aufsicht perlschnurartig, Maschenweite des Exinenetzes in Richtung der Keimspalten kaum verringert, am Keimspaltenrand zum Teil offene Netzmaschen, die Keimspalten sind daher nicht deutlich von der Exine abgegrenzt

Carpinus

- Polansicht: rundlich, Äquatorialansicht: oval bis rundlich
- Größe: Polachse: 29,7-35,6 μm , Äquatordurchmesser: 30,7-41,5 μm
- Keimöffnungen: meist tetra- oder penta-, seltener tri- oder hexaporat mit großen Keimporen, leicht vorspringenden Porenrändern (Ausbildung eines undeutlichen Vestibulums) und manchmal mit kleinen, kaum erkennbaren Operculi
- Pollenwand: dünne, psilate bis scabrate Exine, dünne Intine, verdickt sich im Bereich der Keimporen zu konvexen, etwa 5-7 μm tiefen Onchi

Castanea

- Polansicht: rundlich bis abgerundet dreiseitig, Äquatorialansicht: oval
- Größe: Polachse: 14-16 μm , Äquatordurchmesser 13-14 μm
- Keimöffnungen: tricolporat, schmale, zugespitzte Keimspalten
- Pollenwand: dünne, psilate Exine, Intine verdickt sich geringfügig unterhalb der Keimporen

Caryophyllaceae

- rund
- Größe: 46-52 μm
- Keimöffnungen: periporater Pollen mit 9 bis 11 großen Poren, Keimporen von einem aus körnchenförmigen Exineresten bestehenden Operculum bedeckt, Keimporenmembran tritt durch Quellung etwas hervor
- Pollenwand: retikulate Exine, an den Kreuzungen der Netzwände treten die Exinecolumellen hervor, die Pollenoberfläche wirkt daher geperlt, dünne Intine

Cedrus

- hantelförmig, rundovaler Zentralkörper mit zwei seitlichen, halbkugeligen Luftsäcken, keine Einschnürung zwischen den Luftsäcken und dem Zentralkörper
- Größe: 69,2-79,1 μm
- Keimöffnungen: Verdünnung (Leptoma)
- Pollenwand: Zentralkörper: rugulate, an der Dorsalseite dicke Exine, im Bereich der Ansatzstelle der Luftsäcke am dicksten, dicke Intine; Luftsäcke: Pollenwand mit grobmaschigem, unregelmäßigem Netz, Exineskulptur aufgrund von Lufteinschlüssen nur undeutlich erkennbar

Cheopodiaceae / Amaranthaceae

- rund
- Größe: 23-33 µm
- Keimöffnungen: periporat, viele (etwa 50 bis 70) Keimporen, Keimporendurchmesser zirka 1,5-2 µm, Keimporenmembran mit feinkörnigen Exineresten bedeckt
- Pollenwand: scabrate, etwa 1-1,5 µm dicke, im optischen Schnitt gestrichelte Exine, sehr dünne Intine

Corylus

- Polansicht: abgerundet dreiseitig, manchmal fast dreieckig, Äquatorialansicht: oval
- Größe: Polachse: 25-31 µm, Äquatordurchmesser: 26-31 µm
- Keimöffnungen: triporat, Keimporendurchmesser etwa 2-3 µm
- Pollenwand: dünne, scabrate Exine, dünne Intine, bildet sehr tiefe, konvexe Keimhöfe

Fagus

- rundlich
- Größe: Polachse: 41-47 µm, Äquatordurchmesser: 45-52 µm
- Keimöffnungen: tricolporat, kurze, schmale, zugespitzte Keimspalten und deutlich ausgeprägte, etwa 9-11 µm große Keimporen, an den Porusränder manchmal Exinereste
- Pollenwand: dünne, scabrate bis rugulate Exine, verdickt sich geringfügig um die Keimporen, dünne Intine, quillt im Bereich der Keimporen vor

Fraxinus

- Polansicht: rundlich bis abgerundet dreiseitig, Äquatorialansicht: oval
- Größe: Polachse: 20-24 µm, Äquatordurchmesser: 24-28 µm
- Keimöffnungen: tri-, seltener tetracolpat, schmale, lange, mehr oder weniger zugespitzte Keimspalten
- Pollenwand: dünne, retikulate Exine, Netzwände erscheinen in der Aufsicht perlschnurartig, feines Exinenetz mit variabler Maschenweite, dünne Intine, bildet flache Keimhöfe aus

Hedera

- Polansicht abgerundet dreieckig, Äquatorialansicht: rundlich
- Größe: Polachse: 26-30 μm , Äquatordurchmesser: 27-30 μm
- Keimöffnungen: tricolporater Pollen mit spindelförmigen, von einem Margo umsäumten Keimspalten
- Pollenwand: dünne, retikulate Exine, Exinenetz mit unregelmäßiger Maschenweite (heterobrochat), diese verringert sich zu den Keimöffnungen hin (Ausbildung eines Margo), Ektexine oftmals am Keimporenrand nach außen gebogen, Intine verdickt sich im Bereich der Keimöffnungen und quillt dort meist etwas hervor

Juglans

- rundlich bis oval
- Größe: 36-44 μm
- Keimöffnungen: periporat, viele (etwa 11-15), runde bis ovale, etwa 2-3 μm große Keimporen, diese sind unregelmäßig über die Pollenoberfläche verteilt und meist nur auf einer Pollenhälfte angeordnet
- Pollenwand: dünne, psilate bis scabrate Exine, dünne Intine, formt flache Keimhöfe

Larix

- rund bis annähernd oval
- Größe: 73,2-88,0 μm
- Keimöffnungen: Verdünnung (Leptoma)
- Pollenwand: etwa 1-2 μm dicke, psilate Exine, auffällig dicke Intine (zumeist etwa 5-7 μm)

Ligustrum

- Polansicht: rund bis abgerundet dreiseitig, Äquatorialansicht: rundlich bis oval
- Größe: Polachse: 27-30 μm , Äquatordurchmesser: 30-34 μm
- Keimöffnungen: tricolporat, undeutlich erkennbare Keimporen
- Pollenwand: dicke, retikulate Exine, Netzwände erscheinen in der Aufsicht perlschnurartig, Maschenweite und Exinedicke verringern sich zu den Keimspaltenrändern, Intine bildet häufig Keimhöfe aus

Picea

- hantelförmig, rundovaler Zentralkörper mit zwei seitlichen, halbkugeligen Luftsäcken, keine deutliche Einschnürung zwischen den Luftsäcken und dem Zentralkörper (proximaler Ansatzwinkel der Luftsäcke stumpf)
- Größe: 97-124,4 μm
- Keimöffnungen: Verdünnung (Leptoma)
- Pollenwand: Zentralkörper: dicke, rugulate Exine, dicke Intine; Luftsäcke: Pollenwand mit grobmaschigem, unregelmäßigem Netz, Exineskulptur aufgrund von Lufteinschlüssen nur undeutlich erkennbar

Pinus

- hantelförmig, rundovaler Zentralkörper mit zwei seitlichen, mehr als halbkugeligen Luftsäcken, deutliche Einschnürung zwischen den Luftsäcken und dem Zentralkörper
- Größe: 67-87 μm
- Keimöffnungen: Verdünnung (Leptoma)
- Pollenwand: Zentralkörper: rugulate Exine, dicke Intine
Luftsäcke: Pollenwand mit grobmaschigem, unregelmäßigem Netz, Exineskulptur aufgrund von Lufteinschlüssen oft nur undeutlich erkennbar

Plantago

- Rund
- Größe: 24-28 μm
- Keimöffnungen: periporater Pollen, Poren mit Keimdeckeln
- Pollenwand: dünne, scabrate Exine, verdickt sich ringförmig um die Keimporen, dünne Intine

Platanus

- Polansicht rundlich bis abgerundet dreiseitig, Äquatorialansicht: oval
- Größe: Polachse: 18-21 μm , Äquatordurchmesser: 21-25 μm
- Keimöffnungen: tricolpater Pollen mit breiten, an den Enden abgerundeten Keimspalten, Keimspaltenmembran von feinkörnigen Elementen bedeckt
- Pollenwand: dünne, microretikulate Exine, Maschenweite $< 1 \mu\text{m}$, dünne Intine, verdickt sich geringfügig im Bereich der Keimspalten

Populus

- unregelmäßig, rundlich, manchmal kantig
- Größe: 27-33 μm
- Keimöffnungen: Verdünnung (Leptoma)
- Pollenwand: dünne, scabrate, leicht zerbrechliche Exine, Exinebruchstücke bleiben an der etwa 2-3 μm dicken Intine haften

Quercus

- Polansicht: abgerundet dreiseitig, Äquatorialansicht: oval
- Größe: Polachse: 26-30 μm , Äquatordurchmesser: 32-37 μm
- Keimöffnungen: tricolpat, mit schmalen, zugespitzten, kurzen, zum Teil vorstehenden Keimspalten
- Pollenwand: dünne, scabrate bis verrucate Exine, dünne Intine, verdickt sich im Bereich der Keimspalten und quillt vor

Rosaceae (Malus sp.)

- Polansicht abgerundet dreieckig, Äquatorialansicht: oval
- Größe: Polachse: 30-34 μm , Äquatordurchmesser: 35-39 μm
- Keimöffnungen: tricolpater Pollen mit breiten, weit ins Polfeld reichenden Keimspalten
- Pollenwand: dünne, psilate Exine, dünne Intine, quillt im Bereich der Keimspalten vor

Salix

- rundlich
- Größe: Polachse: 18-19 μm , Äquatordurchmesser: 19-24 μm
- Keimöffnungen: tricolporat, mit breiten, langen Keimspalten, Keimspaltenmembran manchmal von sehr kleinen, körnigen Strukturen bedeckt
- Pollenwand: dünne, retikulate Exine, Maschenweite des Netzes verringert sich in Richtung der Keimspalten (Ausbildung eines Margo), dünne Intine, verdickt sich im Bereich der Keimspalten und quillt oft vor

Sambucus

- Polansicht rundlich, Äquatorialansicht: rundlich bis oval
- Größe: Polachse: 16-19 μm , Äquatordurchmesser: 17-20 μm
- Keimöffnungen: tricolporater Pollen mit langen, breiten Keimspalten, Keimporen kaum erkennbar
- Pollenwand: dünne, zu den Keimspalten abgeflachte Exine mit sehr feiner, engmaschiger Netzstruktur, dünne Intine, quillt im Bereich der Keimporen geringfügig vor

Tilia

- Polansicht: rundlich, Äquatorialansicht: oval, an den Polen deutlich abgeflacht
- Größe: Polachse: 23-25 μm , Äquatordurchmesser: 30-33 μm
- Keimöffnungen: tricolporat, mit schmalen, kurzen Keimspalten und undeutlich erkennbaren Keimporen, Rand der Keimöffnungen unscharf abgegrenzt, Ausbildung von flachen Keimhöfen
- Pollenwand: dünne, um die Keimöffnungen verdickte, foveolate Exine, dünne Intine

Ulmus

- rundlich bis oval
- Größe: Polansicht: 25-29 μm x 27-31 μm , Äquatordurchmesser: 23-27 μm
- Keimöffnungen: zonoporat, mit wechselnder Anzahl von Keimporen (meist 4 bis 6), Porenmembran von feinkörnigen Exineresten bedeckt
- Pollenwand: mitteldicke, tectate Exine mit wellenförmiger Skulptur (supraretikulat oder tectat-rugulat), Exine um Keimporen geringfügig verdickt, dicke Intine (etwa 2 μm), bildet Keimhöfe aus

(<https://www.pollenwarndienst.at/de/allergie-infos/fuer-aerobiologen/pollenatlas.html>,
abgerufen am 14.12.2014)

4. Fachdidaktische Theorie

Der Biologieunterricht hat das Ziel Natur zu erleben, zu erkennen, sie mit allen Sinnen wahrzunehmen, das Denk- und Urteilsvermögen zu schulen, Interesse zu wecken und einen verantwortungsbewussten Umgang mit unserer Umwelt zu fördern. Es sollen grundlegende biologische Sachverhalte vermittelt werden und zugleich die erlebnisreiche, reale Begegnung des Schülers, der Schülerin mit der Tier- und Pflanzenwelt gefördert werden, um die Heranwachsenden nicht nur kognitiv, sondern auch emotional zu erreichen. (Killermann,1991)

Damit diese Ziele erreicht werden, ist im Lehrplan niedergeschrieben, welche Inhalte und Kompetenzen im Unterricht behandelt werden müssen.

4.1. Lehrplan

Der Lehrplan für die AHS sieht folgende vier Großthemen in der Oberstufe (9-12 Schulstufe) vor:

- Ökologie und Umwelt
- Weltverständnis und Naturerkenntnis
- Mensch und Gesundheit
- Biologie und Produktion

Die Jugendlichen sollen aufbauend auf biologischer Grundbegriffe zentrale Erkenntnisse erarbeiten, Prinzipien, Zusammenhänge, Kreisläufe und Abhängigkeiten in lebenden Systemen erkennen lernen und damit Grundzüge eines biologischen bzw. naturwissenschaftlichen Weltverständnisses aufbauen. Ein weiterer Schwerpunkt der Oberstufe ist, dass die Schüler und Schülerinnen einen Einblick in aktuelle Forschungsfelder erhalten und daraus folgend ein Verständnis für naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen erwerben. Darüber hinaus ist es ein Ziel, dass die Schüler und Schülerinnen lernen welchen Wert naturwissenschaftliche Experimente in sich tragen und wo deren Grenzen liegen.

(https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_08_11860.pdf?4dzgm2,
abgerufen am 05.02.2015)

4.2. Faktoren für eine gute Unterrichtsplanung

Der Entwicklungspsychologe Jean Piaget vertrat die Ansicht, dass das Lernen stark vom kindlichen Entwicklungsstand beeinflusst wird und folglich die Unterrichtsgestaltung den Lernmöglichkeiten der Kinder entsprechend anzupassen ist. Die Unterrichtsinhalte sind betreffend ihrem Schwierigkeitsgrad, der Komplexität und dem Abstraktionsgrad auszuwählen. (Wagener, 1992)

Ein weiterer Punkt, der bei der Unterrichtsplanung bedacht werden muss, ist, dass das Vorwissen der Schüler, der Schülerinnen bei der Auswahl der Unterrichtsinhalte eine entscheidende Rolle spielt. Das Interesse der Schüler und Schülerinnen sowie ihre Vorerfahrungen stehen in enger Verbindung mit Erkenntnissen aus vorangegangenen Unterrichtsstunden und außerschulischen Begegnungen. Oftmals beeinflusst der Beruf sowie die Hobbies von Eltern und Verwandten das Interesse der Schüler und Schülerinnen. (Esser, 1969)

Unsere Pflanzenwelt ist von den unterschiedlichen Jahreszeiten und Lebensräumen geprägt. Dies hat zur Folge, dass die Jahresplanung des Unterrichts den heimischen Vegetationsperioden entsprechend angepasst werden muss, um den Einsatz von Pflanzen als Anschauungsmaterial im Biologieunterricht gewährleisten zu können. Das bedeutet, dass der Aufbau der Jahresplanung eines Biologielehrers, einer Biologielehrerin jahreszeitlich-phänologisch bedingt ist. Zusätzlich wird der Schulstandort (Stadt, Land, Gebirge) einen weiteren Einfluss auf die Unterrichtsplanung haben, da heimische Lebensräume im Biologieunterricht berücksichtigt werden sollen. Der Lehrplan räumt ausreichend Freiräume ein um die Reihenfolge der Lehrinhalte den jahreszeitlichen und örtlichen Gegebenheiten entsprechend anzupassen. (Esser, 1969)

Um geeignete Unterrichtsinhalte auszuwählen, sollte die Lehrperson eine vorhergehende didaktische Analyse durchführen. Mithilfe der folgenden angeführten fachdidaktischen Kriterien muss jedes Unterrichtsthema betreffend des Bildungsgehaltes überprüft werden. (Wagener, 1992)

1. Gesellschaftliche Relevanz

- Dienen die zu erwerbenden Qualifikationen wie Kenntnisse, Fertigkeiten und Einstellungen der Existenzsicherung (individuelle Gesundheit, soziales Umfeld, Lebensraum) in Gegenwart und Zukunft?
- Werden die Schüler und Schülerinnen in ihrer Selbst- und Mitbestimmung gefördert?

- Orientieren sich die Lernziele an allgemeingültigen ethischen Normen?
 - Sind die Lernziele entsprechend dem Lehrplan ausgewählt?
 - Existieren fächerübergreifende Bezüge?
 - Fördert das Lernziel sprachliche Kompetenz?
 - Ermöglicht der Unterrichtsinhalt ein ästhetisches und emotionales Erleben?
- (Wagener, 1992)

2. Fachliche Relevanz

- Stellt der Inhalt ein fundamentales biologisches Phänomen dar?
- An welchen exemplarischen Fällen kann das Lernziel erreicht werden?
- Stellt das Unterrichtsziel eine wichtige naturwissenschaftliche Methode dar?
- Ist das Unterrichtsthema jahreszeitlich gebunden?
- Ist die fachliche Darstellung frei von zweckgerichteten oder ideologischen Wertungen? (Wagener, 1992)

3. Schülerrelevanz

- Verfügen die Schüler und Schülerinnen über alle geistigen und körperlichen Voraussetzungen, die für den Erwerb notwendig sind?
 - Verfügt die Klasse über die vorauszusetzenden Kenntnisse, Fertigkeiten und Einstellungen?
 - Zählt der Unterrichtsinhalt zur unmittelbaren Erlebniswelt der Schüler und Schülerinnen?
 - Liegt ein persönliches Interesse (Motivation) seitens der Jugendlichen vor?
 - Wurden von der Klasse bezüglich des vorliegenden Themas schon einmal Fragen gestellt?
 - Gibt es einen aktuellen Anlass, der dazu führt, dass das Thema behandelt wird?
- (Wagener, 1992)

Diese allgemein didaktischen Überlegungen unterliegen zum Großteil fachwissenschaftlichem und gesellschaftlichem Anspruch. Dennoch verlangt ein guter Unterricht auch auf die Interessen der Schüler und Schülerinnen einzugehen. Nach Meyer (1988/1989) empfiehlt es sich, die Bedürfnisse und Interessen der Schüler und Schülerinnen an den Anfang der Unterrichtsplanung zu stellen. (Wagener, 1992)

4.3. Arbeitsunterricht

In den Unterkapiteln 4.3 bis 4.6 handelt es sich um Unterrichtsmethoden die zur Erreichung der im Lehrplan festgehaltenen Ziele beitragen.

Lindner (1950), definierte den Arbeitsunterricht wie folgt:

„Arbeitsunterricht ist die Anwendung jeglicher Art geistiger und manueller Betätigung, welche Kräfte weckt und Fähigkeiten ausbildet und durch diese die Schüler selbstständig zu Erkenntnis und Wissen gelangen lässt.“

Das Ziel dieser Unterrichtsmethode ist es, dass Verstand, Gefühl, Wille und die Anlage zum praktischen Arbeiten angeregt und gebildet werden. Die Schüler und Schülerinnen sollen in ihrer Ganzheit erreicht werden, indem der Lerninhalt auf die Natur der Schüler und Schülerinnen ausgerichtet ist. Dieser Gedanke resultiert daraus, dass Kultur und Bildung davon ausgehen, dass alle im Menschen verankerten Anlagen gepflegt und vervollständigt werden sollen. (Esser, 1969)

Die persönliche Hinwendung und die freiwillige und spontane Auseinandersetzung mit dem Objekt seitens des Kindes ist von großer Bedeutung. Die dafür notwendige Voraussetzung ist die originale Begegnung mit dem Naturobjekt. Es wird davon ausgegangen, dass man nur am lebendigen Leben erfahren kann. Aus diesem Grund integriert der Arbeitsunterricht wahre Begegnungen mit der lebendigen Natur sowie die Kontaktaufnahme mit dem Naturobjekt in Form von Beobachten, Untersuchen und Bestimmen. (Esser, 1969)

Eine exzellente Anwendungsmethode des Arbeitsunterrichts ist das Experimentieren. Das Experiment ermöglicht eine tiefere Auseinandersetzung mit dem Objekt und dessen zugrundeliegenden Gesetzmäßigkeiten.

Neben dem Experiment zählen folgende Methoden zum Arbeitsunterricht:

- Beobachtungen
- Exkursionen
- Präparationen
- Zucht
- Pflege (Esser, 1969)

4.4. Das exemplarische Lernen

Das exemplarische Lernen ist notwendig um die Fülle des Biologieunterrichtsstoffes zu bewältigen. Nach Wagenschein (1963), ist das Einzelne der Spiegel des Ganzen. Das bedeutet, dass das Einzelne für das größere Ganze steht. Es ist durch seine Mustergültigkeit und Modellhaftigkeit gekennzeichnet. Das beispielhafte Lernen führt zur Erkenntnis- und Erlebnis Ganzheit sowie zur Selbstständigkeit.

Das exemplarische lernen ermöglicht einen sehr interessanten und problemorientierten Einstieg in den Unterrichtsstoff. Das Ausgangsproblem des gewählten Unterrichtsexemplars ist so zu wählen, dass es die Spontanität des Schülers, der Schülerin herausfordert. Davon ausgehend können elementare sowie komplexe Unterrichtsinhalte erarbeitet werden. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass das Wesentliche des Einzelnen herausgearbeitet und vom Unwesentlichen getrennt wird. Die Erkenntnisse und Wahrheiten des Einzelfalls können nur in bestimmte Richtungen erfolgen. Es geht darum das Einzelne im Ganzen zu erfassen und es in Verbindung mit dem Gesamten zu setzen. Das exemplarische Lernen zielt darauf ab, fundamentale Erkenntnisse zu gewinnen und diese in andere Bereiche überführen zu können. (Esser, 1969)

Die Frage nach geeigneten exemplarischen Themen für den Biologieunterricht kann nicht allgemein beantwortet werden. Dennoch gibt es Richtlinien zur Hilfestellung:

1. Das Objekt muss bildhaft, geprägt, anschaulich oder eindeutig sein beziehungsweise eine auffallende Nähe zum Phänomen haben.
2. Dem Beispiel müssen kausale Gesetze, Begriffe, Regeln oder allgemeine charakteristische Züge zugrunde liegen.
3. Das Exemplar soll Elementares eröffnen. Es muss möglich sein, damit allgemeingültige Aussagen zu treffen. Es sollen Zusammenhänge erstellt werden können.
4. Zuletzt soll fundamentales Wissen geschaffen werden, indem Grundeinsichten, Fundamentalsätze oder Grundsachverhalte eröffnet werden. Das fundamentale Wissen ist gekennzeichnet durch anthropologische Grundaspekte, Prinzipien oder Kategorien. (Esser, 1969)

4.5. Das Experiment

Das Experiment ist eine wissenschaftliche Forschungsmethode die heutzutage in der Biologie unabdingbar ist. Obwohl die Biologie zu einer deskriptiven beziehungsweise historisierenden Disziplin zählt, hat sich im Lauf der Geschichte der experimentelle Anteil als eine wichtige Arbeitsmethode erwiesen. Zahlreiche biologische Erkenntnisse basieren auf experimentellen Untersuchungen. Aus diesem Grund ist auch das Experimentieren im Schulunterricht von enormer Bedeutung. (Eschenhagen, 1985)

Das Experiment kennzeichnet sich durch eine gezielte Frage an die Natur. Diese wissenschaftliche Methode dient dazu, Kausalforschung zu betreiben und neue Zusammenhänge zu erkennen. (Killermann, 1991)

Das Experiment ist fokussiert auf die Dynamik von Phänomenen, auf Prozesse und auf Funktionen. (Eschenhagen, 1985)

Der Experimentator setzt einen gezielten Eingriff in natürliche Abläufe. Einzelne Faktoren, die einen Vorgang beeinflussen, werden isoliert, systematisch variiert und anschließend auf ihre Wirksamkeit und auf ihre Modifikation untersucht. Der Forscher, die Forscherin isoliert und verändert Bedingungen, während die übrigen Faktoren konstant gehalten werden. Ein Experiment ist dadurch bestimmt, dass es unter kontrollierbaren und reproduzierbaren Bedingungen durchzuführen ist. (Killermann, 1991)

Die wichtigsten Merkmale eines Experiments sind folglich:

- Beobachtung unter künstlich hergestellten Bedingungen
- Isolation
- Variation
- Kontrollierbarkeit
- Wiederholbarkeit (Eschenhagen, 1985)

Forschungsexperimente beinhalten meist Hypothesen, das sind Fragestellungen, die es zu bestätigen oder zu falsifizieren gilt. Das Forschungsexperiment umfasst meist folgende Einzelschritte:

- Zu Beginn steht die Beobachtung eines Phänomens. Diese Beobachtung wirft eine Frage auf, die es zu klären gilt.
- Es werden Hypothesen gebildet, indem mögliche Ergebnisse des Experiments festgehalten werden.

- Der Versuchsablauf wird geplant. Der Einsatz von geeigneten Methoden und Materialien muss gut überlegt sein.
- Anschließend wird das Experiment durchgeführt und die daraus resultierenden Ergebnisse festgehalten.
- Es folgt die Bestätigung oder Falsifikation der Hypothesen.
- Am Ende können die Ergebnisse verglichen, neue Hypothesen gebildet und eventuell neue Regeln aufgestellt werden. (Eschenhagen, 1985)

Im schulischen Sprachgebrauch wird das Wort Experiment weiter gefasst. Zahlreiche Autoren zählen das Experiment zu den Unterrichtsmethoden bzw. als Arbeitsmittel. (Eschenhagen, 1985)

Es ist festzuhalten, dass das Forschen in der Schule grundlegend von den naturwissenschaftlichen Forschungsexperimenten zu unterscheiden ist. Der Mangel an verfügbarem Material, die kurze Unterrichtsdauer, die Sicherheitsvorschriften und das geringe Fachwissen der Schüler und Schülerinnen tragen dazu bei, dass Forschen im Unterricht nicht auf fachwissenschaftlicher Ebene möglich ist. Aus diesen Gründen ist es von zentraler Bedeutung, dass dem Lehrer, der Lehrerin im Vergleich zum Forscher, zur Forscherin das Ergebnis des Experiments bereits im Vorfeld bekannt ist. (Fachdidaktik Biologie, Eschenhagen, Kattmann, Rodi, 2001)

Das Experiment in der Schule kann auf folgende Arten unterschieden werden:

- **Das einführende Experiment**

Wie der Name bereits sagt, handelt es sich hier um ein Experiment, welches zu Beginn eines neuen Lehrinhaltes genutzt wird, um die Schüler und Schülerinnen auf ein gewünschtes Phänomen aufmerksam zu machen. Das einführende Experiment dient dazu, Interesse zu wecken und zum Nachdenken anzuregen. Bei einführenden Versuchen handelt es sich oftmals um Demonstrationsversuche seitens des Lehrers, der Lehrerin. (Eschenhagen, 1985)

- **Das entdeckende Experiment**

Dem entdeckenden Versuch liegen im Optimalfall die einzelnen Schritte eines experimentiellen Ablaufs zugrunde. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass die Durchführung aller einzelnen Schritte im Klassenverband oftmals schwierig umzusetzen ist. Die Lehrperson gibt daher in vielen Fällen den Versuchsablauf vor und wählt die Versuchsmaterialien aus. (Eschenhagen, 1985)

- **Das bestätigende Experiment**

Nach Siedentop (1972) hat der bestätigende Versuch folgende Aufgaben:

- Die Überprüfung einer von der Klasse formulierten Hypothese
- Das Beweisen von vermittelten Sachverhalten
- Der Versuch dient zur Wiederholung (Eschenhagen, 1985)

- **Kurzzeit - Experimente**

Die Kurzzeitversuche können innerhalb einer Stunde beziehungsweise einer Doppelstunde durchgeführt werden.

- **Langzeit - Experimente**

Langzeitversuche erstrecken sich über mehrere Unterrichtsstunden und können über einige Wochen hinweg durchgeführt werden.

- **Demonstrationsversuche**

Die Demonstrationsversuche werden vom Lehrer, der Lehrerin durchgeführt und vorgezeigt. Dabei übernimmt die Lehrperson die aktive Rolle.

- **Schülerversuche**

Schulversuche werden von den Schülern und Schülerinnen selbstständig oder in kleinen Gruppen durchgeführt. (Eschenhagen, 1985)

Die große Bedeutung des Experimentierens im Unterricht resultiert unter anderem daraus, dass der Einsatz des Experiments mit zahlreichen weiteren Unterrichtsmethoden einhergeht wie zum Beispiel Beobachten, Vergleichen, Protokollieren und Zeichnen. Eine hohe Komplexität des Experiments hat zur Folge, dass viele Lehrer und Lehrerinnen dem Experimentieren im Unterricht zu wenig Raum einräumen.

Um einen erfolgreichen Experimentalunterricht zu gewährleisten ist auf folgende Punkte hinzuweisen:

- **Einfachheit des Versuches**

Ist es möglich, die gewünschte Erkenntnis über verschiedene Wege herbeizuführen, so ist jenes Experiment zu wählen, welches den geringsten Aufwand und das Höchstmaß an Klarheit verschafft.

- **Protokollieren**

Das Mitschreiben des Protokolls ermöglicht es den Schülern und Schülerinnen auch nach Ablauf des Unterrichts, das Experiment gedanklich nachzuvollziehen. Das Erstellen von einfachen Skizzen ist hierbei zu empfehlen.

- **Bedeutung des Versuches**

Es muss sichergestellt werden, dass den Schülern und Schülerinnen die Bedeutung des Versuches von Beginn an bekannt ist, um den erwünschten Effekt zu erzielen.

- **Versuchsablauf**

Die Schüler und Schülerinnen müssen den geplanten Versuchsablauf zu kennen und sollen dazu angehalten werden, stets bewusst und reflektiert zu arbeiten. Eine kritische Arbeitsweise hilft bei Misserfolg des Versuches, Fehlerquellen ausfindig zu machen und zu diskutieren.

- **Kontrollversuch**

Ein Kontrollversuch dient dazu, das Ergebnis besser zu belegen.

- **Langzeitversuche**

Der Versuch sollte den Schülern und Schülerinnen stets zugänglich sein, um eine häufige Betrachtung zu ermöglichen. Des Weiteren ist eine regelmäßige Einbeziehung in den Unterricht durchzuführen, um die Fortschritte zu protokollieren und zu diskutieren. (Eschenhagen, 1985)

Ab ungefähr 13 Jahren versuchen Schüler und Schülerinnen biologische Phänomene auf ihre Ursache zurückzuführen. Kritisches Denken und die ganzheitliche Betrachtung von biologischen Erscheinungen fördern die Auseinandersetzung mit dem naturwissenschaftlichen Weltbild. Des Weiteren sind Jugendliche diesen Alters in der Lage, Abhängigkeitsbeziehungen zu erfassen, woraus resultiert, dass der Einsatz von experimentellen Unterrichtsmethoden ausgezeichnet geeignet ist. (Esser, 1969)

Ein experimenteller Unterricht fördert zielgerichtetes, planmäßiges, konsequentes, kreatives, selbstständiges und reflektiertes Denken. Die Schüler und Schülerinnen lernen naturgesetzliche Zusammenhänge zu erkennen und erlangen Kenntnisse über biologische Objekte, Versuchstechniken und Versuchsgesetze. Beim selbstständigen Forschen erfahren Kinder und Jugendliche, dass nur gewissenhaftes, sorgfältiges, geduldiges und zielstrebiges Arbeiten zum gewünschten Erfolg führt. (Eschenhagen, 1985)

4.6. Mikroskopieren im Unterricht

Das Mikroskop ist ein Hilfsmittel, welches dazu dient, kleinste Objekte zu vergrößern, um sie für das menschliche Auge sichtbar zu machen und ermöglicht eine höhere Auflösung von unbewegten als auch von bewegten Objekten. Das Mikroskop, welches zu den wichtigsten biologischen Forschungsinstrumenten zählt, erfährt einen problemlosen Einsatz im Schulunterricht und ermöglicht so ein problemorientiertes, forschendes Lernen. (Eschenhagen, 1985) Das Mikroskopieren eröffnet den Schülern und Schülerinnen eine "neue Welt" und regt sie zum selbstständigen Erkunden an. (Wagener, 1992)

Bedeutung und Einsatz im Unterricht

Das Mikroskopieren fördert kognitive, affektive und psychomotorische Lernmöglichkeiten. Die Verbesserung des Abstraktions- und Vorstellungsvermögens stehen im Vordergrund. Die Schüler und Schülerinnen lernen das zweidimensionale mikroskopische Gebilde in die dreidimensionale Vorstellung von realen Objekten überzuführen. Ein weiterer positiver Effekt des Mikroskopierens ist, dass durch den Umgang mit den Präparaten und mit den empfindlichen Geräten die Feinmotorik der Schüler und Schülerinnen weiter entwickelt werden kann. Bei der Beschreibung der Objekte wird die sprachliche Ausdrucksweise geübt. Durch die grafische Darstellung der beobachtbaren Präparate wird die Fähigkeit der exakten Beschreibung forciert. Die Schüler und Schülerinnen lernen, dass nur ausdauerndes, gewissenhaftes und zielstrebiges Arbeiten zum gewünschten Erfolg führt. (Fachdidaktik Biologie, Eschenhagen, Kattmann, Rodi, 2001)

Hinweise für den Unterricht

Um einen interessanten und reibungslosen Unterricht durchführen zu können, ist im Vorfeld auf folgende Punkte zu achten:

- Der Einsatz des Mikroskops soll zur Lösung eines Problems beitragen.
- Das Objekt soll aus der Lebenswelt der Schüler und Schülerinnen stammen.
- Das Objekt soll exemplarisch sein.
- Die Beschaffung des Objektes soll einfach möglich sein.
- Das Präparat soll schnell und leicht herstellbar sein.
- Die Struktur und der Aufbau des Präparates sollen deutlich sichtbar und leicht zu erkennen sein.

- Die Mikroskope sollen sich in einem einwandfreien technischen und sauberen Zustand befinden.
- Den Schülern und Schülerinnen soll ausreichend Zeit zur Verfügung stehen. Eine Doppelstunde ist sehr zu empfehlen.
- Der Arbeitsauftrag soll schriftlich vorliegen. (Wagener, 1992)

5. Analyse der Anwendbarkeit der forschenden Palynologie im Unterricht

Nach einer ausführlichen Beschäftigung mit den Lehrinhalten der Oberstufe kann gesagt werden, dass die Palynologie hervorragend in den Unterricht eingebaut werden kann, da gleich mehrere Zielsetzungen des Lehrplans angesprochen werden können. Die Pollenanalyse liefert den Schülern und Schülerinnen zentrale biologische Erkenntnisse, einen Einblick in ein aktuelles Forschungsgebiet und bietet zusätzlich die Möglichkeit Experimente im Klassenverband durchzuführen. Es können unter anderem Zusammenhänge zwischen Fortpflanzung, Verbreitungsmöglichkeiten und der Pflanzenwelt hergestellt werden.

5.1. Überprüfung des Lehrplans und mögliche Einsatzbereiche

In der 5. Klasse AHS ist das Thema Weltverständnis und Naturerkenntnis im Lehrplan verankert. Hier ist vorgesehen, dass aktuelle Forschungsschwerpunkte der modernen Biowissenschaft behandelt werden.

Zitat aus dem Lehrplan:

„Biodiversität

Am Beispiel Pflanzen: An Hand ausgewählter Beispiele Wissen über Entwicklung , Keimung und Wachstum sowie mögliche Anpassungen an unterschiedliche Standorte erwerben und grundlegendes Verständnis für Stoffwechselvorgänge (Fotosynthese, Dissimilation) gewinnen“

(https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_08_11860.pdf?4dzgm2,
abgerufen am 02.12.2014)

5.2. Didaktische Werte des Lehrplans

Obwohl sich die Bildungsziele der einzelnen Schulformen oftmals voneinander unterscheiden, ist der Lehrstoff in den unterschiedlichen Schulstufen für alle Schulformen gleich formuliert. Die Lehrperson verfügt über die Freiheit den Lehrstoff, der eigenen Schulform entsprechend anzupassen und umzusetzen. Dennoch sind folgende Richtlinien bei der Unterrichtsplanung einzuhalten:

- Die Inhalte müssen so ausgewählt werden, dass sie das Höchstmaß an Erkenntnisgewinnung im Sinne von biologischem Basiswissen und

Kernkompetenzen (z.B. vernetztes Denken) erbringen und die Basis für ein lebenslanges Lernen bilden.

- Es soll die Lebenswelt der Schüler und Schülerinnen einbezogen werden, sowie die Eingliederung in bereits bestehendes Wissen sowie Erfahrungen soll erfolgen.
- Ein weiterer Faktor ist die Einbeziehung der gesellschaftlichen Dimensionen der Biowissenschaften sowie ethischer Diskussionen von biowissenschaftlichen Erkenntnissen und deren Anwendung.
- Ein Grundverständnis für naturwissenschaftliches Denken und experimentelles Vorgehen sowie ein Verständnis für biologische Fachsprache soll vermittelt werden.
- Desweiteren soll selbstständiges Lernen gefördert werden, indem eine problemorientierte Lernumgebung geschaffen wird.
- Die Lehrperson ist für die methodische Vielfalt, wie zum Beispiel Projekte, Experimente, Freilandarbeit, soziale Lernformen und fächerübergreifenden Unterricht verantwortlich.
- Heutzutage darf im Unterricht die Auseinandersetzung mit neuen Medien und deren Nutzung nicht fehlen, da Medienkompetenz gefördert werden soll.
- Ein anwendungs- und problemorientierter Unterricht in Bezug auf das neu erworbene Wissen wird vorausgesetzt.

(https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_08_11860.pdf?4dzgm2,
abgerufen am 02.12.2014)

Der Lehrplan bietet ausreichend Argumente für die Behandlung der Palynologie im Unterricht. Der Lehrer, die Lehrerin unterliegt keinen Richtlinien, in welchem Umfang dies geschehen soll. Die Palynologie lässt sich in Bezug auf forschendes Lernen ausgezeichnet in den Lehrplan der 5. Klasse sowie im Wahlpflichtfach Biologie einbetten, da sie hervorragend zum Thema Entwicklung passt und ein gutes Bindeglied zu den Bereichen Keimung und Wachstum herstellt. Ebenso kann im Unterricht eine Verbindung zu den möglichen Verbreitungsmöglichkeiten der Pollenkörner und der Anpassung an diverse Standorte hergestellt werden.

Nach Plötz (1963) ist in der Mittel- und Oberstufe das Naturverstehen vorherrschend. Die Schüler und Schülerinnen werden fähig, sachangemessene Zusammenhänge und

gesetzmäßige Ordnungen in der Natur zu erkennen. Die Jugendlichen sind in der Lage über das Erklären hinaus Lebensvorgänge zu verstehen. (Esser, 1969)

5.3. Reflexion der durchgeführten Methode in Bezug auf den Schulunterricht

Ein Ziel der vorliegenden Diplomarbeit ist es, mithilfe einer didaktischen Rekonstruktion zu überprüfen, ob sich die durchgeführte Methode zur „Analyse des Pollenflugs“ im Unterricht anwenden lässt. Die daraus gewonnen Erkenntnisse sollen in einer Unterrichtssequenz zum Thema „Pollenflug“ umgesetzt werden.

Zunächst muss festgehalten werden, dass aufgrund der einfachen und kostengünstigen Versuchsgegenstände und Materialien die Durchführung im Unterricht rein theoretisch möglich ist. Dies bedeutet jedoch nicht zugleich, dass die durchgeführte Forschungsmethode für den Schulunterricht geeignet ist.

Gleich zu Beginn ist zu erwähnen, dass sich ein so langes und aufwendiges Experiment nicht für den Klassenunterricht eignet. Die Überprüfung des jahreszeitlichen Pollenflugs setzt ein enormes fachliches Wissen voraus und steht nicht im Verhältnis mit den daraus gewonnen Erkenntnissen und Fähigkeiten. Im Rahmen des Biologieunterrichts ist es nicht möglich, den Schülern und Schülerinnen das Wissen, welches für eine Pollenbestimmung notwendig ist, zu vermitteln. Des Weiteren ist es nicht notwendig, dass Schüler und Schülerinnen die Flugperioden der zahlreichen Taxa kennen. Es genügt ein exemplarisches Beispiel von dem ausgehend auf andere Pflanzenfamilien geschlossen werden kann. Der Pollenflug ist eine ausgezeichnete und wertvolle Möglichkeit, den Schülern und Schülerinnen das Höchstmaß an Erkenntnisgewinnung im Sinne von biologischem Basiswissen zu vermitteln. Bei einem anwendungs- und problemorientierten Unterricht werden die Schüler und Schülerinnen zum naturwissenschaftlichen Denken und Arbeiten angeregt. Es kann eine Verbindung zwischen dem Aufbau und der Funktion der Blütenpflanzen sowie den unterschiedlichen Bestäubungsmechanismen geknüpft werden. Im Rahmen dessen können elementare Zusammenhänge in der Biologie erklärt werden. Bei der Untersuchung des Pollenflugs ist es jedoch wichtig, dass die Schüler und Schülerinnen nicht überfordert werden.

Aufgrund dieser Gefahr ist es wichtig, die Windblütigkeit mithilfe von gezielten und einfachen Fragen zu erarbeiten. Allein die mikroskopische Betrachtung eines reinen Glycerintropfen, in dem sich hunderte Pollenkörner befinden, zieht eine hohe Erkenntnis

für Schüler und Schülerinnen nach sich. Eine passende Unterrichtsidee ist dem Kapitel „Vorstellung der Unterrichtsidee“ zu entnehmen.

Die Erfahrungen aus der Analyse des Pollenflug 2013 haben gezeigt, dass folgende Punkte bei der Umsetzung im Schulunterricht beachtet werden müssen:

- Die Objektträger müssen so im Freien ausgelegt werden, dass sie von Wind und Wetter geschützt sind.
- Starker Regen hemmt den Pollenflug, wohingegen sonniges Wetter zu einer erhöhten Pollenproduktion führt. Aus diesem Grund ist die Durchführung des Experiments wetterabhängig. Werden die Objektträger in einer regenreichen Woche ausgelegt, läuft man Gefahr, kaum Pollenkörner vorzufinden beziehungsweise ist es möglich, dass die gewünschte Taxa nicht vorkommt.
- Die Untersuchungen haben gezeigt, dass zu Beginn der Pollensaison (Februar – Mitte April) erheblich wenige Pollenkörner im Glycerin kleben bleiben. Zwischen Ende April und Ende Juni gab es bis auf wenige wetterbedingte Ausnahmen stets eine hohe Ausbeute. In diesen Monaten konnte auch eine hohe Variation an Pollenkörnern festgestellt werden.
- Um eine hohe Ausbeute für den Schulunterricht sicherzustellen wird angeraten, mehrere Objektträger an verschiedenen Standorten auszulegen.
- Die Objektträger sollten rund eine Woche am Standort verweilen.
- Die Untersuchungen des Pollenflugs haben gezeigt, dass es zu einer Abweichung betreffend der Flugperiode bestimmter Taxa im Vergleich mit dem Pollenflugkalender kommen kann. Aus diesem Grund wird nahegelegt, dass die Lehrperson eine Woche vor Durchführung im Unterricht Objektträger auslegt, um einerseits ein Bild vom aktuellen Pollenflug zu bekommen und andererseits Präparate zu Verfügung stellen kann, wenn es beim Schulversuch zu Komplikationen kommt. Trotzdem stellt der Pollenflugkalender eine gute Richtlinie dar, um die Blühperiode bestimmter Pflanzen einschätzen zu können. Aktuelle Tageswerte und Prognosen können der Homepage des österreichischen Pollenwarndienstes entnommen werden.

5.4. Die Bedeutung der Palynologie für den Unterricht

Obwohl eine nähere Beschäftigung in der Schule mit der Palynologie nicht üblich ist, beinhaltet dieses Fachgebiet alle Voraussetzungen um nach Kriterien des Lehrplans in den Schulunterricht integriert zu werden. Um diese Aussage zu unterstreichen wird nun genauer darauf eingegangen, welche Möglichkeiten die Pollenlehre im Unterricht bietet und welche Fähigkeiten und Kompetenzen in diesem Zusammenhang gefördert werden können.

Laut eines Artikels des österreichischen Pollenwarndienst leidet jeder vierte Österreicher an einer krankhaften Überreaktion des Immunsystems auf bestimmte Stoffe, wie dem Blütenstaub einiger Pflanzen.

(<https://www.pollenwarndienst.at/neuigkeiten/news-fuer-allergiker/news-detail/persoенliche-pollenwarnung-mit-neuer-app.html>, abgerufen am 20.12.2014)

Dieser Umstand hat eine hohe gesellschaftliche Relevanz für die österreichische Bevölkerung zur Folge. Aus diesem Grund ist der Einsatz der Pollenlehre im Unterricht auf jeden Fall gerechtfertigt und von hoher gesundheitlicher Bedeutung für die Schüler und Schülerinnen. Aufgrunddessen, dass viele Menschen an einer Pollinose erkrankt sind, kann davon ausgegangen werden, dass die Schüler und Schülerinnen in ihrem privaten Umfeld schon einmal mit Allergikern/innen in Kontakt kamen beziehungsweise selbst darunter leiden. Dies hat zur Folge, dass die Schüler und Schülerinnen in ihrer Lebenswelt “abgeholt“ werden können, was hervorragend ist, um ein Interesse für den Unterrichtsstoff zu wecken und den neuen Inhalt in bereits bestehendes Wissen zu integrieren.

Die Pollenlehre geht weit über die Botanik hinaus, da besonders bei der Windbestäubung ein unmittelbarer Zusammenhang mit ökologischen Einflüssen besteht. Diese Beziehung stellt ein Paradebeispiel ökologischer Wechselwirkungen dar. Zusätzlich hat man mit diesem Thema die Möglichkeit, eines der essenziellsten Themen der Biologie, die Evolution, Schülern und Schülerinnen verständlich zu machen.

Wie bereits erwähnt ist die Palynologie ein aktuelles Forschungsgebiet, welches ideal geeignet ist, um Zusammenhänge herzustellen und den Umgang mit wissenschaftlichen Arbeitsmethoden zu üben. Die genaue Betrachtung und Behandlung eines Objektes, welches mit dem freien Auge nicht sichtbar ist, sowie das Hantieren mit einfachen, naturwissenschaftlichen Forschungsmethoden ein Höchstmaß an Erkenntnisgewinnung bezüglich biologischen Basiswissens und zentraler Kompetenzen.

Wie im Kapitel „Mikroskopieren im Unterricht“ bereits erwähnt, wird das Abstraktions-, und Vorstellungsvermögen geschult. Die Vermittlung eines Grundverständnisses für naturwissenschaftliches Denken und experimentelles Vorgehen kann im Rahmen der mikroskopischen Betrachtung eines Pollenkorns geübt werden. (Eschenhagen, Kattmann, Rodi, 2001) Die weiteren Vorteile sind dem erwähnten Kapitel zu entnehmen. Das Ziel des Lehrplans selbstständiges Lernen zu fördern kann dahingehend erreicht werden, dass die Schüler und Schülerinnen mit Hilfe von gezielten Fragestellungen das Untersuchungsobjekt eigenständig analysieren.

5.5. Vorstellung der Unterrichtsidee

Nachdem sich der erste Teil der Arbeit ausführlich mit dem Pollenkorn und dessen Verbreitung beschäftigt und anschließend die Gründe für den Einsatz im Unterricht aus der Sicht des Lehrplans thematisiert wurden, folgt nun die Vorstellung einer Unterrichtsidee.

Neben dem Einsatz in der 9. Schulstufe eignet sich dieser Unterrichtsvorschlag auch für das Wahlpflichtfach Biologie, welches meist in der 11. Schulstufe von den Schülern und Schülerinnen gewählt werden kann.

5. Klasse AHS

Lernziele

1. Die Schüler und Schülerinnen sollen den Aufbau und die Funktion der Blütenpflanzen und die damit einhergehenden Zusammenhänge von Wind, Tier und Wasser biologisch erklären können.
2. Sie sollen fähig sein, Rückschlüsse zwischen Verbreitung, Evolution und Biodiversität formulieren zu können.
3. Die Schüler und Schülerinnen sollen die Funktion, das Aussehen und die Verbreitungsmöglichkeiten des Pollenkorns erklären können.
4. Sie sollen naturwissenschaftliche Arbeitsmethoden kennenlernen.

Wie bis jetzt ersichtlich, bringt ein praktischer Schulunterricht große Vorteile mit sich, weshalb in der vorliegenden Arbeit überprüft wurde, ob die angewendete Methode der Pollensammlung im Unterricht eingesetzt werden kann. Im Kapitel „Reflexion der durchgeführten Methode in Bezug auf den Schulunterricht“ wurden bereits die Nachteile für den Schulunterricht erläutert. Dennoch erwiesen sich die Inhalte der Pollenlehre von hoher Relevanz und eröffneten Möglichkeiten für einen praktischen Arbeitsunterricht.

Die folgende Planung ist für fünf Unterrichtsstunden konzipiert. Das Experimentieren im Schulunterricht bietet die Möglichkeit, dass eine Reihe von Forschungsmethoden zum Einsatz kommt, wie zum Beispiel das Beobachten, Vergleichen, Protokollieren und Zeichnen. Das Experiment fördert eine systematische Abfolge von Arbeitsschritten und die intensive, gedankliche Auseinandersetzung mit den Versuchsobjekten. Wie keine anderen Unterrichtsmethode schult das Experiment zielgerichtetes, konsequentes, planmäßiges, reflektierendes, kreatives und selbstständiges Denken. (Eschenhagen, Kattmann, Rodi, 2001) Die Anwendbarkeit von Experimenten in der Klasse wurde im Kapitel „Experimentieren im Unterricht“ genauer behandelt.

Nachdem die Auseinandersetzung mit mehreren Pollenkörnern zu komplex ist, empfiehlt es sich, im Unterricht auf ein charakteristisches und leicht identifizierbares Pollenkorn Bezug zu nehmen. In der angeführten Unterrichtsidee wurde der Pollen der Birke als exemplarisches Beispiel ausgewählt.

Die rundlichen bis ovalen Birkenpollenkörner verfügen meist über drei Keimöffnungen (triporat) und bilden eine getrennte, offene Kammer innerhalb der Keimöffnungen (Vestibulum). Diese Merkmale führen dazu, dass sie sich von anderen Pollenkörnern abheben. Desweiteren handelt es sich bei der Birke um eines der wichtigsten Baumallergene (höchstallergen). Mit ihrer charakteristischen Rinde und den auffälligen Blütenständen (Kätzchen) handelt es sich außerdem um einen einprägsamen Baum, der von den Schülern und Schülerinnen leicht wiedererkannt werden kann. (<https://www.pollenwarndienst.at/de/allergie-infos/fuer-allergiker/steckbriefe/birke.html>, abgerufen am 02.01.2015)

Im Folgenden werden die einzelnen Unterrichtsstunden näher beschrieben:

1. und 2. Unterrichtsstunde

In den ersten beiden Unterrichtseinheiten Ende April hat die Lehrperson die Aufgabe, die Schüler und Schülerinnen in das Themengebiet einzuführen. Neben dem Fachlichen sollen Emotionen und Interesse bei den Schülern und Schülerinnen geweckt werden.

Eine Auseinandersetzung mit den Schulbüchern hat gezeigt, dass die Themen Blütenökologie und Bestäubungsmechanismen bereits in der Unterstufe abgehandelt werden. Aus diesem Grund hat der Lehrer, die Lehrerin die Pflicht, an das bereits vorhandene Wissen anzuknüpfen. Es ist zu empfehlen, die wichtigsten Inhalte, die für den

kommenden praktischen Unterricht relevant sind noch einmal zu wiederholen, um den Hintergrund, die Bedeutung und die Tragweite des späteren Experiments erfassen zu können.

Um zu verstehen, welche bedeutende Rolle das Pollenkorn in der Entwicklung unserer Pflanzenwelt einnimmt, ist es wichtig, dass die Lehrperson auf die Fortpflanzung bei Pflanzen sowie die dafür notwendigen Sexualorgane einer Blüte eingeht. Ein kritischer Vergleich der Bestäubungsvektoren ist zu empfehlen. Ziel ist es, unter Anbetracht des Evolutionsgedankens, den Aufbau und die Funktion der Blütenpflanzen und die damit einhergehenden Zusammenhänge von Wind, Tier und Wasser biologisch erklären zu können. Aus dem Unterricht muss hervorgehen, wie die Bestäubungsbiologie und die evolutionären Prozesse zur Biodiversität beitragen.

Anschließend können die Schüler und Schülerinnen mit einem kurzen Lehrvortrag in das Forschungsgebiet der Palynologie eingeführt werden.

All diese Informationen können aus dem theoretischen Teil der vorliegenden Diplomarbeit entnommen und aufgearbeitet werden.

3. Unterrichtsstunde

In der dritten Unterrichtsstunde nimmt der Lehrer, die Lehrerin einen großen Birkenzweig mit Blüten in das Klassenzimmer mit. Sollte in der nahen Umgebung der Schule ein Birkenbaum vorhanden sein, kann zusammen mit der Klasse ein Zweig geholt werden. Anschließend können sich die Schüler und Schülerinnen in Partnerarbeit die Blütenstände anschauen und gemeinsam analysieren. Darauf folgend wird im Klassenverband besprochen, in welchem Organ sich die Pollenkörner befinden. Die Lehrperson stellt die Forschungsfrage in den Raum, ob die Birke ein Wind- oder Insektenblütler ist. Wieder in Partnerarbeit sollen die Schüler und Schülerinnen Hypothesen erstellen und sich überlegen wie sie diese Frage im Unterricht erforschen können. Zusätzlich müssen sie weitere Forschungsfragen erarbeiten, z.B.

Wie sieht das Pollenkorn der Birke aus?, Wie groß ist es?, Wie ist ein Pollenkorn aufgebaut?, Welche Farbe haben Pollenkörner?, Welcher Pollen fliegt im April?, und so weiter. Hier soll die Eigenständigkeit der Schüler und Schülerinnen gefördert werden.

Im Klassenverband werden die möglichen Forschungsmethoden besprochen und geplant. Weiters werden die interessantesten zwei weiteren Forschungsfragen ausgewählt. Hier hat

die Lehrperson darauf zu achten, dass die Forschungsfragen mit den zur Verfügung stehenden Forschungsmaterialien auch wirklich erarbeitet werden können. Am Ende der Unterrichtsstunde werden gemeinsam mit den Jugendlichen 10 - 15 Objektträger mit jeweils einem Tropfen Glycerin auf das äußere Fensterbrett des Klassenzimmers gelegt, damit die in der Luft befindlichen Pollenkörner daran kleben bleiben.

4. und 5. Unterrichtsstunde - Doppelstunde

In diesen Unterrichtsstunden findet der praktische Teil statt. Die selbstständige Durchführung eines Experiments soll neben den vielen positiven Lerneffekten helfen, Einblicke in wissenschaftliche Arbeitsmethoden zu erhalten. Es handelt sich um ein entdeckendes Experiment von Kurzzeitcharakter.

Ziel der Untersuchung ist es, herauszufinden wie die Pollenkörner der Birke aussehen und ob sie eine windblütige Pflanze ist. Hierfür wurden bereits in der vorigen Stunde Blüten der Birke gesammelt und Objektträger mit Glycerin für mehrere Tage auf dem Fensterbrett ausgelegt.

Die Schüler und Schülerinnen haben die Aufgabe selbst Präparate herzustellen. Dazu werden die Jugendlichen in Zweier- bis Dreier teams eingeteilt. Die Schüler und Schülerinnen werden dazu angehalten, den gesamten Versuchsablauf zu protokollieren. Auf einem Objektträger mit einem Tropfen Acetolysegemisch werden die Antheren der Birkenblüten mit einer Präpariernadel zerkleinert. Hierbei sollten die Pollenkörner auf den Objektträger gelangen und eine mikroskopische Untersuchung ermöglichen. Anschließend müssen die Jungen und Mädchen das Untersuchungsobjekt skizzieren. Hierbei soll eine genau Betrachtung und Auseinandersetzung mit dem Pollenkorn sichergestellt werden. Mit dem neuen Wissen über Form und Gestalt des Birkenpollenkorns haben die Schüler und Schülerinnen die Aufgabe die Präparate, welche am Fensterbrett gelegen sind genau anzuschauen. Sie sollen herausfinden, ob in ihrem Präparat auch Birkenpollenkörner zu finden sind. Ist dies der Fall, können die Schüler und Schülerinnen ihre aufgestellte Hypothese bejahen oder widerlegen. Sollte ein Forschungsteam frühzeitig fertig sein, kann es beginnen andere Forschungsfragen beginnen zu beantworten. So kann sichergestellt werden, dass die Schüler und Schülerinnen stets beschäftigt sind. Am Ende der Unterrichtseinheit sollen die Forschungsteams, die eine weitere Forschungsfrage beantwortet haben, ihre Mitschüler und Mitschülerinnen über ihre Ergebnisse und die Forschungsmethode informieren. Zum Schluss werden nochmals alle Ergebnisse

besprochen, Fragen geklärt, Rückschlüsse gezogen und die Schüler und Schülerinnen sollen berichten wie es ihnen während der Forschungsarbeit ergangen ist.

Zeit	Aufbau	Sozialform				Medien/Materialien
		Klassenunterricht	Einzelarbeit	Partnerarbeit	Gruppenarbeit	
15 min	Einstieg • Begrüßung • Einleitung in das Unterrichtsthema • Erklären des Forschungsprojektes • Austeilen des Arbeitsauftrages					Kopien mit Arbeitsaufträgen
35min	Erarbeitung Präparate mit Birkenpollenkorn herstellen, untersuchen und zeichnen					Mikroskop Objektträger Acetolysegemisch Präpariernadel Mikromanipulator Bleistifte Zeichenpapier
25min	Vergleichen mit den Präparaten vom Fensterbrett, Beantwortung der Hypothese					Präparate Mikromanipulator Mikroskop

15min	Erarbeiten und Beantworten der weiteren Forschungsfrage					Mikroskop Objektträger Acetolysegemisch Glycerin Nadel Mikromanipulator
10min	Ergebnissicherung Zusammenfassen der Forschungsergebnisse, Klären von offenen Fragen					Tafel

Tabelle 6: Stundenbild

Hinweise zur Durchführung

Um einen reibungslosen Ablauf zu ermöglichen, ist eine vorbereitete Lernumgebung sehr wichtig. Das Schaffen von Arbeitsplätzen, bei denen die notwendigen Materialien wie Mikroskope, Zeichenpapier, Bleistift, Glycerin, Acetylgemisch, Objektträger und Präpariernadeln für jedes Forschungsteam vorbereitet werden, ermöglicht einen schnellen Einstieg und eine einfachere und schnellere Durchführung. Es ist im Vorfeld sicherzustellen, dass genügend Mikroskope mit mindestens 400-facher Vergrößerung an der Schule zur Verfügung stehen. Das Austeilen eines schriftlichen Arbeitsauftrages, der die einzelnen Forschungsschritte und Richtlinien beinhaltet gewährleistet, dass die Schüler und Schülerinnen stets wissen, welcher Arbeitsschritt als nächstes durchgeführt werden muss. Um eventuellen Problemen vorzubeugen, ist zu empfehlen, dass der Lehrer, die Lehrerin bereits in der Unterrichtsvorbereitung einige Präparate mit Birkenpollenkörnern vorbereitet. Eine Vorbereitung der Objektträger, welche im Freien waren, ist ebenfalls nahe zu legen.

6. Zusammenfassung

Die ersten Kapitel der vorliegenden Arbeit dienen dazu, einen Überblick über die Palynologie zu verschaffen und ein Basiswissen für die anschließende Analyse des Pollenflugs 2013 am Laaerberg in Wien zu erhalten. Die gewonnenen Ergebnisse wurden mit dem Pollenflugkalender von Stix, welcher im Jahr 1981 veröffentlicht wurde und den Daten von der ZAMG aus dem Jahr 2013 verglichen. Die Ergebnisse von Stix beruhen auf den Werten der Pollensammlungen, welche zwischen 1971 und 1976 in München durchgeführt wurden. In dieser Diplomarbeit sollte festgestellt werden, ob es zu Abweichungen zwischen dem Pollenflug am Laaerberg 2013, dem Pollenflug auf der Hohen Warte (ZAMG) und dem Pollenflugkalender von Stix kommt. Die Ergebnisse aus dem Vergleich sollen dazu dienen, herauszufinden, ob Lehrer und Lehrerinnen sich bei ihrer Unterrichtsvorbereitung auf die Informationen eines Pollenflugskalenders verlassen können oder ob die jährlichen klimatischen und wetterbedingten Schwankungen einen zu großen Unterschied im Pollenflug verursachen. Die angewendete Forschungsmethode wurde mittels einer fachdidaktischen Analyse auf ihre Eignung im Unterricht beurteilt. Eine genauere Auseinandersetzung mit dem Lehrplan der Oberstufe für Allgemein bildende Höhere Schulen sollte zeigen, ob die Anwendung eines forschenden Unterrichts im Rahmen der Pollenflug-Analyse gewünscht und zielführend ist.

Daraus ergaben sich zwei Forschungsfragen:

1. Zeigt die Auswertung des Pollenflugs 2013 am Laaerberg mit dem Pollenkalender von Stix (1981) und den Daten von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) aus dem Jahr 2013 Übereinstimmungen?
2. Inwiefern ist es sinnvoll, den Pollenflug in Form von forschendem Lernen im Unterricht zu behandeln?

Die Hypothese zur ersten Frage besagte, dass sich die Ergebnisse aus meiner und aus Stix's Untersuchung sowie den Daten von ZAMG aus dem Jahr 2013 überschneiden werden und dass folglich Lehrer und Lehrerinnen wissenschaftliche Pollenkalender nutzen können um darauf aufbauend einen praktischen Unterricht zum Thema Pollenflug gestalten zu können. Obwohl es zu zahlreichen Parallelen innerhalb der drei Auswertungen kam, muss darauf hingewiesen werden, dass es auch Abweichungen gab. Die örtlichen

Gegebenheiten in Bezug auf Lage, Klima, Wetter und Vegetation beeinflussen die Blühperioden und folglich auch den Pollenflug. Aus diesem Grund ist zu empfehlen, dass Lehrer und Lehrerinnen im Vorfeld mit eigenen Sammlungen den gegenwärtigen Pollenflug beobachten, bevor ein Unterrichtskonzept erstellt wird. Der Vergleich mit den Daten von ZAMG aus dem Jahr 2013, welche auf der Hohen Warte erhoben wurden, haben eine gute Übereinstimmung mit den Daten am Laaerberg gezeigt. Das bedeutet, dass die Nähe der beiden Sammelorte sowie dasselbe Sammeljahr eine gewisse Rolle betreffend der Übereinstimmungen hat.

Zur Orientierung für Lehrer und Lehrerinnen können die aktuellen Werte des österreichischen Pollenwarndienstes herangezogen werden. Der Vorteil ist, dass bei dem österreichischen Pollenwarndienst Tageserhebungen aus ganz Österreich veröffentlicht werden. Pollenflugkalender können zur Unterstützung genutzt werden, um den Zeitraum des Pollenflugs einschränken zu können. Hierbei sollte jedoch darauf geachtet werden, dass die Daten des Kalenders auf den Ergebnissen einer naheliegenden Messstelle beruhen.

Die zweite Forschungsfrage lässt sich nun mit Hilfe der ausführlichen Literaturrecherche sowie meinen eigenen Erfahrungen leicht beantworten. Die durchgeführte Methode ist aufgrund ihrer Komplexität und dem dafür notwendigen Fachwissen für den Unterricht nicht zu empfehlen. Dennoch kann die Überprüfung des Pollenflugs hervorragend im Unterricht eingesetzt werden. Es ist anzuraten, den Pollenflug unter reduzierten Bedingungen im Unterricht zu erforschen, um Schüler und Schülerinnen als auch Lehrer und Lehrerinnen nicht zu überfordern. Allein die Sammlung von Pollenkörnern mittels Objektträgern und Glycerin sowie die anschließende mikroskopische Betrachtung des wahrhaften Meeres aus Pollenkörnern ermöglicht den Schülern und Schülerinnen eine hohe Erkenntnis und regt sie zum Denken an. Mittels der Literaturrecherche wurde festgestellt, welchen enormen Mehrwert ein anwendungsorientierter Unterricht nach sich zieht. Aus diesem Grund und aufgrund der Tatsache, dass es sich hierbei um eine einfache und kostengünstige Forschungsmethode handelt sowie unter Einbeziehung des Lehrplans ist der Einsatz der Palynologie im Unterricht zu empfehlen. Desweiteren ermöglicht forschendes Lernen anhand dieser interessanten Thematik elementare naturwissenschaftliche Fragen, wie zum Beispiel die Entstehung der Artenvielfalt, zu erklären.

Im antiken Griechenland entwickelte sich vor über 2000 Jahren das Interesse am naturwissenschaftlichen Denken. Die Wissbegierde des Menschen ist bis heute mitverantwortlich für den Ursprung wissenschaftlichen Arbeitens und das bis heute stetige Voranschreiten an Erkenntnissen über unsere Umwelt und die Vielfalt an Phänomenen. (Campell, 2009) Aus diesen Gründen ist es von enormer Bedeutung, dass der Schulunterricht die natürliche Wissbegierde der Schüler und Schülerinnen nutzt um Interesse, Fähigkeiten und Leidenschaft zu wecken und zu fördern. Nur so ist es möglich, dass aus der Schule junge Erwachsene hervorgehen, die an sich selbst und ihre Fähigkeiten glauben und folglich mit ihrem Können und Wissensdrang zu neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen beitragen. In diesem Sinne möchte ich meine Diplomarbeit abschließen.

7. Literaturverzeichnis

- Reinerth, H.. 1942. Lehrbuch der Pollenanalyse. Band 3. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart.
- Campbell, N. & Reece, J. 2009. Biologie. Pearson Studium. München
- D'Amato, G. & Liccardi, G. 2002. The increasing trend of seasonal respiratory allergy in urban areas – Allergy 57 (71). 35-36. Italien
- Dany, B. 1990. Pollensammeln heute – Anleitung zum wirtschaftlichen Pollensammeln. Ehrenwirth Verlag GmbH. München
- Eschenhagen, D. & Kattmann, U. & Rodi, D. 1985. Fachdidaktik Biologie. Aulis-Verlag Deubner. Köln
- Greilhuber, J. et al. 1978. Linzer biologische Beiträge. Botanische Arbeitsgemeinschaft am OÖ Landesmuseum. Linz
- Hausen, B. & Vieluf, I. 1997. Allergiepflanzen – Pflanzenallergene: Handbuch und Atlas der allergie-induzierenden Wild- und Kulturpflanzen. 2. Auflage. Ecomed Verlagsgesellschaft mbH. München
- Hesse, M. & Ulrich, S. 2012. Biologie in unserer Zeit – Pollen - Erstaunliche Schönheit, verblüffende Vielfalt. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim
- Hesse, M. et al. 2009. Pollen Terminology. An illustrated handbook. Springer-Verlag. Wien.
- Howlett, BJ. & Knox, RB. & Heslop-Harrison, J. 1973. Pollen-wall proteins - release of the allergen Antigen E from intine and exine sites in pollen grains of ragweed and Cosmos. J Cell Sci 13. 603-619. Großbritannien
- Kaessmayer, E. 2012. Favoriten und der Böhmisches Prater, Laaerberg - Der andere Wiener Wald. Fun Toy. Schwechat.
- Kessler, R. & Harley, M. 2008. Die Geheimnisvolle Sexualität der Pflanzen – Von Blüte und Frucht. Kneesebeck. München.
- Killermann, W. 1991. Biologieunterricht heute – Eine modern Fachdidaktik. 9. Auflage. Ludwig Auer GmbH. Donauwörth
- Klaus, W. 1987. Einführung in die Paläobotanik - Fossile Pflanzenwelt und Rohstoffbildung Band 1. Franz Deuticke Verlagsgesellschaft. Wien

- Leins, P. 2000. Blüte und Frucht – Aspekte der Morphologie, Entwicklungsgeschichte, Phylogenie, Funktion und Ökologie. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Punt, W. et al. 2007. Glossary of pollen and spore terminology. Review of Palaeobotany and Palynology. Vol. 143 (1-2). 1-81
- Ruëff, F. 2009. Pflanzen als Auslöser allergischer Erkrankungen. Public Health Forum. Vol.17 (1) pp.22.e1-22.e3. München
- Schäppi, GF. Taylor, PE. Staff, IA. Roland, JM. Suphioglu, C. 1999. Immunological significance of respirable atmospheric starch granules containing major birch allergen Bet v 1. – Allergy 54. 478 - 483. Australien
- Schröder, E. & Keeser, G. 1969. Handbuch der Realschulpädagogik. Hermann Schroedel Verlag Kg. Hannover
- Stix, E. 1981. Pollenkalender – Regionale und jahreszeitliche Verbreitung von Pollen. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft. Stuttgart
- Straka, H. 1975. Pollen- und Sporenkunde – Eine Einführung in die Palynologie. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart
- Wagener, A. 1992. Biologie unterrichten – ein fachdidaktisches Arbeitsbuch. 1. Auflage. Quelle & Meyer Verlag. Heidelberg
- .

8. Internetquellen

http://de.wikipedia.org/wiki/Besenginster#/media/File:Cytisus_scoparius_flos.jpg

(abgerufen am 23.03.2015)

<http://derstandard.at/2000013342086/Pollenwarndienst-Einst-Tonbandansage-heute-Echtzeit-Info-per-App> (abgerufen am 28.03.2015)

<http://ean.polleninfo.eu/Ean>

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3b/European_honeysuckle_800.jpg

(abgerufen am: 11.12.2014)

<http://www.biologie.uni-ulm.de/lehre/bestueb/fabaceae.htm> (abgerufen am 25.11.2014)

<http://www.pollenwarndienst.at/de/allergieinfos/fueraerobiologen/methodik/pollenfallen.html> (abgerufen am 30.09.2014)

https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_08_11860.pdf?4dzgm2 ,

(abgerufen am 02.12.2014 und am 05.02.2015)

<https://www.pollenwarndienst.at/de/allergie-infos/fuer-aerobiologen/pollenatlas.html>

(abgerufen am 14.12.2014)

<https://www.pollenwarndienst.at/de/allergie-infos/fuer-allergiker/steckbriefe.html>

(24.02.2015)

[https://www.pollenwarndienst.at/neuigkeiten/news-fuer-allergiker/news-](https://www.pollenwarndienst.at/neuigkeiten/news-fuer-allergiker/news-detail/persoенliche-pollenwarnung-mit-neuer-app.html)

[detail/persoенliche-pollenwarnung-mit-neuer-app.html](https://www.pollenwarndienst.at/neuigkeiten/news-fuer-allergiker/news-detail/persoенliche-pollenwarnung-mit-neuer-app.html) (abgerufen am 20.12.2014)

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Staubgefäß	7
Abbildung 2: A Pollenkorn, B Männlicher Gametophyt von <i>Lilium martagon</i>	8
Abbildung 3: Pollentetraden	9
Abbildung 4: Entstehung der Pollenwand	13
Abbildung 5: <i>Sarothamnus scoparius</i>	22
Abbildung 6: <i>Lonicera periclymenum</i> ,	24
Abbildung 7: Verbreitungsdistanz windblütiger Pollenkörner sowie die Niederschlagsdichte in Bezug auf die Streudistanz.....	29
Abbildung 8: Karte Laaerberg	41
Abbildung 9: Auswertung 20.4.2013 – 27.04. 2013	46
Abbildung 10: Auswertung 24.05.2013 – 31.05.2013	46
Abbildung 11: Auswertung 03.06.2013 . 10.06.2013	47
Abbildung 12 Auswertung 13.06.2013 – 20.06.2013	47
Abbildung 13: Auswertung 07.07.2013 – 14.07.2013	48
Abbildung 14: Auswertung 15.08.2013 – 22.08.2013	48
Abbildung 15: Auswertung 10.09.2013 – 17.09.2013	49
Abbildung 16: Pollenflugkalender von München (1971 – 1976).....	51
Abbildung 17: Pollenflugkalender von München ; 1971 – 1976	51

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzahl der Pollenkörner je m ² Bodenfläche in einer Blühperiode, Zahlen in Millionen, abgerundet;	26
Tabelle 2: Allergiepotential der unterschiedlichen Taxa.....	37
Tabelle 3: Prozentuelle Verteilung der Taxa im Zeitverlauf, 2014 (Angaben in Wochen), Weinberger (2014)	44
Tabelle 4: Prozentuelle Verteilung der Taxa im Zeitverlauf, 2014 (Angaben in Wochen), Weinberger, 2014.....	45
Tabelle 5: Tabellarische Gegenüberstellung der Pollenfluguntersuchungen von Stix (1971-1976), Weinberger (2013) und ZAMG (2013).....	54
Tabelle 6: Stundenbild.....	87

11. Tafeln I - III

TAFEL I

Fig. A: *Betula sp.*

Fig. B: *Betula sp.*

Fig. C: *Tilia sp.*

Fig. D: *Tilia sp.*

Fig. E: *Carpinus sp.*

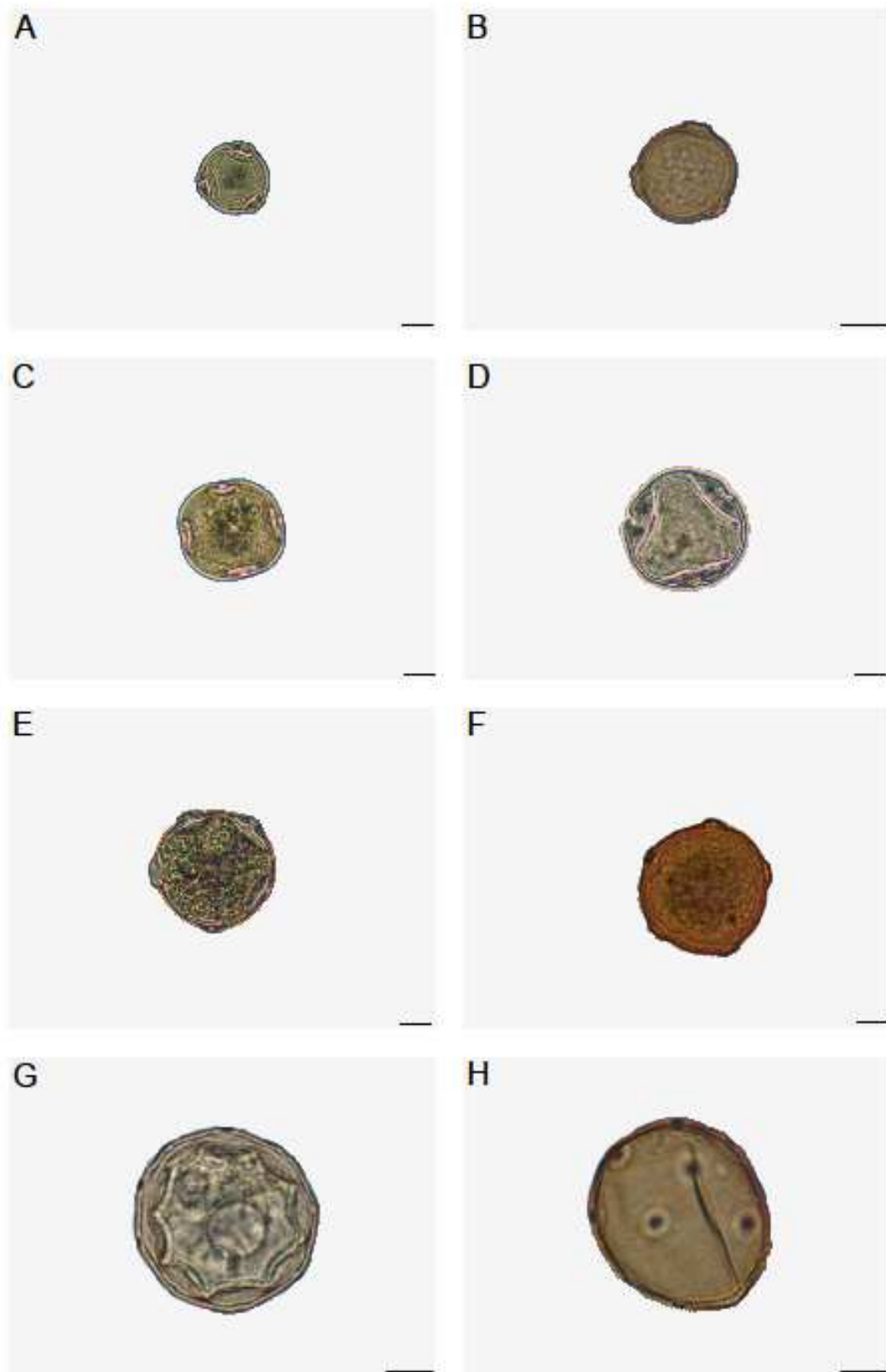
Fig. F: *Carpinus sp.*

Fig. G: *Juglans sp.*

Fig. H: *Juglans sp.*

Maßstab: 10 µm

TAFEL I



TAFEL II

Fig. A: *Poaceae* sp.

Fig. B: *Poaceae* sp.

Fig. C: *Cerealie* sp.

Fig. D: *Cerealie* sp.

Fig. E: *Dup. Composite* sp.

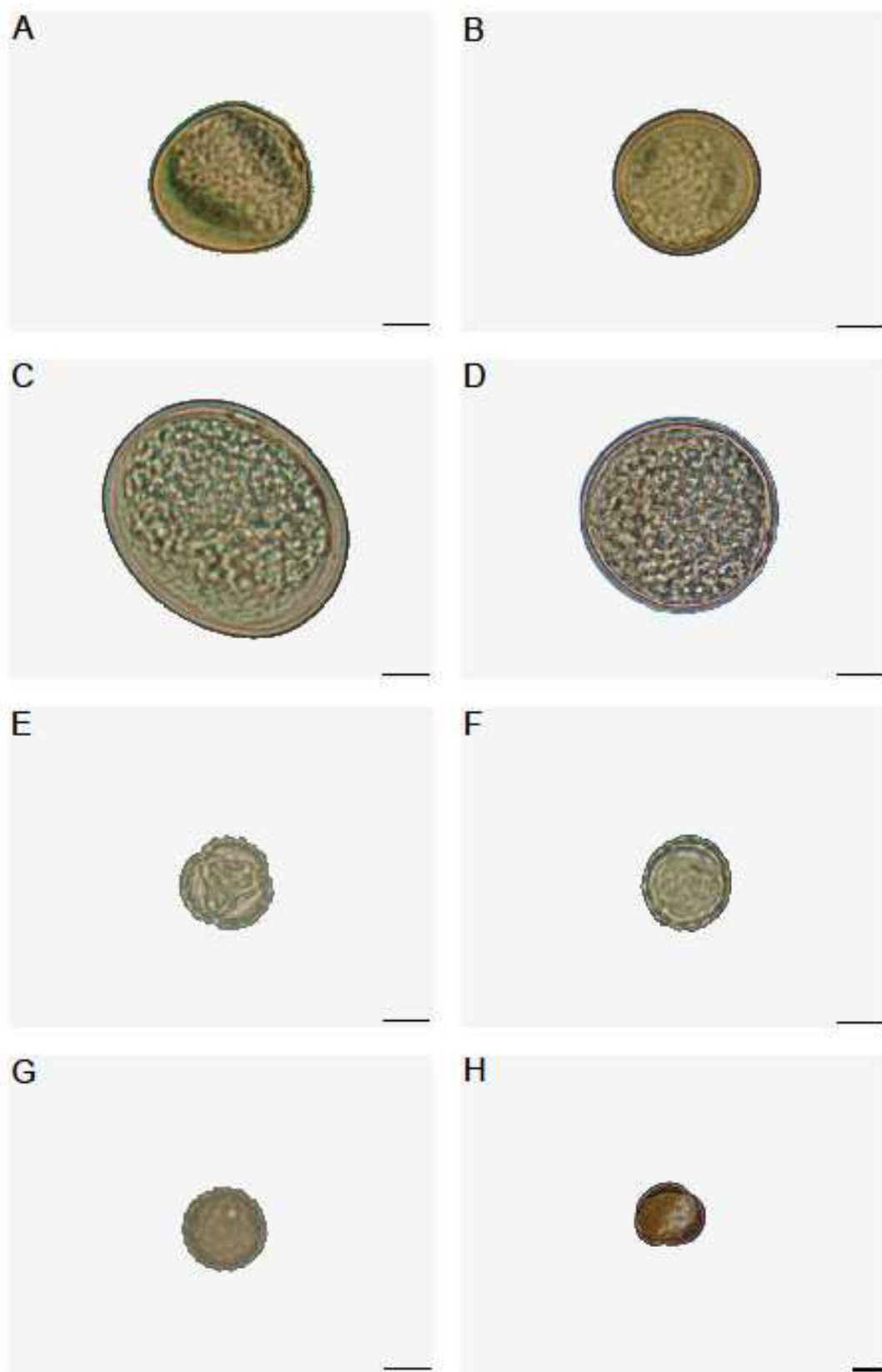
Fig. F: *Dup. Composite* sp.

Fig. G: *Dup. Composite* sp.

Fig. H: *Artemisia* sp.

Maßstab: 10 µm

TAFEL II



TAFEL III

Fig. A: *Pinus sp.*

Fig. B: *Pinus sp.*

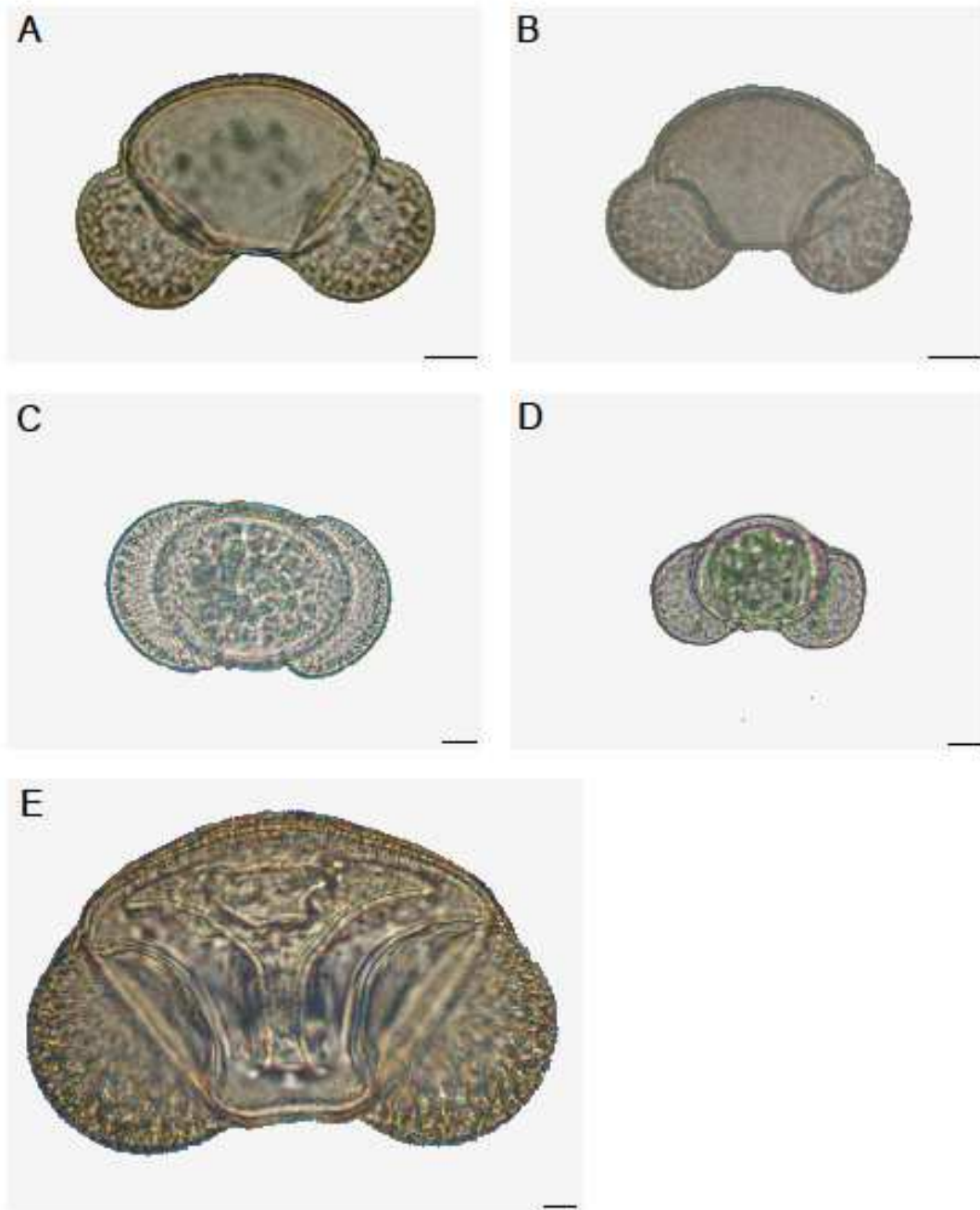
Fig. C: *Pinus sp.*

Fig. D: *Pinus sp.*

Fig. E: *Abies sp.*

Maßstab: 10 µm

TAFEL III



12 Lebenslauf

PERSÖNLICHE ANGABEN

Name	Theresa Weinberger
Geburtsort	Wien
Staatsbürgerschaft	Österreich

SCHULBILDUNG

10/2008 – 05/2015	Lehramtsstudium Biologie und Umweltkunde, Psychologie und Philosophie an der Universität Wien
09/2003 – 06/2008	Höhere Lehranstalt für wirtschaftliche Berufe St. Franziskus in Wien
09/1999 – 06/2003	Kooperative Hauptschule Neulandschule in Wien
09/1995 – 06/1999	Volksschule Laaerbergsschule Wien

BERUFLICHE ERFAHRUNGEN

01/2013 – heute	Teamleiterin in der Kinder und Jugendbetreuung - Verein Kinderfreunde Aktiv
05/2010 – 12/2012	Kinder und Jugendbetreuerin - Verein Wiener Kinderfreunde