

Name der Hochschule:
Hochschule Neubrandenburg – University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

im Studiengang
„Naturschutz und Landnutzungsplanung“

Thema:

**Vergleichende mikroskopische Untersuchung der Ausstattung von
Blättern und Nadeln mitteleuropäischer Baumarten mit
verschiedenen Formtypen von Phytolithen -
Eine umweltgeschichtliche Grundlagenstudie**

Vorgelegt von: Maxime d'Oultremont

10. Fachsemester

Erstprüfer: Pr. Dr. Maik Stöckmann

Zweitprüfer: Pr. Dr. David Vollmuth

Abgabe: 04.08.2025

URN-Nr.: urn:nbn:de:gbv:519-thesis-2025-0177-1

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	S.1
1.1 Mikroskopische Analyse der Blätter, Flieger und Nadeln von 31, in Mecklenburg-Vorpommern heimischen Baumarten	S.1
1.2 Genaue Analyse der vorkommenden Phytolithen und ihre Zuordnung nach Formtypen	S.2
1.3 Literaturrecherche, warum sind Phytolithen für die Wissenschaft von Bedeutung	S.2
1.4 Vergleich der identifizierbaren Formtypen von Phytolithen	S.3
1.5 Erklärungsversuche der auftretenden Unterschiede der vorkommenden Formtypen	S.3
1.6 Gesamtdiskussion: Wie können wir von den Erkenntnissen profitieren	S.3
 2 Grundlagen	 S.4
2.1 Begriffserklärungen	S.4
2.1.1 Phytolithen	S.4
2.1.2 Silizium	S.4
2.1.3 Siliziumdioxid	S.4
2.1.4 Silikate	S.4
2.1.5. Kieselsäure	S.5
 2.2 Historische und neuzeitliche Bedeutung der Phytolithen	 S.5
2.2.1 Bedeutung für die Archäologie und Paläoökologie	S.5
2.2.2 PHYTORES, EU-finanzierte Studie	S.6
2.2.3 ZALF-Studie, Amorphes Silikat, Phytolithen, verbessern die Bodenqualität.	S.6
 2.3 Extraktionsmethoden zur Bestimmung von Phytolithen	 S.7
2.3.1 Wasser-Siede-Aufschluss	S.7
2.3.2 Feuchte Oxidation	S.7
2.3.3 Veraschung	S.8

3 Theoriebezüge, Stand der Forschung	S.8
3.1 Brennxperimente an Getreide zur Interpretation von erhitzten archäologischen Sedimenten.	S.9
3.2 Untersuchung von Phytolithen sechs wichtiger, in den Karpaten ansässiger Baumarten	S.10
4 Auswahl der Methode und Verfahrensbeschreibung	S.11
4.1 Standort der Untersuchung, Mecklenburg-Vorpommern	S.11
4.1.1 Klima in Mecklenburg-Vorpommern	S.11
4.1.2 Bodenzusammensetzung, Mecklenburg-Vorpommern	S.12
4.2 Methode	S.12
4.2.1 Veraschung im Muffelofen bei 420°C	S.12
4.2.2 Reinigung der Proben	S.13
4.2.3 Mikroskopische Untersuchung	S.15
5 Bei Bäumen vorkommende Formtypen von Phytolithen	S.18
5.1 Laubbäume	S.25
5.2 Nadelbäume	S.93
6 Vergleiche der Phytolithen verschiedener Baumarten untereinander	S.108
6.1 Bildliche Gegenüberstellung von Phytolithen von Laubbäumen und Nadelbäumen	S.108
6.2 Auswertung der Vergleiche	S.112
6.3 Bildliche Gegenüberstellung der Phytolithen von Blättern einzelner Laubbäume mit ihren Fliegern	S.112
6.4 Auswertung der Vergleiche	S.120

7 Die eigenen Ergebnisse im Vergleich zu anderen Studien	S.121
7.1 Untersuchung von Bäumen in den Karpaten	S.121
7.1.1 Formtypen von Phytolithen aus Mecklenburg-Vorpommern, die mit den in den Karpaten vorgefundenen, vergleichbar sind.	S.121
7.1.2 Vergleich der Formtypen der Phytolithen,	S.122
7.2 Vergleich mit in Gräsern und Getreide vorkommenden Phytolithen	S.123
7.2.1 Gräser und Getreide, Bilder von Phytolithen und Formtypen.	S.123
7.2.2 Formtypen von Phytolithen bei Laubbäumen, die in ähnlicher Form bei Gräsern und Getreide zu finden sind.	S.129
7.2.3 Formtypen von Phytolithen bei Nadelbäumen, die in ähnlicher Form bei Gräsern und Getreide zu finden sind.	S.133
7.2.4 Formtypen von Phytolithen bei Fliegern der Laubbäume, die in ähnlicher Form bei Gräsern und Getreide zu finden sind.	S.134
7.2.5 Vergleich der Formtypen von Phytolithen von Gräsern und Getreide mit den Formtypen von Phytolithen der Laub- und Nadelbäume.	S.134
 8 Gesamtdiskussion	S.135
8.1 Wesentliche Beobachtungen	S.135
8.2 Erklärungsversuche für die Entwicklung unterschiedlicher Formtypen von Phytolithen	S.137
8.3 Ausblick	S.139
 Abbildungsverzeichnis	S.142
Literaturverzeichnis	S.145
Eidesstattliche Erklärung	S.150

1 Zusammenfassung

Diese Bachelorarbeit ist eine Studie über Phytolithen, die in Laub- und Nadelbäumen vorkommen. Ziel war es Formtypen von Phytolithen zu definieren und zu analysieren. Anschließend wurden die eigenen Ergebnisse untereinander oder mit anderen Studien verglichen, um Gemeinsamkeiten oder Unterschiede herauszufinden.

Die Erforschung der Phytolithen ist noch ganz jung in der Welt der Wissenschaft. Es gibt kaum literarische Quellen zu dem Thema, wenn überhaupt, dann sind es wissenschaftliche Artikel. Die meisten stattgefundenen Untersuchungen beschäftigen sich vor allem mit Phytolithen, die in Gras und Getreide vorkommen. Untersuchungen über Bäume existieren kaum. Das war auch die besondere Herausforderung bei dieser Arbeit.

Innerhalb dieser Bachelorarbeit wurden die Blätter, teilweise Flieger und Nadeln von insgesamt 31 in Mecklenburg-Vorpommern heimischen Bäumen untersucht. (Siehe Abb.2) Die Blätter; Flieger und Nadeln wurden eigenhändig gesammelt, verascht und anschließend wurden ca. 3400 mikroskopische Aufnahmen von den Phytolithen aufgenommen. Diese Fotos sind die Grundlage dieser Studie.

Allerdings war das generierte Bildmaterial so zahlreich, dass es nötig wurde die vergleichenden Untersuchungen etwas einzugrenzen. Es wurden deshalb 21 Bäume zur genaueren Analyse ausgewählt, 17 Laubbäume, 5 ihrer Flieger und 4 Nadelbäume. Die Auswahl der Bäume hing davon ab, ob sie mit irgendeiner anderen Studie verglichen werden konnten oder ob die Bäume besonders interessante oder aussagekräftige Bilder lieferten.

1.1 Mikroskopische Analyse der Blätter, Flieger und Nadeln von 31 in Mecklenburg-Vorpommern heimischen Baumarten.

Ziel war es eine Bestandsaufnahme der in Mecklenburg-Vorpommern vorkommenden Formtypen von Phytolithen in Blättern und Nadeln von Bäumen zu erfassen und einzuordnen. Das Sammeln, die Veraschung und die Anfertigung der Bilder mit Hilfe des Mikroskops, war der zeitaufwändigste Teil dieser Arbeit.

1.2 Genaue Analyse der vorkommenden Phytolithen und ihre Zuordnung nach Formtypen

Fast ebenso intensiv gestaltete sich die Untersuchung von etwa 3400 selbst angefertigten Fotos, die alle einzeln untersucht wurden. Erkennbare Phytolithen wurden mit Hilfe des Programms „NIS-Elements D“, der Länge nach vermessen und dann in Excel Tabellen eingetragen. Anschließend wurde versucht Formtypen zu erkennen und zu klassifizieren, deren Namen hier teilweise neu kreiert wurden, da sie in den zur Verfügung stehenden Unterlagen so noch nicht beschrieben wurden.

Abschließend wurden für jeden einzelnen Baum jeweils 100 Bilder untersucht und die Phytolithen möglichst genau abgezählt, um ein statistisches Kreisdiagramm zu erstellen. So kann das Verhältnis der erkennbaren Phytolithen pro Baum untereinander verglichen werden.

1.3 Literaturrecherche, warum sind Phytolithen für die Wissenschaft von Bedeutung

Die Forschungsinteressen sind unterschiedlicher Natur. Anders als bei dieser Untersuchung, bei der das Material, Blätter und die Nadeln intakt gesammelt wurden, werden oft bei anderen Forschungsarbeiten die Phytolithen aus den unteren, tieferen Erdschichten analysiert.

- Es geht u.a. um archäologische und paläoökologische Interessen und den Versuch ehemalige Siedlungen zu datieren bzw. herauszufinden welche natürlichen Baumaterialien verwendet wurden. Es wird festgestellt, ob in der Vergangenheit in dem untersuchten Gebiet überhaupt Pflanzen wuchsen. Es wird auch untersucht ob sich die Pflanzenarten im Laufe der Zeit verändert haben, da sich die Umweltbedingungen, v.a. das Klima verändert haben.

- Welche Bedeutung haben Phytolithen für die Pflanze, hinsichtlich Stabilität, Wasseraufnahme oder Stärkung der Resistenzen.

- Es gibt Untersuchungen zur Verbesserung der Getreideernte, Erhöhung von Resistenzen oder ab wieviel Grad der Verbrennung einer Pflanze, Phytolithen gar nicht mehr nachweisbar sind, was wiederum für Archäologen ein Problem ist.

1.4 Vergleiche der identifizierbaren Formtypen von Phytolithen

Es wird innerhalb dieser Arbeit versucht Unterschiede herauszufinden die vor allem die Formtypen, ihre Größe und Farbe betreffen. Die Vergleiche finden anhand des eigenen Bildmaterials oder anhand von Bildmaterial anderer Untersuchungen statt.

So werden die Laubbäume mit den Nadelbäumen verglichen, ein paar Laubbäume mit ihren Fliegern, weiterhin die Bäume aus Mecklenburg-Vorpommern mit Bäumen aus den Karpaten. Schließlich findet ein Vergleich zwischen Bäumen und Gras bzw. Getreide, statt

1.5 Erklärungsversuche der auftretenden Unterschiede der vorkommenden Formtypen von Phytolithen

Ziel ist es herauszufinden warum es Unterschiede bei den Formtypen und vor allem bei der Farbgebung gibt. Da innerhalb dieser Arbeit keine chemischen Untersuchungen von Blättern oder dem Standort stattgefunden haben, stützen sich die Erklärungsversuche auf die vorhandene Literatur und auf eigene Gedanken und Beobachtungen.

1.6 Gesamtdiskussion: Wie können wir von den Erkenntnissen profitieren

Im Laufe dieser Arbeit haben sich natürlich auch andere Aspekte der Bedeutung von Phytolithen offenbart, als allein die Bestimmung der Formtypen. Es wird erkannt wie wichtig das Thema für uns in der Zukunft sein könnte. Phytolithen sind in vielerlei Hinsicht nützlich und können z.B. die Pflanze unterstützen mit dem Klimawandel besser zurechtzukommen oder die Produktivität zu erhöhen.

2 Grundlagen

2.1 Begriffserklärungen

2.1.1 Phytolithen

Phytolithe, griechisch: „Pflanzensteine“, sind natürlich vorkommende Kieselsäurekörper, die in lebenden Pflanzen durch einen Biomineralisierungsprozess gebildet werden. Die Kieselsäure, $\text{Si}(\text{OH})_4$, ist eine chemische Verbindung aus Silizium und Sauerstoff und wird durch Wasseraufnahme von den Wurzeln aufgenommen, zusammen mit anderen im Boden vorkommenden Elementen. Es lagert sich als amorphe Silikate in und zwischen den Zellen der Pflanzen ab. (ebbecke, Verfahrenstechnik, 2025)

Phytolithen bestehen „aus einer amorphen opalartigen Struktur.“ (Braune 2014: 31).

2.1.2 Silizium

Die Erdhülle besteht in etwa zu 27,7% aus Silizium (Si) und ist nach Sauerstoff mit 46,6%, das zweithäufigste in der Erdkruste vorkommende chemische Element. (Richter 1992) Silizium ist ein Halbmetall und weist sowohl Eigenschaften von Metallen als auch von Nicht Metallen auf. Silizium bildet leicht Verbindungen mit Sauerstoff und anderen Nichtmetallen.

In der Natur kommt Silizium nicht in seiner reinen Form vor, sondern tritt in Form von silikatischen Mineralen, Silikaten, oder als reines Siliziumdioxid auf. So besteht Sand vorwiegend aus Siliziumdioxid. (Mineralienatlas-Fossilienatlas, 1999)

2.1.3 Siliziumdioxid

Siliziumdioxid SiO_2 ist eine anorganische Verbindung und besteht aus den beiden Elementen Silizium und Sauerstoff. Viele Pflanzen enthalten in ihren Stängeln und Blättern Siliziumdioxid und bilden so ein Gerüst, dass zu mehr Stabilität führt. (Lenntech Wasseraufbereitung, 1998-2025)

2.1.4 Silikate

Durch die Verbindung von Silizium mit Sauerstoff, werden Silikate gebildet. Als Silikate bezeichnet man auch die Salze, des Siliziums und der Kieselsäuren. (Latscha/Kazmaier 2016: 267).

2.1.5 Kieselsäure

Kieselsäure ist ein Derivat des Siliziumdioxids (SiO_2). Alle Pflanzen nehmen aktiv oder passiv Kieselsäure auf. In den verschiedensten Studien über Phytolithen wurden die Zusammenhänge der von den Pflanzen aufgenommenen Kieselsäure anhand verschiedenster Verfahren analysiert. (Braune 2014: 14) Dabei haben z.B. Adata und Besford 1986 bei ihrer Untersuchung, der Auswirkung von Silikat-Zuführen auf Gurkengewächse, positive Korrelationen festgestellt, die Photosyntheseleistung und die Resistenzsteigerung Schädlingen gegenüber, betreffend. (Adata/Besford 1986, zit. n. Braune 2014: 14)

Als Kieselsäure werden die Sauerstoffsäuren des Siliziums bezeichnet. In der Natur kommt Kieselsäure u.a. im Grundwasser vor. „Das Regen -oder Sickerwasser, das durch die Bodenschichten nach unten rinnt und Kohlensäure enthält, nimmt aus den Silikaten der Bodenminerale, Kieselsäure auf.“

Im Trinkwasser ist Kieselsäure dagegen in geringerer Konzentration vorhanden. Im Regenwasser befinden sich keine Mineralien. (Mineralienatlas-Fossilienatlas, 1999).

2.2 Historische und neuzeitliche Bedeutung der Phytolithen

2.2.1 Bedeutung für die Archäologie und Paläoökologie

Auch wenn Pflanzen schon längst abgestorben oder abgebaut sind, bleiben Phytolithen erhalten und sind gut in Böden und Sedimenten nachweisbar. Sie sind von enormer taxonomischer Relevanz, da sie dazu beisteuern uns genauere Informationen über die vorhandene Vegetation im Zeitlauf der Jahre zu liefern. Deshalb sind Phytolithen für Archäologen und Paläoökologen eine wunderbare Möglichkeit Pflanzenreste aus vergangenen Ökosystemen zu bestimmen und ihrer ursprünglichen Zweckverwendung zuzuführen. (Lisztes-Szabo/Braun/Csík/Pető 2019: 649).

Das kann z.B. der Nachweis einer prähistorischen Siedlung und Landwirtschaft sein oder Hinweise geben auf Pflanzen, die als prähistorische Baustoffe verwendet wurden, wie wenn zum Beispiel mit „Getreidedrusch gemagertes Material“ (Frittsch/Langen/Röpke 2019: 173) als Baustoff für Lehmwände eingesetzt wurde.

2.2.2 PHYTORES, EU-finanzierte Studie

Die Europäische Union, EU, förderte zwischen dem 01.06 2011-31.05.2013 das Projekt PHYTORES. Ziel dieser Studie war es herauszufinden, wie Nutzpflanzen, die nicht als Nahrungsmittel dienten, wie z.B. Heu oder Stroh, in prähistorischen Zeiten als Baumaterial, z.B. als Strohdach oder als Brennstoff, zum Einsatz kamen. Es sollten Unterschiede zwischen den eingesetzten Nutzpflanzen in den unterschiedlichen Untersuchungsgebieten herausgefunden werden. Mit Hilfe der Mikromorphometrie, wurden unterschiedliche Gewebeproben von Getreidearten dreier Kontinente extrahiert, und mit Hilfe von Mikrophotos und einer neuartigen Software konnten Phytolithen gemessen werden. An Hand von unterschiedlichen Größen, Formen und Zellzusammensetzung war es möglich unterschiedliche Blatttypen zu identifizieren indem z.B. Sattel-Kurzzell Phytolithen erkennbar gemacht wurden. (European Commission, 2015)

2.2.3 ZALF - Studie, Amorphes Silikat, Phytolithen, verbessern die Bodenqualität.

„Natürliche, wenig beeinflusste Böden enthalten sechs bis sieben Prozent amorphes Silikat“. „Pflanzen reichern die hochreaktiven Siliziumverbindungen...als sogenannte Pflanzenopale“ Phytolithe“ in ihren Stängeln und Blättern an“ (ZALF-STUDIE, 2023). Der natürliche Kreislauf sieht vor, dass diese Verbindungen wieder vom Boden aufgenommen werden, wenn die Pflanzen, Blätter und Stängel verrotten. Landwirtschaftlich genutzte Flächen dagegen sind verarmt und besitzen in der Regel meist weniger als 1% amorphes Silikat.

Es gibt neuere Studien für die Ertragserhöhung von Getreide in der Landwirtschaft, die eine Erhöhung des „amorphen Silikats“ durch gezielte Düngung vorschlagen. Amorphes Silikat ist ein Sammelbegriff für unterschiedliche Verbindungen, deren Hauptbestandteil aber stets Silizium ist. So hat „eine in der Fachzeitschrift “Science of the Total Environment“ erschienen Studie unter Leitung des Leibniz-Zentrums für Agrarlandschaftsforschung (ZALF)“ den Effekt einer“ Silizium-Düngung auf Weizenerträge untersucht“ bei „einem Feldversuch auf Grenzertragsböden in Brandenburg“ wurde der Boden mit 1% Silizium gedüngt. Es stellte sich heraus, dass der „Ertrag im Vergleich zur

konventionell bewirtschafteten Fläche um“ 80% stieg, die so gedüngten Pflanzen eindeutig mehr Biomasse ausbildeten. Ein anderer Effekt war eine verbesserte „Bindung von Kohlenstoff im Boden, sowie die Verfügbarkeit von Wasser“ und Nährstoffen. Diese Erkenntnisse scheinen besonders hinsichtlich des Klimawandels und zunehmender Dürreperioden wichtig zu sein. „Insbesondere die Fähigkeit zur Wasserspeicherung kann neue Potentiale eröffnen: wie ein Schwamm zieht amorphes Silikat Wassermoleküle an, die sich in einer Gelhülle um den Silikatkern anlagern.“ 1 % mehr Silikat in den 20cm der oberen Bodenschicht zöge nach Dr. Jörg Schaller eine 40 % verbesserte Wasserverfügbarkeit nach sich. (ZALF -Studie, 2023)

2.3 Extraktionsmethoden zur Bestimmung von Phytolithen

„Die Extraktion bzw. Isolierung von Phytolithen aus ihrer starren pflanzlichen Matrix“ kann mit Hilfe drei verschiedener Methoden geschehen. Der Wasser-Siede-Aufschluss, die „Veraschung“ und „feuchte Oxidation“ (Bowdery 1989; Piperno 2006; Runge 2000, zit. n. Braune 2014: 32)

2.3.1 Wasser-Siede- Aufschluss

Der Wasser-Siede-Aufschluss gilt als die geeignete Methode um Phytolithen zu untersuchen und findet ohne hohe Temperaturen und Chemikalien statt. Die Extraktionsmethode arbeitet bei 100°C, dem Siedepunkt von Wasser. Der Vorteil hier besteht darin, dass die molekularen Strukturen der Phytolithen vor der Austrocknung bewahrt werden, da sie ununterbrochen in wässriger Lösung gehalten werden. So bleiben die molekularen Strukturen der Phytolithen stabil und können im Einzelnen besser betrachtet werden. (Braune 2014: 31- 44)

2.3.2 Feuchte Oxidation

Bei der feuchten Oxidation „wird die zu extrahierende Probe in einem ca. 5-stündigen Säurebad angesetzt.“ (Bowdery 1989; Piperno 2006; Runge 2000; Jones und Milne 1963, zit. n. Braune 2014: 31) Es kommen „konzentrierte Mineralsäuren, meist in Kombination, zum Einsatz“ (Braune 2014: 32) Die Phytolithe soll so von ihrem pflanzlichen Gewebe befreit werden. „Sehr bekannt ist z.B. die „Schulze Lösung“, bestehend aus konzentrierter Salpetersäure.

Kaliumchlorat und Natriumchlorat, die in einem Wasserbad bei 95°C für 2-4 h die organische Substanz verdauen soll“ (Runge 2000, zit. n. Braune 2014: 32). Ist die Verdauung unvollständig, „kann noch mit konzentrierter Schwefelsäure und konzentrierter Salpetersäure nachgeholfen werden.“ (Runge 2000, zit. n. Braune 2014: 32), Nach diesem Schritt wird die Probe in 10%iger Salzsäure gewaschen um potentiell vorhandene Calcium-Verbindungen zu lösen.“ (Braune 2014: 32). Oft reicht diese Methode dennoch nicht ganz aus und es kommt anschließend doch noch zu einer Veraschung in einem Muffelofen. (Piperno 2006, zit. n. Braune 2014: 32)

2.3.3 Veraschung

Bei der Veraschung liegt die Methode zu Grunde, dass der organische Teil der Pflanze, z.B. Blatt, verbrannt wird und der zurückgebliebene anorganische Anteil analysiert wird. Nach der Veraschung können mit geeigneten Lösungsmitteln „organische Füll- und Verstärkungsstoffe selektiert werden“. (Polymer Service GmbH Merseburg, 2025)

Für die Veraschung werden die Pflanzenproben verkleinert in Porzellantiegeln gelegt und dann mit Hilfe eines Muffelofens, der maximal auf 500°C erhitzt wird, verascht

Kritikpunkt an der Veraschungsmethode ist die Vermutung, dass die Materialeigenschaften von Phytolithen verändert werden könnten und die Phytolithen härter werden lässt. (Runge 2000, zit. n. Braune 2014: 43).

3 Theoriebezüge, Stand der Forschung

Die Erforschung und Untersuchung von Phytolithen ist ein Bereich, der noch relativ jung ist und die Literatur darüber ist nicht sehr umfangreich. Dennoch wird den Phytolithen immer mehr Aufmerksamkeit geschenkt, sie rücken zunehmend mehr in den Mittelpunkt des Interesses. Über Untersuchungen von Phytolithen in Blättern, Nadeln und Fliegern von Bäumen, gibt es wenig Literatur. Zsuszka Lisztes-Szabó et al. erwähnen einige Studien über Spezies, die in europäischen

Bergregionen wachsen, wie z.B. im Caucasus (Blinnikov, 1994), oder in den Alpen (Carnelli et al., 2004) oder in Ost Frankreich (Bremond et al., 2004).

Die häufigsten Untersuchungen bisher wurden an Getreidearten aus Interesse über archäologische und paläoökologische Zusammenhänge unternommen. So sind z.B. in Archäosedimenten "häufig vitrifizierte Bestandteile nachweisbar, die als teilverschmolzene Phytolithe (amorphes SiO₂) gedeutet werden."

(Fritsch/Langan/Röpke 2019: 165)

3.1 Brennexperimente an Getreide zur Interpretation von erhitzten archäologischen Sedimenten.

Da im Labor der Hochschule Neubrandenburg ein Muffelofen zum Einsatz kommt und die Veraschungstemperatur bei 420°C liegt, scheint es interessant zu sein die Experimente von Dagmar Fritsch, Carolin Langan und Astrid Röpke zu betrachten. Die drei haben 2019 mit ihren Untersuchungen versucht herauszufinden wie sich Phytolithen unterschiedlicher Pflanzenteile von, „Blatt, Spelze und Stängel von Saatweizen (*Triticum aestivum*)“, (Fritsch/ Langan/ Röpke 2019:165) bei unterschiedlicher Hitze einwirkung verändern. Ziel war es einen Interpretationsansatz zu finden, der Rückschlüsse auf ehemalige frühzeitliche abgebrannte Siedlungen und deren teilverschmolzenen Bestandteilen in Archäosedimenten zulässt. Sie wollten den Gebrauch von Stroh als Baumaterial oder bei „Produktionsprozessen unter hoher Hitze einwirkung, wie z.B in Schmieden, bei der Metallverarbeitung oder an Feuerstellen, analysieren und nachweisen.

So wurden im Rahmen der Untersuchung „die am häufigsten in antiken Siedlungen vorkommende Poaceae, nämlich Getreide (Weizen, Hafer, Gerste) auf 250, 450, 600 und 800°C unter oxidativen und reduktiven Bedingungen erhitzt. Dabei wurden die Pflanzenteile Stängel, Blatt und Spelze separiert und getrennt voneinander verbrannt, mit dem Ziel herauszufinden, ob es Unterschiede im Brennverhalten gibt“

Als Ergebnis dieser Studie kam heraus, „dass Phytolithe weitaus weniger hitzebeständig sind als bisher in der Literatur angenommen, und dass zudem die Phytolithbestandteile in Blatt, Spelze und Stängel von Weizen sehr

unterschiedlich auf Hitze reagieren. Die Stängel werden schon bei niedrigen Temperaturen vitrifiziert und daher ist anzunehmen, dass der Anteil an Stroh im archäologischen Kontext unterrepräsentiert ist“. (Fritsch/Langan/Röpke 2019: 165)

Der interessante Verbrennungsbereich 450°C und 600°C, haben bei diesem Versuch als auch schon bei anderen Untersuchungen ergeben, dass sich ab 500°C Phytolithen verändern, (Runge 2000), aber erst bei 800°C kommt es zu einer Vitrifizierung. (Kaczorek u.a.2010). Fritsch, Langan und Röpke stellen bei Ihrer Untersuchung fest, dass die kritische Temperatur für Stängel bei 600°C liegt, bei Spelzen und Blättern erst bei 800°C. (Fritsch/ Langan/ Röpke 2019:171)

3.2 Untersuchung von Phytolithen sechs wichtiger, in den Karpaten ansässiger Baumarten.

Die Studie von Zsuszka Lisztes-Szabó et al., 2018, hebt die taxonomische Bedeutung der Phytolithen hervor. Sie sind sozusagen ein Fingerabdruck einer eventuell längst vergangenen Vegetation in einem gewissen Gebiet.

Vergleichende Studien von Phytolithen haben das Ziel Morphotypen von Phytolithen zu identifizieren mit einer taxonomischen Relevanz. Innerhalb der Studie wurden Phytolithen von sechs, in den Karpaten ansässigen Baumarten untersucht, die aus der Sicht der Palaeoecologie besonders wichtig sind für die Zeit des frühen „Holozän“. Untersucht wurden seitens der Laubbäume: die gemeine Haselnuss, *Corylus avellana*, die Rotbuche, *Fagus sylvatica* und die Stieleiche, *Quercus robur*. Die untersuchten Nadelbäume waren: die Weiß-Tanne, *Abies alba*, die Fichte, *Picea abies* und die Wald-Kiefer *Pinus sylvestris*.

In dem Artikel von Lisztes-Szabó et al. wird kurz erwähnt, dass auch Untersuchungen über die chemische Zusammensetzung von Phytolithen interessant sein könnten, um herauszufinden wie die ursprüngliche Bodenbeschaffenheit war. So wird auch festgestellt, dass sich bei der chemischen Zusammensetzung von Phytolithen auch Aluminium finden lässt. Die Konzentration von Aluminium bei Nadelbäumen sei dabei wesentlich höher als bei Laubbäumen und eventuell der Grund für einer erhöhten

Widerstandsfähigkeit ständig wechselnder Wettereinflüsse gegenüber. (Liszes-Szabó, 2018: 650, n. Piperno 1988; Hodson; Sangster 1998).

Weitere Ergebnisse der Studie bestanden darin, dass festgestellt wurde: Laubbäume enthielten mehr biogene Kieselerde in ihren Blättern als die Nadelbäume. Da die Proben alle aus der gleichen Gegend stammten, wurde darauf geschlossen, dass in den Blättern von Laubbäumen grundsätzlich gesehen mehr biogene Kieselerde abgelagert wird als in den Nadeln der Nadelbäume. Besonders hoch war die Konzentration in den Blättern der Stieleiche, *Quercus robur*. Bei den untersuchten Nadelbäumen fand sich bei der Fichte, *Picea abies*, die höchste Konzentration.

Als Besonderheit bei den untersuchten Phytolithen der Fichte, *Picea abies* wurden blockige, kastenartige Formen der Phytolithen entdeckt.

4 Auswahl der Methode und Verfahrensbeschreibung

4.1 Standort der Untersuchung, Mecklenburg-Vorpommern

4.1.1 Klima in Mecklenburg-Vorpommern

Mecklenburg-Vorpommern liegt in der außertropischen Westwindzone und zeichnet sich durch ein ganzjährig mild-gemäßigtes Klima aus, mit einer Vegetationsperiode von 180 bis 230 Tagen. Die Jahresmitteltemperatur der Luft in Mecklenburg-Vorpommern beträgt zwischen 6°C bis 10°C im Jahr.

(Feeser/ Dörfler/ Rösch/ Jahns/ Wolters/Bittman 2025: 8)

Mecklenburg-Vorpommern gehört zu einer der kühleren Regionen in Deutschland. Es regnet häufig im Jahr, auch wenn es ein paar schöne sonnige Tage im Sommer gibt. Die Regentage sind über das Jahr ziemlich regelmäßig verteilt. Die meisten Regentage gibt es im Januar, Juli, August und Dezember, mit durchschnittlich 11 Tagen, die wenigsten im April mit 8 Tagen. Die Niederschlagsmenge ist im Juli am höchsten mit 2,25mm/Tag und am niedrigsten im April mit 1,0mm/Tag. Es herrscht über das Jahr eine durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit von 76%.

Im Juli haben wir tagsüber die höchste Durchschnittstemperatur von 25 °C und nachts kühlt es runter auf. Die niedrigste durchschnittliche Temperatur ist im Dezember und Januar. Tagsüber kann es 5 °C haben, nachts gibt es Temperaturen um den Gefrierpunkt.

Der Mai und Juni sind die sonnenreichsten Monate, mit einem Durchschnitt von 9 Stunden pro Tag. (Laenderdaten.info, 2025)

4.1.2 Bodenzusammensetzung, Mecklenburg-Vorpommern

An dieser Stelle ganz kurz auf die Bodenzusammensetzung der Umgebung geschaut

Die wichtigste Periode der Bodenbildung in Mecklenburg-Vorpommern entstand während des Pleistozäns und Holozäns. (Seitz 2017: 28)

Der Ausgangsgestein der Bodenbildung in Mecklenburg-Vorpommern besteht hauptsächlich aus Sand und mächtigen sandigen Deckschichten, aus Geschiebemergel/ -lehme im Wechsel mit geringmächtigen Deckschichten und Hoch- und Niedermooren.

(Feeser/ Dörfler/ Rösch/ Jahns/ Wolters/Bittman 2025: 5)

Die Bodenkonsistenz des Bodens in Mecklenburg-Vorpommern besteht hauptsächlich aus Podsole, Gleye und ihre Übergänge aus Braunerden, aus Braunerden, Parabraunerden und Pseudogleye, aus Fahlerden und Bänderparabraunerden. Hoch- /Niedermoores und Moorgley befinden sich entlang der Seen und Flüsse. (Feeser/ Dörfler/ Rösch/ Jahns/ Wolters/Bittman 2025: 10-11)

Die Bodenregion von Mecklenburg-Vorpommern kennzeichnet Wattböden und Marschböden, auf Küstensanden auch Podsol-Regosole. Moore sind überregional verbreitet und je nach Wasserangebot durch Niedermoorböden und Hochmoorböden geprägt. (Feeser/ Dörfler/ Rösch/ Jahns/ Wolters/Bittman 2025: 9)

4.2 Methode

4.2.1 Veraschung im Muffelofen bei 420°C

Um die Phytolithen aus ihrem organischen Verbund zu extrahieren wurde die Veraschungsmethode im Labor der Hochschule Neubrandenburg durchgeführt. Die Blätter, ihre Samen und die Baumnadeln jeder Baumart, wurden fein säuberlich voneinander separiert verascht, um die Phytolithen später genau zuordnen zu können. Zuerst wurde das organische Material getrocknet, mit Hilfe einer Schere zerkleinert und in Porzellanschüsseln gelegt. Die Porzellanschüsseln wurden bis zur Hälfte aufgefüllt. Anschließend wurden mehrere Schüsseln mit den Proben in einen Muffelofen bei 420°C verascht. Die Veraschung dauerte mindestens 8 Stunden. Insgesamt fanden 9 Veraschungsvorgänge statt.

4.2.2 Reinigung der Proben

Am jeweils darauffolgenden Tag wurden die abgekühlten Schüsseln aus dem Ofen genommen. Die veraschten Proben hatten eine gräuliche Farbe.

Wenn einige der Proben eine gewisse Anzahl an verbrannten und verkohlten Überresten enthielten, dann wurden diese durch „Wasserstoffperoxid“ aufgelöst. Die Auflösung der verbrannten Teile ist ein langer Prozess und kann bis zu zwei Tage dauern. Bei den Laubbäumen kam es selten zu verbrannten Teilen, es kam häufiger bei den Nadelbäumen vor.

Anschließend waren am Ende nur vierzig Proben dafür geeignet, weiter untersucht werden zu können.

Nach der Reinigung mit Hilfe von Wasserstoffperoxid, wurde zu den Proben, welche sich noch in den Porzellanschüsseln befanden, Dispersionslösung hinzugefügt.

Dieser Prozess dauerte zwischen 15 bis 20 Minuten.

Die Dispersionslösung sorgt dafür, dass ein Stoff möglichst fein in einem anderen Stoff verteilt wird.

Danach wurden die Proben, die mit der Dispersionslösung vermischt worden waren, mithilfe eines Trichters und einer Pipette in Reagenzgläser gefüllt.

Diese Reagenzgläser wurden bis zu einer Menge von 10 ml aufgefüllt.

Anschließend kam ein Ultraschallreiniger zum Einsatz. Der Ultraschallreiniger dient zur Reinigung von kleinen, feinstrukturierten Bauteilen. Das Gerät besteht aus einer mit Wasser gefüllten, beheizbaren Wanne, welches mehrere

Ultraschallwandler besitzt und einen Generator, der den Wandler zum Antreiben bringt.

Das Wasser im Ultraschallreiniger wurde erst einmal auf 40°C erhitzt, das dauerte etwa 30 Minuten, anschließend wurden die Reagenzgläser in den Ultraschallreiniger platziert und ein „Ultraschallbad“ bei einer Temperatur von 40°C insgesamt 15 Minuten lang durchgeführt. Manchmal mussten die Gläser während des Ultraschallbads herausgenommen werden und mehrmals geschüttelt werden, damit es nicht zu einer Verklebung der Proben innerhalb der Reagenzgläser kam.

Nach diesem Prozess wurden die Proben in eine „Zentrifuge“ platziert. Bei der Zentrifuge die bei den Experimenten zum Einsatz kam, handelt es sich um eine XC-450 Premiere. Die Zentrifuge ist ein Gerät welches dazu dienen soll, verschiedenste Stoffe, basierend auf ihre Dichte zu trennen. Damit das Gerät nicht beschädigt wird, müssen sich mindestens zwei, oder vier Reagenzgläser in der Zentrifuge befinden. Wenn es nur zwei sind, dann müssen sie quer zu einander stehen. Das Gerät rotiert mit einer sehr hohen Geschwindigkeit und trennt dadurch die Flüssigkeit von den Feststoffen. Die hohe Zentrifugalkraft sorgt dafür, dass die schwereren Partikel nach unten sinken und die transparente Flüssigkeit verbleibt oben. Die Reagenzgläser mussten mehrmals zentrifugiert werden, um das gewünschte Ergebnis zu erreichen. Manchmal war das Ergebnis schon nach zwei Durchgängen erreicht, manche Proben mussten bis zu sieben Mal in die Zentrifuge. Wenn nach einem Durchgang sich oben kein transparentes Wasser befand, musste mithilfe einer Pipette, die schmutzige Flüssigkeit entfernt werden und wieder bis zu der Marke 10 ml mit „destillierten Wasser“ aufgefüllt werden. Danach wurde die Probe wieder in die Zentrifuge hineingestellt.

Destilliertes Wasser ist ein extrem reines Wasser welches als Reinigungsmittel benutzt wird und der Reinigung von Oberflächen dient. Es soll in diesem Experiment dazu beitragen, die trübe Flüssigkeit zu ersetzen.

Dies wurde solange wiederholt, bis sich nur noch ein ganz konzentrierter kleiner Bodensatz am Boden des Reagenzglases befand und die ganze Flüssigkeit völlig transparent geworden war.

Am Ende wurden die Proben bei einer Tiefe von 5 ml ausgeleert und bis 10 ml wieder mit „Trinkalkohol Unvergällt“ aufgefüllt, um die Probe zu konservieren.

Der Bodensatz wurde dann am Ende untersucht.

4.2.3 Mikroskopische Untersuchung

Für die mikroskopische Untersuchung wurde ein kleiner Teil der Probe mithilfe einer „manuellen Einkanalpipette“ aufgenommen und auf einem Objektträger platziert.

Jetzt musste abgewartet werden, bis der kleine flüssige Restanteil verdunstet war. Anschließend wurde mit einer zweiten manuellen Einkanalpipette eine kleine Probe von einem Produkt namens „Permout Mounting“ extrahiert und auf dem jetzt getrockneten Probenteil draufgegeben. Sofort danach wird ein Deckgläschen auf die Probe, welche sich mit dem Permout Mounting vermischt hat, draufgelegt. Das Deckblatt muss dann so präzise platziert sein, dass keine Bläschen die Ansicht der Probe beeinträchtigen

Das Permout Mounting ist ein synthetisches Eindeckmedium auf Toluolbasis, welches zum schnellen Eindecken dient und für die Langzeitlagerung von den Proben geeignet ist. Es sorgt dafür, dass die Proben immobil sind.

Als Sicherheitsvorkehrung muss beachtet werden, dass das Permout Mounting ein ziemlich giftiges Produkt ist und zu Hautirritationen führen kann. Deswegen ist es notwendig Gummihandschuhe und Schutzbrille zu tragen

Anschließend mussten die Proben nach ein paar Stunden austrocknen, bis sie bereit waren mikroskopiert zu werden.

Bei dem Mikroskop, welches bei dieser Untersuchung benutzt wurde, handelt es sich um eine NIKON und das Objektiv welches zur Untersuchung der Phytolithen diente hat eine Größe von „Plan Fluor“ 40X/0.75. Dies ist die ideale Größe um die Phytolithen zu betrachten.

Eine Nikon Kamera ist mit dem Mikroskop verbunden und ermöglicht so eine Verbindung zum Computer. Das Programm welches die Photographien und die Messung der Länge und Breite der verschiedensten Phytolithen ermöglicht, heißt „NIS-Elements D.“

Eingesetztes Material für die Veraschung, Reinigung der Proben und der mikroskopischen Untersuchung von Phytolithen.



a)



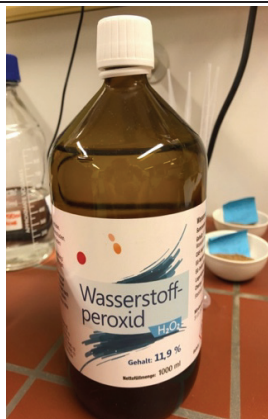
b)



c)



d)



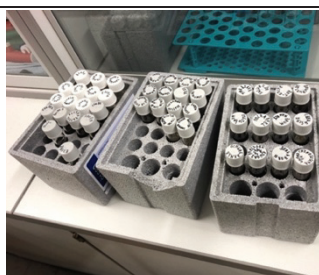
e)



f)



g)



h)



i)



j)



k)



l)



m)



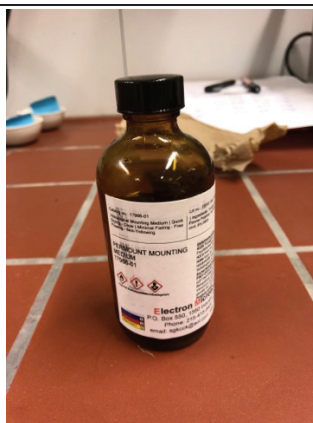
n)



o)



p)



q)



r)

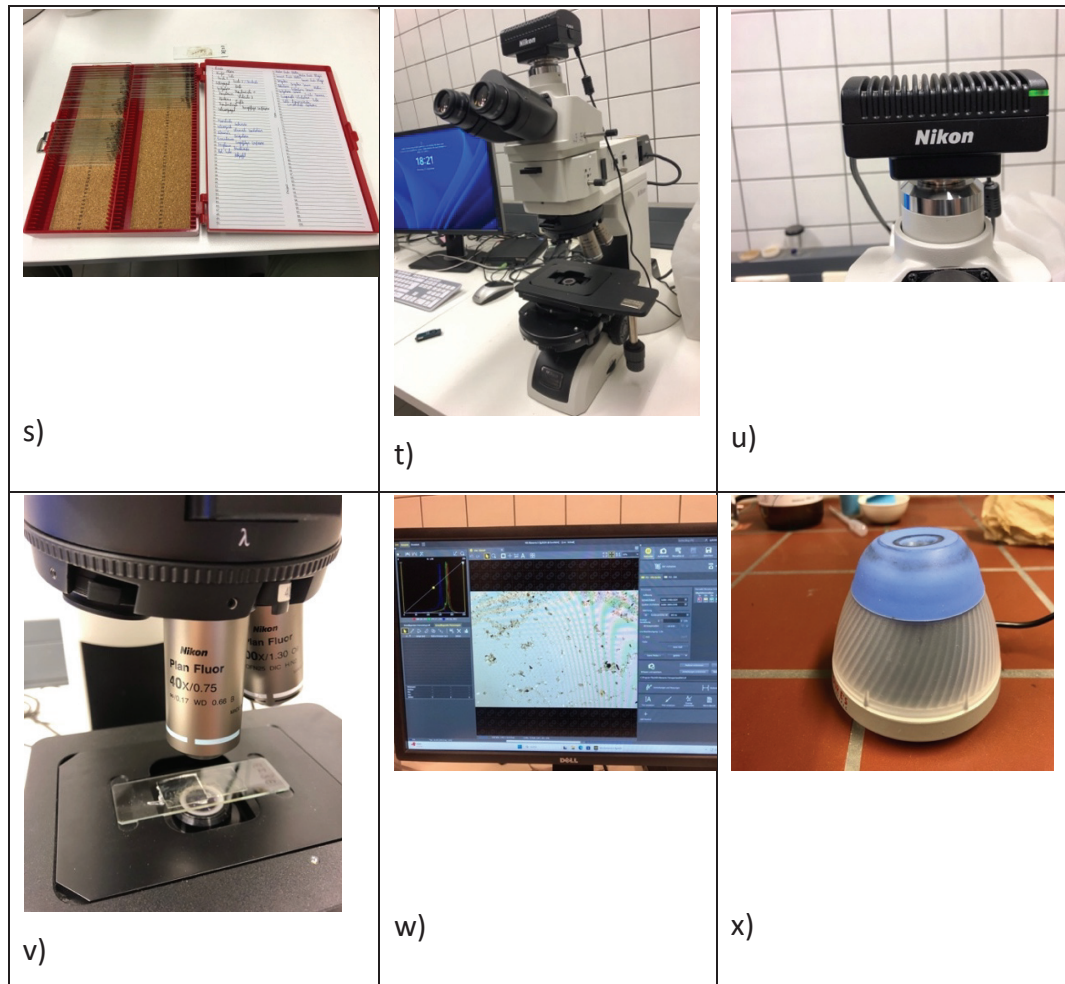


Abb 1: Eingesetztes Material, für die Veraschung, Reinigung der Proben und der mikroskopischen Untersuchung von Phytolithen (Quelle, eigene Fotos).

a) Blätter in getrennten Plastiktüten gesammelt, b) Trocknung der Blätter, c) Porzellanschälchen, d) Kleingeschnittene Proben, e) Wasserstoffperoxid, f) Dibrommethan g) Sandbad 510X360mm h) Sammlung von Reagenzgläsern mit Proben i) Reagenzglas j) Ultraschallreiniger k) Zentrifuge l) Destilliertes Wasser m) Becher Glas und Trichter n) Pipette o) Trinkalkohol unvergällt p) manuelle Einkanalpipette q) Permount Mounting r) Zwei manuelle Einkanalpipetten s) Proben Sammlung t) NIKON Mikroskop u) NIKON Mikroskop-Kamera v) Mikroskopische Größe „Plan Fluor“ 40X/0.75. w) Computer Programm „NIS-Elements D.“ x) Vortex-Schüttler Lab Dancer

5 Bei Bäumen vorkommende Formtypen von Phytolithen

Analysiert wurden die Blätter und einige ihrer Früchte von insgesamt 31 Bäume, 27 Laubbäume und 4 Nadelbäume. Entnommen wurde das organische Material an verschiedenen natürlichen Standorten, entweder direkt vom Baum oder das herabgefallene Laub unter den jeweiligen Bäumen wurde aufgesammelt. Im Anhang befindet sich eine Tabelle aller Bäume, die in dieser Studie analysiert wurden.

Auflistung aller Bäume, die für diese Bachelorarbeit untersucht wurden

Deutscher Name	Lateinischer Name	Deutscher Name	Lateinischer Name
Gemeine Hasel	Corylus Avellana	Bergahorn	Acer Pseudoplatanus
Bergulme	Ulmus glabra	Weiß-Birke	Betula pendula
Holz-Birne	Pyrus pyraeaster	Bruchweide	Salix fragilis
Echte Trauerweide	Salix babylonica	Eibe	Taxus baccata
Trauben-Eiche	Quercus petraea	Eingriffeliger- Weißdorn	Crataegus monogyna
Essigbaum	Rhus typhina	Europäische stechalme	Ilex aquifolium
Feldahorn	Acer campestre	Fichte	Picea abies
Gemeine Buche	Fagus Sylvatica	Hainbuche	Carpinus betulus
Holzapfel	Malus sylvestris	Kiefer	Pinus nigra
Rot-Eiche	Quercus rubra	Salweide	Salix caprea
Schwarzerle	Alnus glutinosa	Schwarzpappel	Populus nigra
Sommerlinde	Tilia platyphyllos	Spitzahorn	Acer platanoides
Stieleiche	Quercus robur	Moorbirke	Betula pubescens
Weißesche	Fraxinus americana	Winterlinde	Tilia cordata
Zitterpappel	Populus tremula	Zweiggriffiger- weißdorn	Crataegus laevigata
Chinesischer Wacholder		Juniperus chinensis	

Abb 2: Auflistung aller Bäume, die für die Bachelorarbeit untersucht wurden

Zur genaueren Betrachtung innerhalb dieser Arbeit, wurden folgende Bäume ausgewählt:

Laubbäume: Bergulme, Feldahorn, Spitzahorn, Bergahorn, Sommerlinde, Winterlinde, Gemeine Hasel, Gemeine Buche, Hainbuche, Stieleiche,

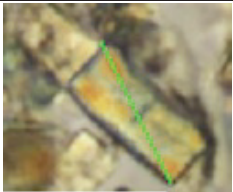
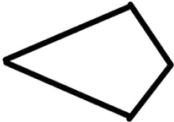
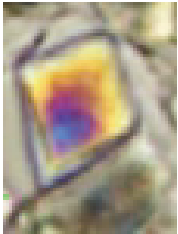
Traubeneiche, Holz-Birne, Holzapfel, Schwarzerle, Moorbirke, Zitterpappel, Schwarzpappel

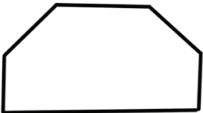
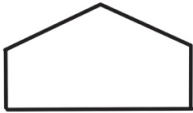
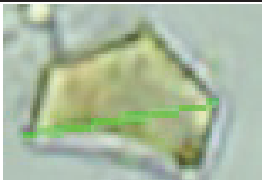
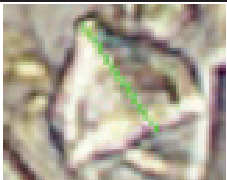
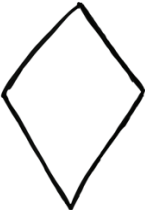
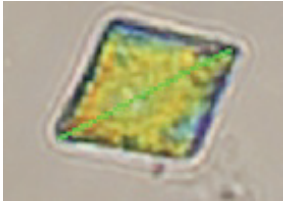
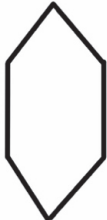
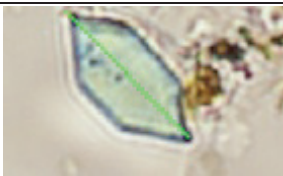
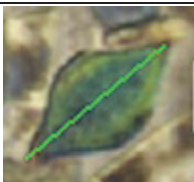
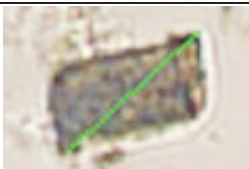
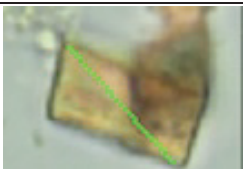
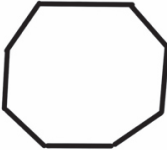
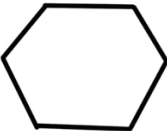
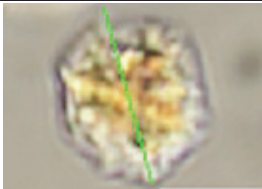
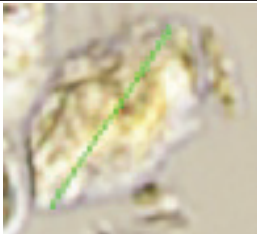
Nadelbäume: Eibe, Fichte, Kiefer, Chinesische Wacholder

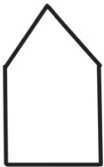
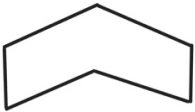
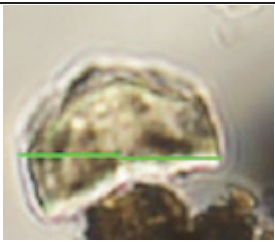
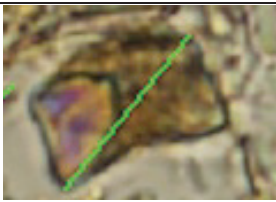
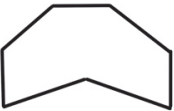
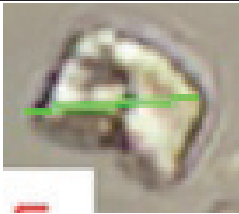
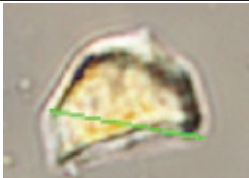
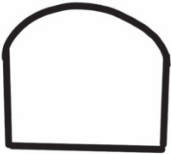
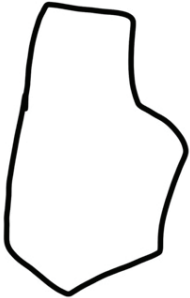
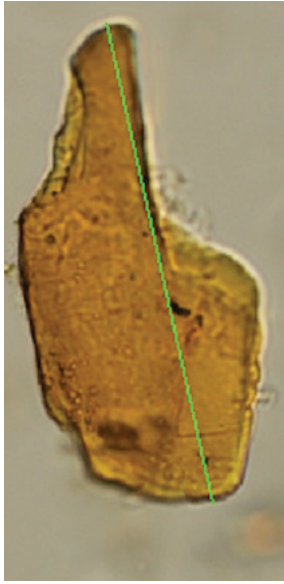
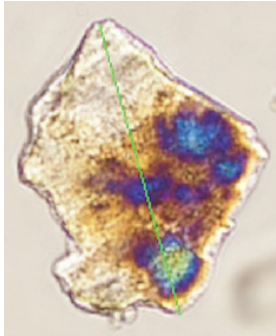
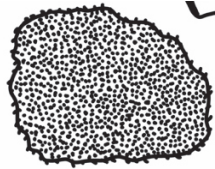
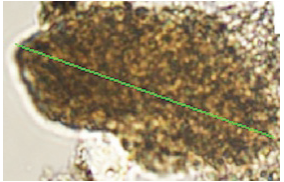
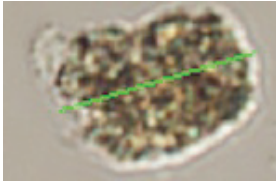
Unterschiedliche Formtypen von Phytolithen:

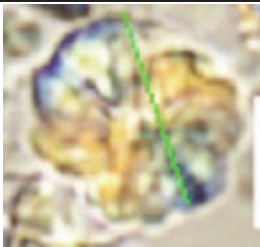
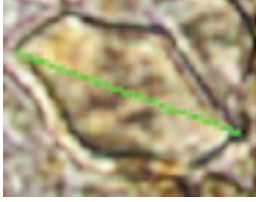
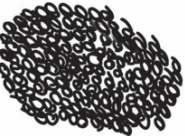
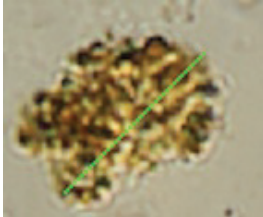
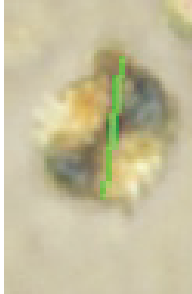
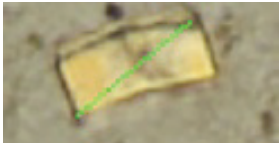
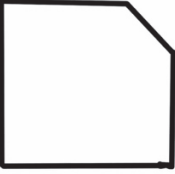
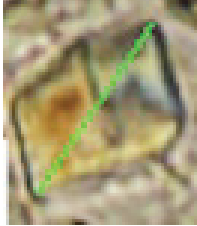
Bezeichnungen aus der Literatur sind in schwarz geschrieben

Eigene erfundene Namen sind in blau geschrieben

Phytolithen Bezeichnung	Zeichnung	Bild	Bild
Rechteck			
Quadrat			
Drache			
Dreieck			
Spitzwinkliges Dreieck			

Trapez regulär			
Trapez irregulär			
Raute/ Diamant regulär			
Raute/ Diamant irregulär			 
Parallelogram m			
Octagon			
Hexagon			

Haus			
Kite regulär			
Kite irregulär			
Brücke			
Polyhedral			
Sand			

Plicate			
Hexagon irregulär			
Cylindrical			
Nodular			
Muschel			
Flaches Haus			
Quadrat irregulär			

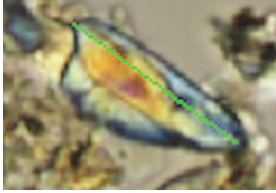
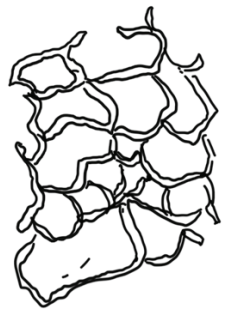
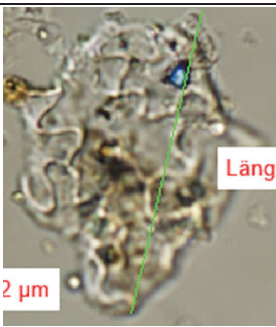
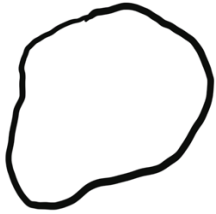
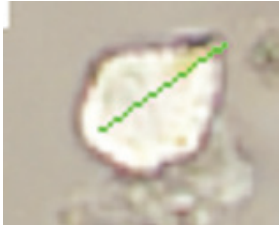
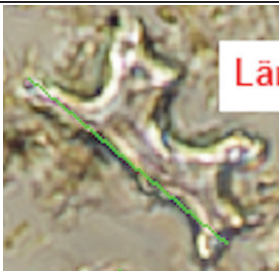
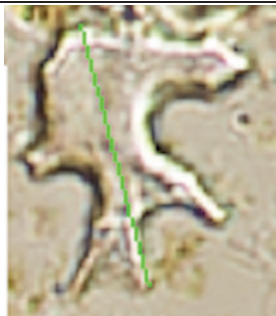
Parallelo- gramm irregulär			
Speer			
Isodiametric epidermal cells			
Fleck			
Stomata			
Ingwer			

Abb 3: Am häufigsten vorkommende Typen von Phytolithen bei Laubbäumen (Quelle, eigene Erhebung)

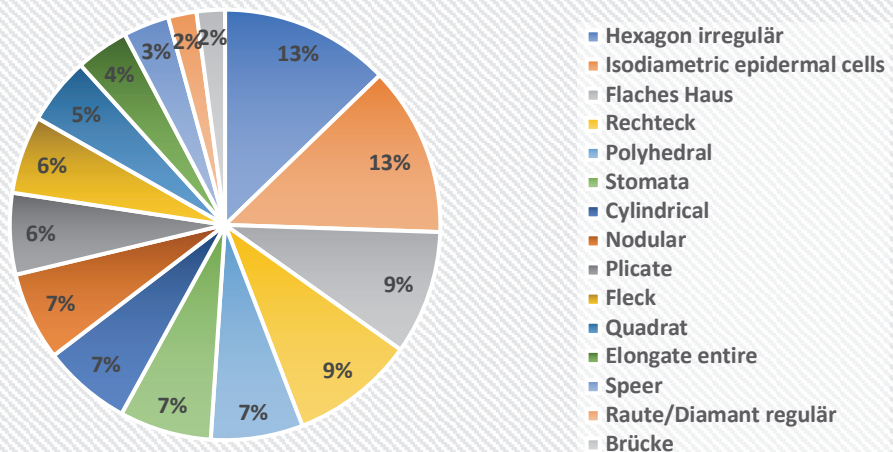
5.1. Laubbäume

Bergulme: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

BERGULME	Deutscher Name: Bergulme Lateinische Bezeichnung: <i>Ulmus glabra</i> Familie: Ulmengewächse (Ulmaceae), Gattung: Ulmus, Art: Glabra, Herkunft: einheimisch, Vorkommen: in Mitteleuropa vom norddeutschen Flachland bis zu den Alpen in Höhe von 1300m, Standort: bevorzugt, sonnig- bis halbschattig, kühle, Luftfeuchte, feuchte Standorte, verträgt nicht länger Hitze- und Trockenperioden. Blätter: Blattbasis stark asymmetrisch, schlanke aufgesetzte Spitze, oftmals dreizipflig, Länge bis zu 16 cm, breit eiförmig, Laubaustrieb: Mai, Blüte: Ab März, vor dem Laubaustrieb, Besonderheiten: Höhe bis zu 40m, kurzer Hauptstamm, Krone rundlich, Alter: bis zu 400 Jahre. (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 47,67µm Polyhedral Länge: 22,76µm Plicate Länge: 21,92µm Polyhedral Länge: 19,40µm Plicate Länge: 14,40µm Plicate	 Micrograph showing various phytoliths of Bergulme. Labels indicate measurements: 14,40 µm, 20,27 µm, 22,76 µm, 21,92 µm, 47,67 µm, and 19,40 µm. The phytoliths exhibit polyhedral and plicate (wavy) shapes.
Länge: 77,78µm Isodiametric epidermal cells Länge: 29,48µm Isodiametric epidermal cells Länge: 22,08µm Nodular Länge: 18,58µm Flaches Haus Länge: 13,99µm	 Micrograph showing various phytoliths of Bergulme. Labels indicate measurements: 13,99 µm, 29,48 µm, 77,78 µm, 22,08 µm, 18,58 µm, and 8,04 µm. The phytoliths exhibit isodiametric, nodular, and flat house shapes.

Elongate	
Länge: 103,86µm Isodiametric epidermal cells Länge: 45,67µm Cylindrical Länge: 30,21µm Cylindrical Länge: 20,19µm Cylindrical Länge: 16,40µm Elongate	
Länge: 63,42µm Polyhedral Länge: 49,76µm Polyhedral Länge: 27,54µm Speer Länge: 25,52µm Parallelogramm Länge: 17,25µm Quadrat	
Länge: 50,80µm Isodiametric epidermal cells Länge: 40,91µm Isodiametric epidermal cells Länge: 23,38µm Stomata Länge: 14,20µm Isodiametric epidermal cells Länge: 11,77µm Isodiametric epidermal cells	

Bergulme, Häufigkeit der identifizierbaren Phytolithen, Auswertung von 100 Fotos



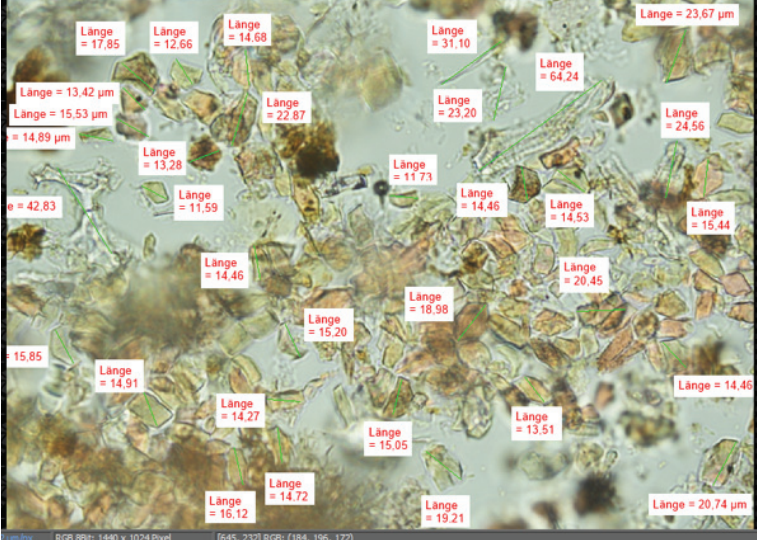
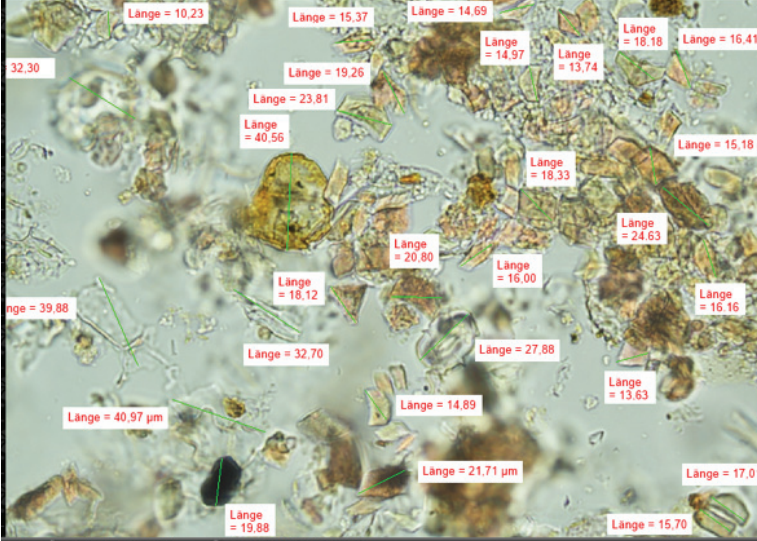
Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Hexagon irregulär	48	13%
Isodiametric epidermal cells	48	13%
Flaches Haus	35	9%
Rechteck	35	9%
Polyhedral	26	7%
Stomata	26	7%
Cylindrical	25	7%
Nodular	25	7%
Plicate	23	6%
Fleck	22	6%
Quadrat	19	5%
Elongate entire	15	4%
Speer	13	3%
Raute/Diamant regulär	8	2%
Brücke	8	2%
Gesamtergebnis	376	100%

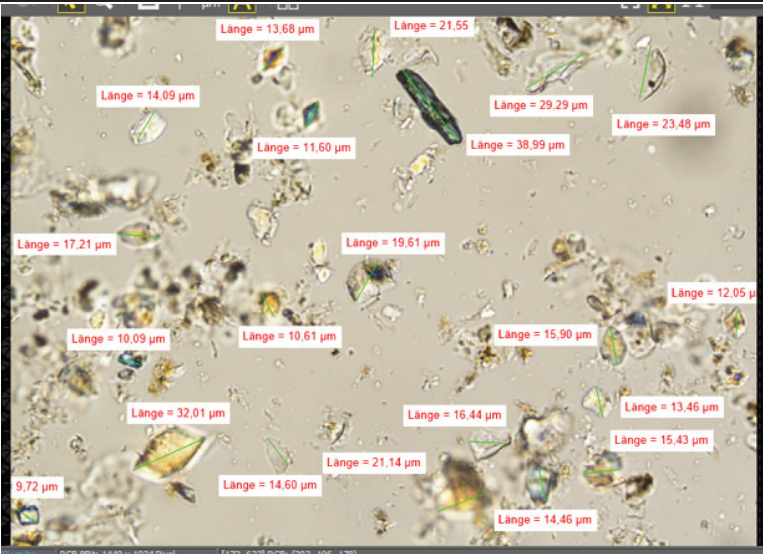
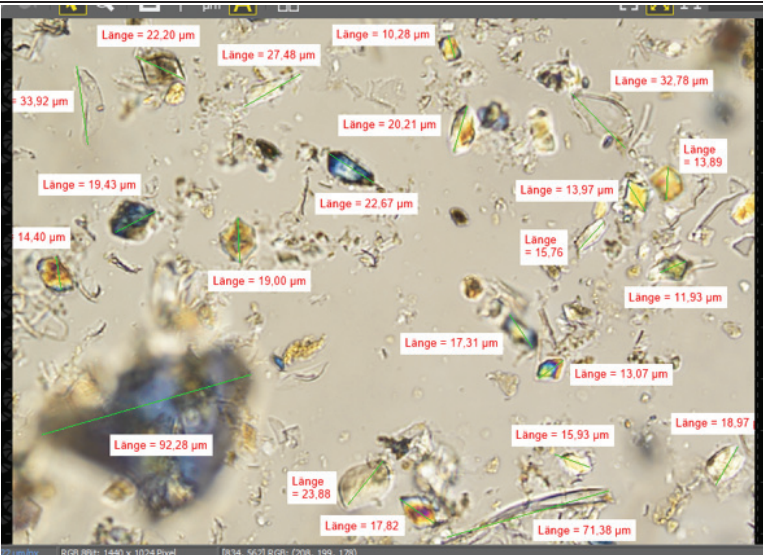
Abb 4: Bergulme: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Ulmus_glabra/

Bergulme:

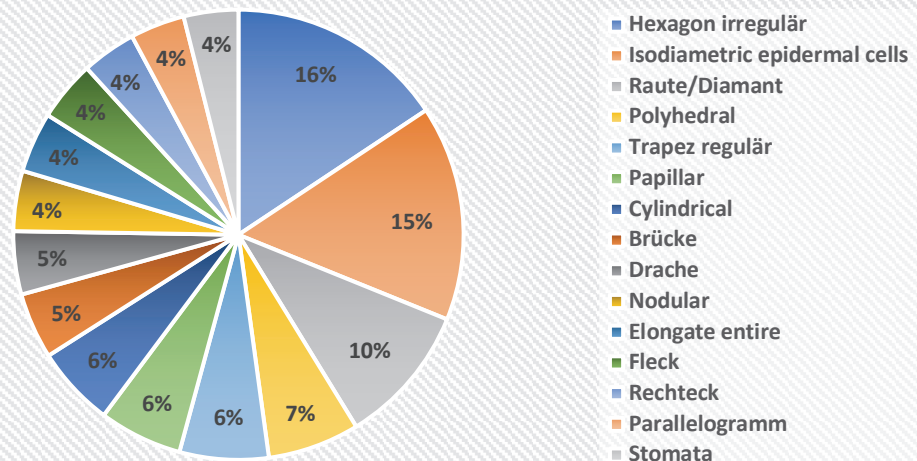
- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Polyhedral, Rechteck, Hexagon irregulär, Flaches Haus und die Isodiametric epidermal cells.
- Größenverhältnisse: Polyhedrale und Isodiametric epidermal cells gehören zu den größten Phytolithen die zu finden sind. Die Isodiametric epidermal cells haben eine Länge von 50 μm bis 103 μm , während die Polyhedralen Phytolithen eine Länge von 40 μm bis 50 μm erreichen.
- Farbigkeit: Polyhedrale Phytolithen sind häufig braun/orange, selten kommen sie in blau vor, während die Isodiametric epidermal cells eine transparente Farbe haben.

Feldahorn: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

FELDAHORN	Deutscher Name: Feldahorn Lateinischer Name: <i>Acer campestre</i> Familie: Seifenbaumgewächse (Sapindaceae), Gattung: Acer, Art: Campestre, Herkunft: einheimisch, Vorkommen: Europa bis Nordiran. In Mitteleuropa vom Tiefland bis in Gebirgslage von 800m Höhe. Standorte: bevorzugt warm, sonnig, nährstoffreich, kalkhaltig Blätter: bis zur Spreitenmitte durch tiefe Buchten in 5 Lappen geteilt, Laubaustrieb: im April bis Mai, Blüte: gleichzeitig mit Laubaustrieb Besonderheiten: hohe Toleranz gegenüber Umweltbelastungen, Trockenheit, windverträglich. In der Regel ein Strauch, unter günstigen Bedingungen entsteht ein Baum von 15-20m Höhe, Alter: bis zu 200 Jahre. (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 17,85 µm Kite regulär Länge: 14,46 µm Trapez regulär Länge: 14,53 µm Kite irregulär Länge: 64,24 µm Helical Länge: 14,91 µm Parallelogramm	 This micrograph displays a variety of phytoliths from Feldahorn. The shapes include regular kites, regular trapezoids, irregular kites, helical forms, and parallelograms. Each shape is labeled with its specific length in micrometers (µm). For example, lengths range from 10.23 µm to 64.24 µm.
Länge: 27,88 µm Stomata Länge: 13,74 µm Diamant/Raute Länge: 18,12 µm Dreieck Länge: 18,18 µm Kite irregulär Länge: 23,81 µm Trapez irregulär	 This micrograph shows another set of phytoliths from Feldahorn, including stomata, diamonds, triangles, irregular kites, and irregular trapezoids. Each shape is labeled with its length in micrometers (µm). The lengths range from 10.23 µm to 40.97 µm.

Länge: 11,60 μm Diamant/Raute Länge: 32,01 μm Diamant/Raute Länge: 19,61 μm Brücke Länge: 38,99 μm Cylindrical Länge: 12,05 μm Diamant/Raute	
Länge: 15,68 μm Drache Länge: 13,99 μm Diamant/Raute Länge: 18,70 μm Hexagon irregulär Länge: 21,91 μm Hexagon irregulär Länge: 19,35 μm Hexagon irregulär	
Länge: 19,00 μm Hexagon Länge: 13,97 μm Diamant/Raute Länge: 71,38 μm Arcuate Länge: 15,76 μm Hexagon irregulär Länge: 22,20 μm Trapez irregulär	

Feldahorn, Häufigkeit der identifizierbaren Phytolithen, Auswertung von 100 Fotos



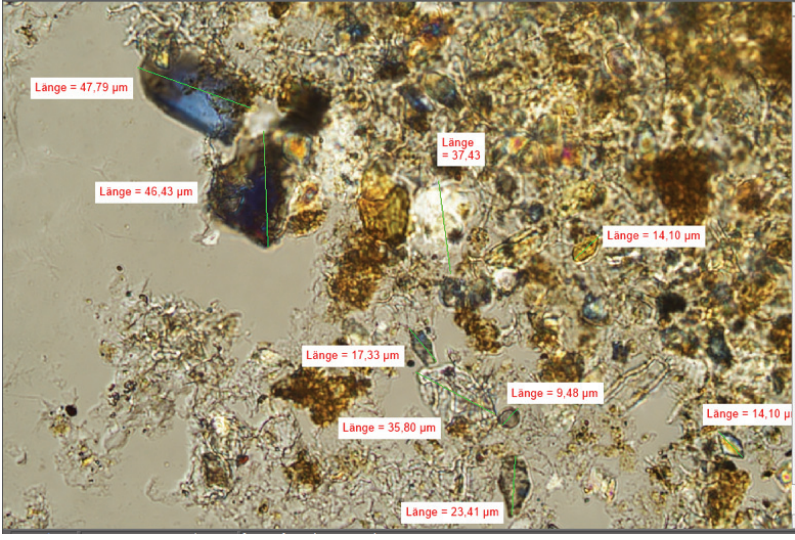
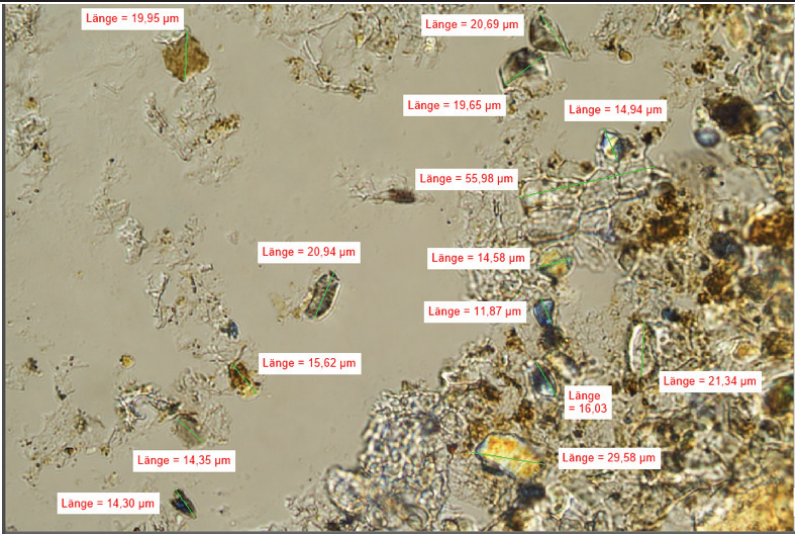
Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Hexagon irregulär	76	16%
Isodiametric epidermal cells	75	15%
Raute/Diamant	49	10%
Polyhedral	32	7%
Trapez regulär	31	6%
Papillar	29	6%
Cylindrical	28	6%
Brücke	23	5%
Drache	22	5%
Nodular	21	4%
Elongate entire	21	4%
Fleck	21	4%
Rechteck	19	4%
Parallelogramm	19	4%
Stomata	19	4%
Gesamtergebnis	485	100%

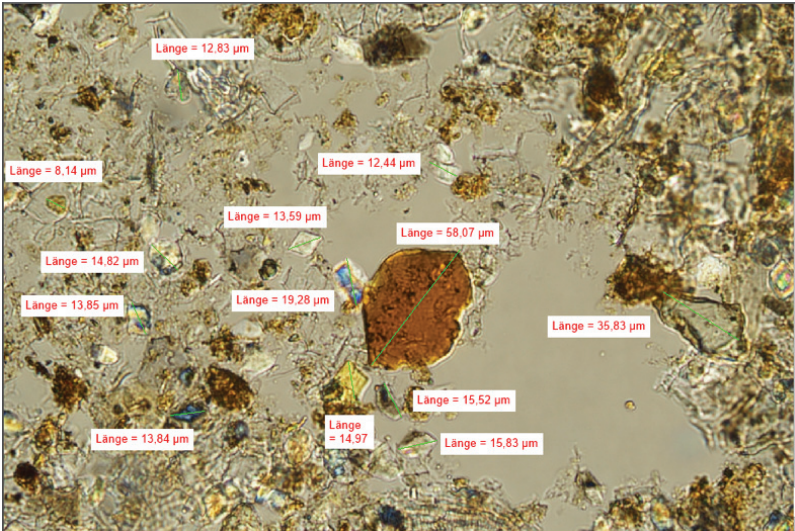
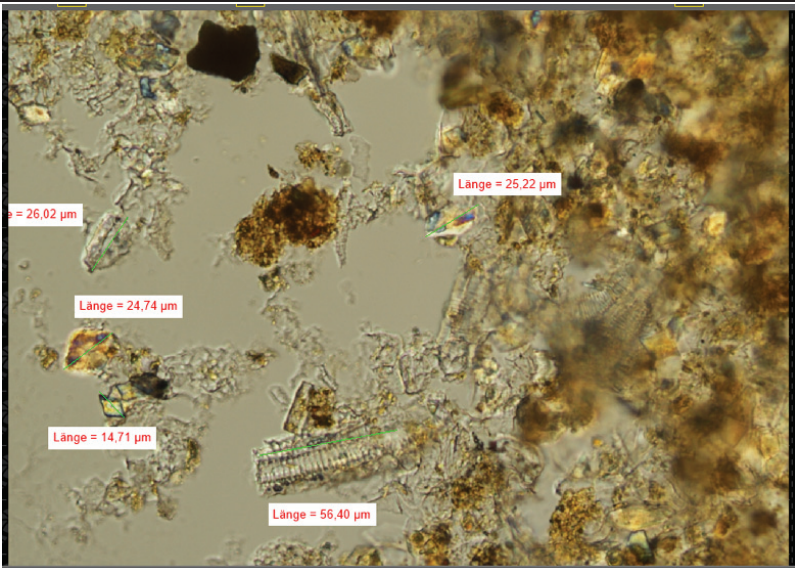
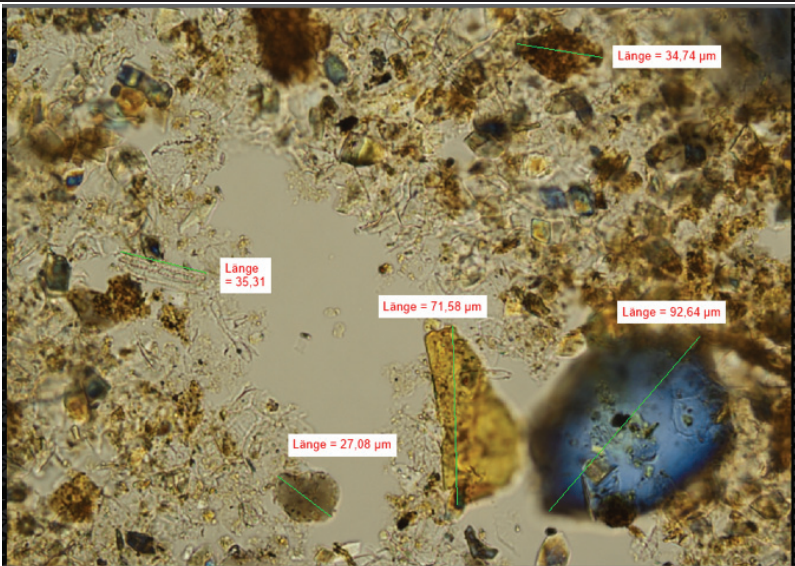
Abb 5: Feldahorn: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Acer_campestre/

Feldahorn:

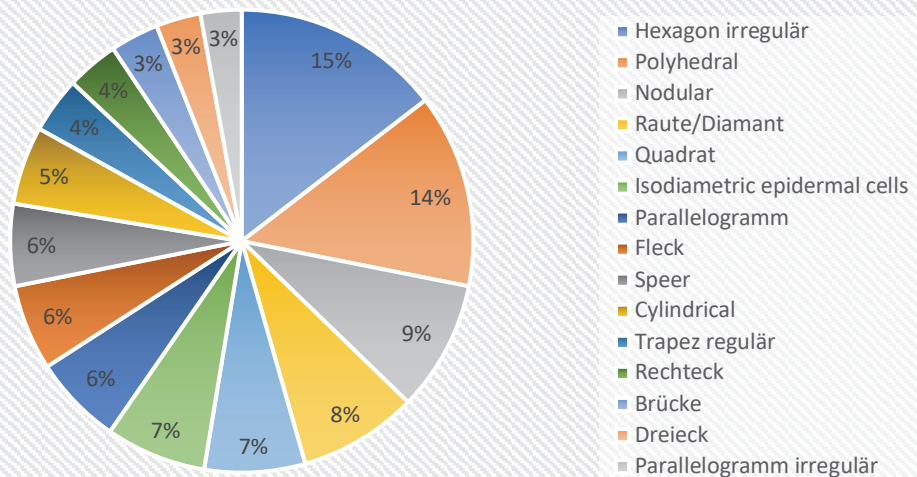
- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: isodiametric epidermal cells, Trapez regulär, Polyhedral, Diamant/Raute und Hexagon irregulär.
- Größenverhältnisse: Die größten Phytolithen die zu finden sind bleiben immer noch die Polyhedralen Phytolithen. Sie erreichen eine Länge bis zu 92 µm.
- Farbigkeit: Alle hier erwähnten Phytolithen haben eine braun/orange/grün farbige Konsistenz. Bei dem Hexagon irregulär jedoch, besitzen sie manchmal eine blaue Färbung.

Spitzahorn: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

SPITZAHORN	Deutscher Name: Spitzahorn Lateinischer Name: <i>Acer platanoides</i> Familie: Seifenbaum-Gewächse (Sapindaceae), Gattung: Acer, Art: Platanoides, Herkunft: einheimisch, Vorkommen: in Mitteleuropa und Westasien verbreitet, vom Tiefland bis zu 1100 m Höhe. Standort: bevorzugt nährstoffreiche, lockere und kalkhaltige Böden, Sonne bis Halbschatten, Blätter: spitz 5-7 lappig, bogig gezähnt, bis 18 cm lang und 15cm breit, Blattstiel 3-20 cm lang, an der Basis kugelig verdickt. Laubaustrieb: Mai, Blüte: vor dem Laubaustrieb ab März Besonderheiten: bis 30m Höhe, Laubstreu gut zersetzbar, fördert die biologische Aktivität des Bodens, Widerstandsfähig gegen Industriebelastung Alter: bis zu 150 Jahre. (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 47,79µm Polyhedral Länge: 46,43µm Polyhedral Länge: 9,48µm Circular Länge: 17,33 µm Hexagon irregulär Länge: 14,10 µm Diamant/Raute	
Länge: 19,65 µm Kite irregulär Länge: 20,94µm Cylindrical Länge: 19,95µm Quadrat Länge: 11,87µm Trapez regulär Länge: 55,98µm Isodiametric epidermal cells	

Länge: 58,07µm Polyhedral Länge: 13,59 µm Diamant/Raute Länge: 13,85 µm Rechteck Länge: 15,83 µm Hexagon Länge: 15,52 µm Brücke	 Micrograph showing various mineral grains with length measurements in µm: - Länge = 12,83 µm - Länge = 8,14 µm - Länge = 12,44 µm - Länge = 13,59 µm - Länge = 58,07 µm - Länge = 14,82 µm - Länge = 13,85 µm - Länge = 19,28 µm - Länge = 35,83 µm - Länge = 15,52 µm - Länge = 13,84 µm - Länge = 14,97 µm - Länge = 15,83 µm
Länge: 56,40µm Helical Länge: 26,02µm Stomata Länge: 25,22µm Hexagon irregulär Länge: 24,74µm Diamant/Raute Länge: 14,71µm Diamant/Raute	 Micrograph showing mineral grains and stomata with length measurements in µm: - Länge = 26,02 µm - Länge = 25,22 µm - Länge = 24,74 µm - Länge = 14,71 µm - Länge = 56,40 µm
Länge: 92,64µm Polyhedral Länge: 71,58µm Polyhedral Länge: 35,31µm Helical Länge: 34,74µm Nodular Länge: 27,08µm Polyhedral	 Micrograph showing large mineral grains with length measurements in µm: - Länge = 34,74 µm - Länge = 35,31 µm - Länge = 71,58 µm - Länge = 92,64 µm - Länge = 27,08 µm

Spitzahorn, Häufigkeit der identifizierbaren Phytolithen, Auswertung von 100 Fotos



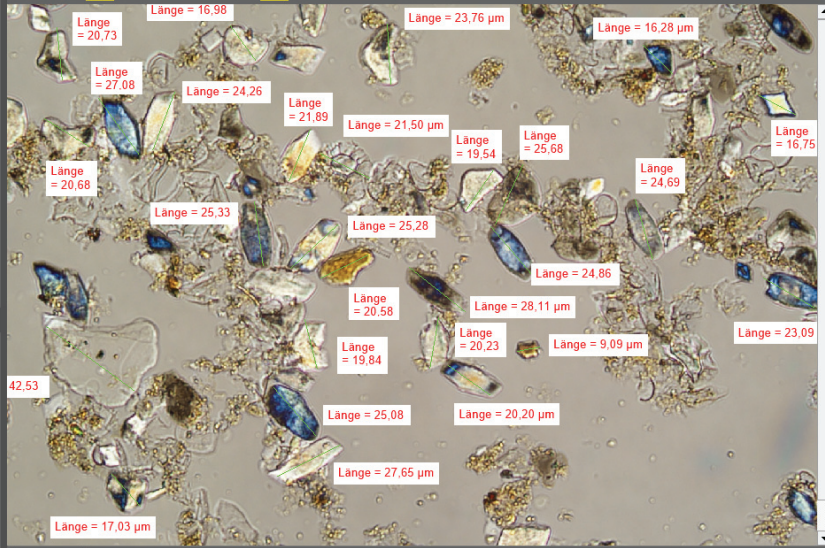
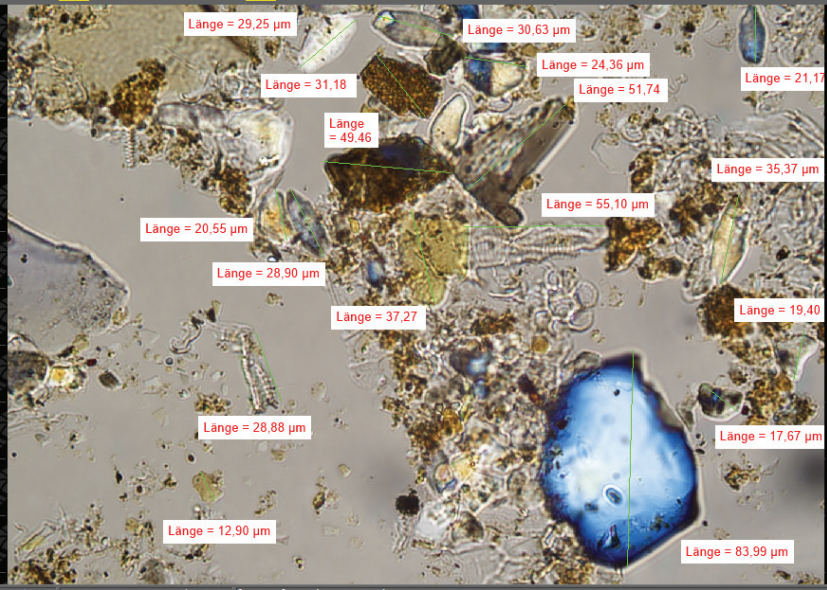
Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Hexagon irregulär	56	15%
Polyhedral	52	14%
Nodular	35	9%
Raute/Diamant	32	8%
Quadrat	27	7%
Isodiametric epidermal cells	27	7%
Parallelogramm	24	6%
Fleck	23	6%
Speer	22	6%
Cylindrical	21	5%
Trapez regulär	15	4%
Rechteck	14	4%
Brücke	13	3%
Dreieck	12	3%
Parallelogramm irregulär	11	3%
Gesamtergebnis	384	100%

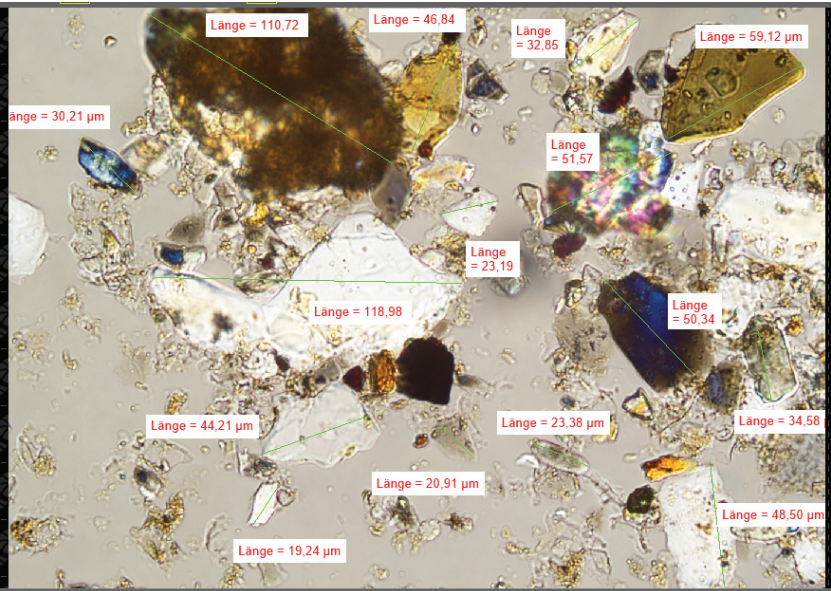
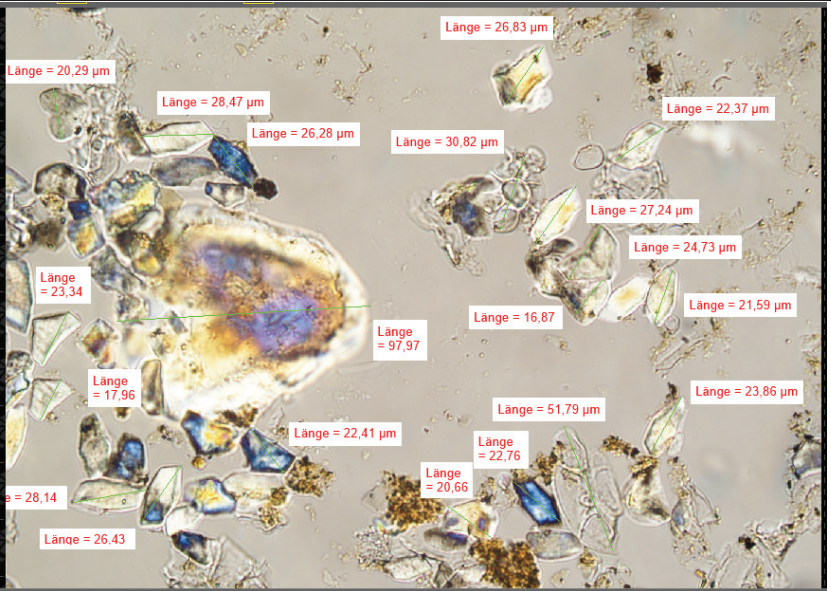
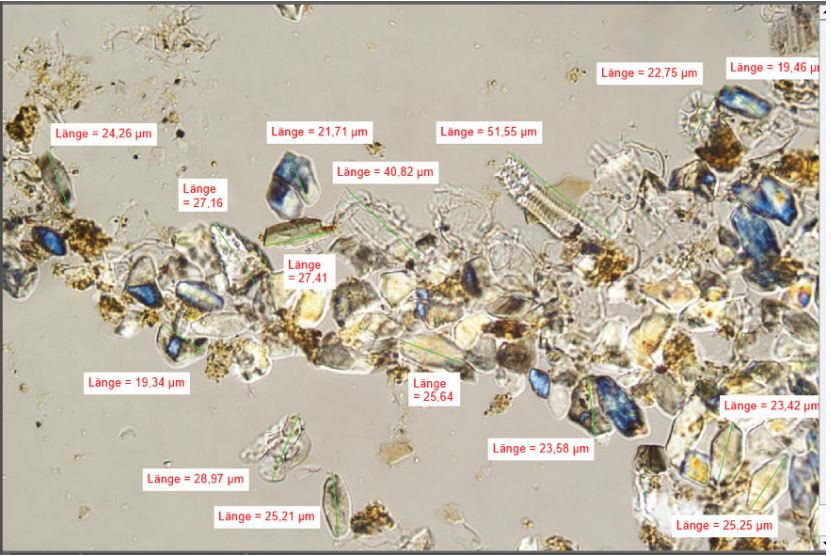
Abb 6: Spitzahorn: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Acer_platanoides/

Spitzhorn:

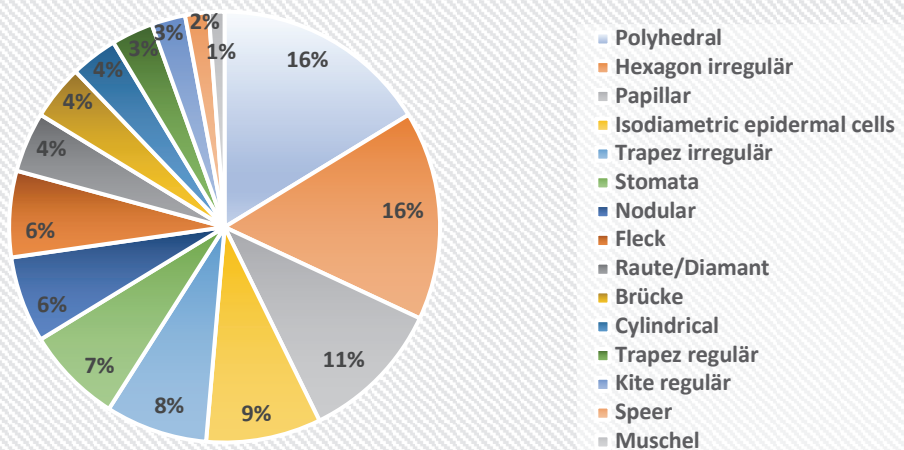
- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Polyhedral, Nodular, Nodular, Hexagon irregulär und Diamant/Raute Phytolithen.
- Größenverhältnisse: Die größten Phytolithen die zu finden sind, sind die Polyhedral Phytolithen. Sie erreichen eine Länge von 45µm bis 92µm. Helical und Nodular kommen entweder in mittelgroßer Form vor oder sie sind sehr klein.
- Farbigkeit: Nodular Phytolithen haben alle eine braune-sandige Zusammensetzung, Polyhedral Phytolithen sind bernsteinfarben, Diamant/Raute, sowie die Cylindrical Phytolithen besitzen die unterschiedlichsten Farben, meistens aber grau oder dunkelblau, während die Helical Phytolithen alle transparent sind.

Bergahorn: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

BERGAHORN	Deutscher Name: Bergahorn Lateinische Bezeichnung: <i>Acer pseudoplatanus</i> Familie: Seifenbaumgewächse (Sapindaceae) Gattung: Acer Art: pseudoplatanus Herkunft: einheimisch, Vorkommen: im Bergland, Laubmischwälder, bis zur Baumgrenze aufsteigend (Alpen bis 1650m, Schwarzwald bis 1480m). Häufig zu finden in Parks, Alleen Standort: Sonnig bis halbschattig, bevorzugt frische bis feuchte, tiefgründige, kalkhaltige Böden, Blätter: Fünf-lappig, 3 bis 15 cm lang gestielt, an der Basis keulig verdickt. Laubaustrieb: April bis Mai, Blüte: Erscheinen mit oder nach den Blättern, gelbgrün, in traubenartigen, hängenden Rispen mit zwittrigen und eingeschlechtigen Blüten, Alter: bis zu 400 Jahre. (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 42,53 µm Polyhedral Länge: 16,75 µm Raute/Diamant regulär Länge: 19,54 µm Trapez irregulär Länge: 20,73 µm Kite regulär Länge: 20,20 µm Hexagon irregulär	 This micrograph displays a variety of Bergahorn phytoliths. Numerous small, elongated, and angular particles are visible, many of which are labeled with their lengths in micrometers. The shapes include polyhedral, diamond-like, and irregular trapezoids. The measurements range from 9.09 µm to 42.53 µm.
Länge: 83,99 µm Polyhedral Länge: 55,10 µm Helical Länge: 35,37 µm Hexagon irregulär Länge: 24,36 µm Kite regulär Länge: 30,63 µm Hexagon irregulär	 This micrograph shows larger and more diverse Bergahorn phytoliths compared to the first image. It includes several large, elongated, and angular particles, some with distinct helical patterns. The shapes include polyhedral, diamond-like, and irregular hexagons. The measurements range from 12.90 µm to 83.99 µm.

Länge: 110,72 μm Nodular Länge: 118,98 μm Polyhedral Länge: 59,12 μm Polyhedral Länge: 34,58 μm Cylindrical Länge: 19,24 μm Hexagon irregulär	
Länge: 97,97 μm Polyhedral Länge: 23,34 μm Trapez irregulär Länge: 26,43 μm Hexagon irregulär Länge: 30,82 μm Stomata Länge: 22,41 μm Trapez irregulär	
Länge: 51,55 μm Helical Länge: 23,42 μm Hexagon irregulär Länge: 19,34 μm Kite regulär Länge: 22,75 μm Stomata Länge: 23,58 μm Kite regulär	

Bergahorn, Häufigkeit der identifizierbaren Phytolithen, Auswertung von 100 Fotos



Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Polyhedral	83	16%
Hexagon irregulär	80	16%
Papillar	55	11%
Isodiametric epidermal cells	44	9%
Trapez irregulär	39	8%
Stomata	37	7%
Nodular	33	6%
Fleck	33	6%
Raute/Diamant	23	4%
Brücke	21	4%
Cylindrical	18	4%
Trapez regulär	16	3%
Kite regulär	13	3%
Speer	9	2%
Muschel	6	1%
Gesamtergebnis	510	100%

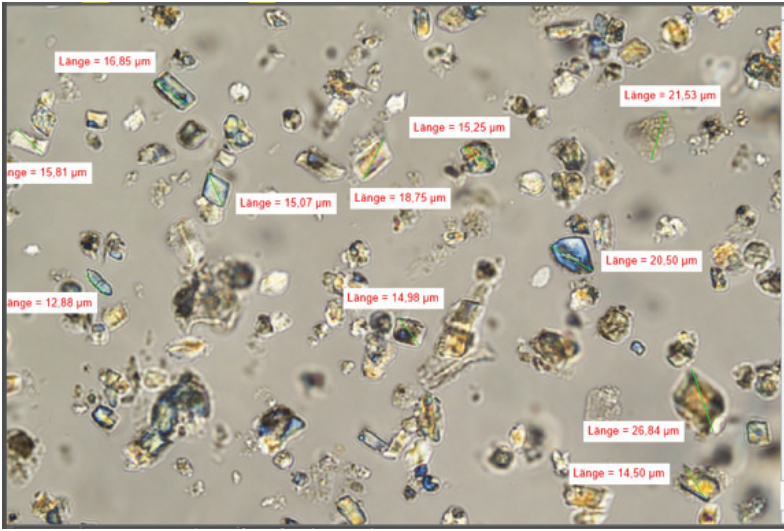
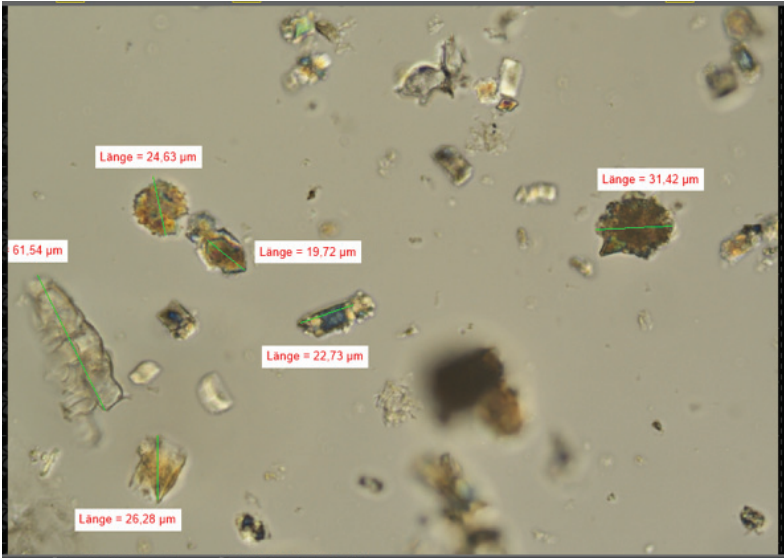
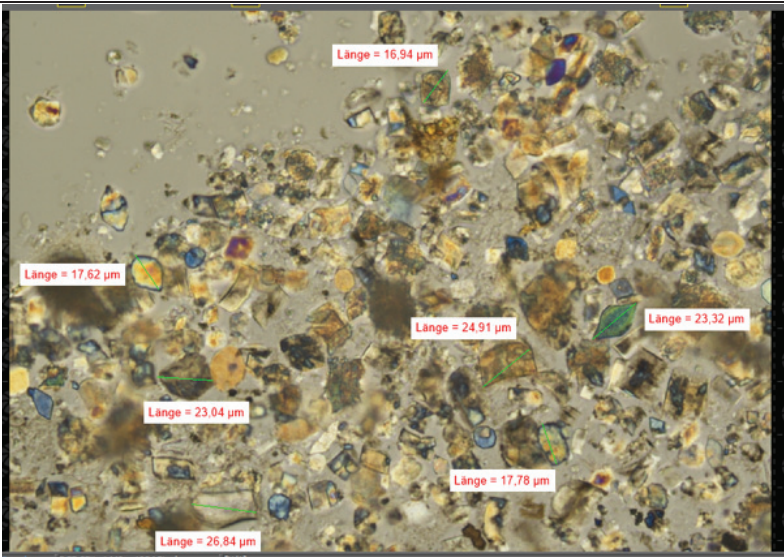
Abb 7: Bergahorn: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Acer_pseudoplatanus/

Bergahorn:

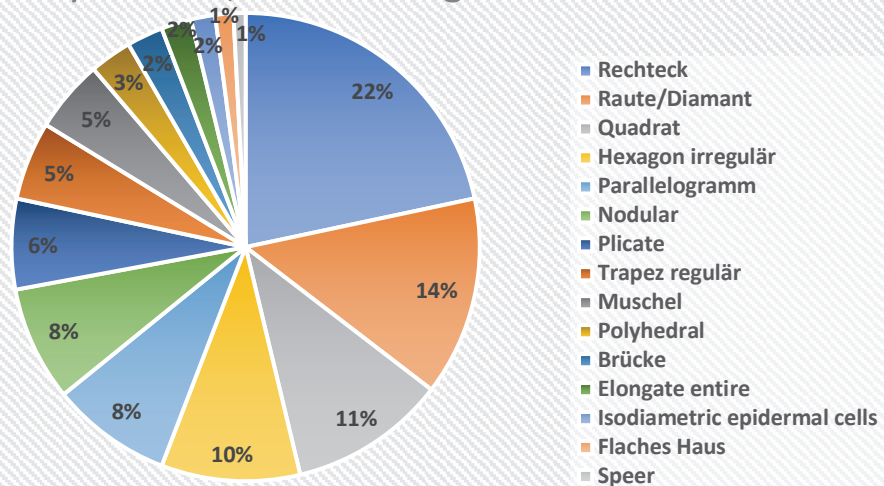
- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Hexagon Irregulär, Kite regulär, Polyhedral, Trapez irregulär, Papillar, Stomata und Isodiametric epidermal cells.
- Größenverhältnisse: Nodular gehören zu den größten Phytolithen die zu finden sind. Die Polyhedralen Phytolithen können bis zu einer Länge von 30 µm bis 110 µm erreichen.
- Farbigkeit: Die meisten Phytolithen haben eine blaue/weiße/graue und bräunliche Farbe. Andere Phytolithen wie die Helical, Isodiametric epidermal cells und Stomata haben eine transparente Farbe.

Sommerlinde: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

SOMMERLINDE	Deutscher Name: Sommerlinde, Großblättrige Linde Lateinischer Name: <i>Tilia platyphyllos</i> Familie: Malvengewächse (Malvaceae), Gattung: Linden, <i>Tilia</i>, Art: <i>Platyphyllos</i>, Herkunft: einheimisch, Vorkommen: in Mitteleuropa vor allem im mittleren und südlichen Teil, in den Nordalpen bis zu 1000m, Standort: bevorzugt tiefgründige, nährstoffreich, gleichmäßig frische und kalkhaltige Böden wärmeliebend, benötigt hohe Luftfeuchtigkeit, verträgt nicht Hitze und Bodentrockenheit, Blätter: 10 bis 15 cm lang, mit 3 bis 5 langem Blattstiel, Blattspreite unsymmetrisch herzförmig, mit langer schlanker Spitze, Blüte: Juni, etwa 14 Tage vor der Winterlinde, Besonderheiten: anspruchsvolle Gehölzart, Tiefwurzler mit weitreichenden Seitenwurzeln, Baumwuchs bis zu 40m, Alter: bis zu 1000 Jahre. (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 18,95µm Trapez regulär Länge: 19,16µm Diamant/Raute Länge: 32,76µm Trapez regulär Länge: 18,22µm Rechteck Länge: 22,27µm Plicate	 This microscopic image shows a variety of phytoliths from Tilia platyphyllos. The shapes include regular trapezoids, diamonds/rhombuses, and rectangles. Numerous small labels with red text provide specific measurements for individual phytoliths, such as 'Länge = 25,75 µm', 'Länge = 15,60 µm', 'Länge = 19,16 µm', 'Länge = 30,95 µm', 'Länge = 18,95 µm', 'Länge = 18,22 µm', 'Länge = 12,39 µm', 'Länge = 21,69 µm', 'Länge = 22,27 µm', 'Länge = 32,76 µm', 'Länge = 20,23 µm', 'Länge = 10,74 µm', 'Länge = 11,75 µm', 'Länge = 17,81 µm', and 'Länge = 25,71 µm'.
Länge: 18,14µm Trapez regulär Länge: 15,46µm Rechteck Länge: 18,15µm Rechteck Länge: 14,50µm Plicate Länge: 16,76µm Rechteck	 This microscopic image displays another set of phytoliths from Tilia platyphyllos. The shapes are similar to the first image, including regular trapezoids, rectangles, and plicate forms. Labels with red text indicate measurements for several phytoliths, such as 'Länge = 18,14 µm', 'Länge = 15,46 µm', 'Länge = 18,15 µm', 'Länge = 14,50 µm', 'Länge = 16,76 µm', and 'Länge = 18,13 µm'.

Länge: 15,07µm Diamant/Raute Länge: 16,85µm Rechteck Länge: 14,98µm Rechteck Länge: 26,84µm Raute, Diamant irregulär Länge: 12,88µm Cylindrical	 Micrograph showing various diamond and diamond-like particles. Labels indicate lengths and shapes: - Länge = 16,85 µm - Länge = 15,81 µm - Länge = 15,07 µm - Länge = 18,75 µm - Länge = 15,25 µm - Länge = 21,53 µm - Länge = 20,50 µm - Länge = 14,98 µm - Länge = 26,84 µm - Länge = 14,50 µm - Länge = 12,88 µm
Länge: 31,42µm Nodular Länge: 61,54µm Isodiametric epidermal cells Länge: 22,73µm Rechteck Länge: 19,72µm Hexagon Länge: 24,63µm Plicate	 Micrograph showing larger, more complex diamond particles. Labels indicate lengths and shapes: - Länge = 31,42 µm - Länge = 24,63 µm - Länge = 19,72 µm - Länge = 22,73 µm - Länge = 26,28 µm - Länge = 61,54 µm
Länge: 16,94µm Rechteck Länge: 17,62µm Hexagon Länge: 23,32µm Diamant irregulär Länge: 24,91µm Trapez regulär Länge: 17,78µm Rechteck	 Micrograph showing a dense field of diamond particles. Labels indicate lengths and shapes: - Länge = 16,94 µm - Länge = 17,62 µm - Länge = 23,32 µm - Länge = 24,91 µm - Länge = 23,04 µm - Länge = 17,78 µm - Länge = 26,84 µm

Sommerlinde, Häufigkeit der identifizierbaren Phytolithen, Auswertung von 100 Fotos



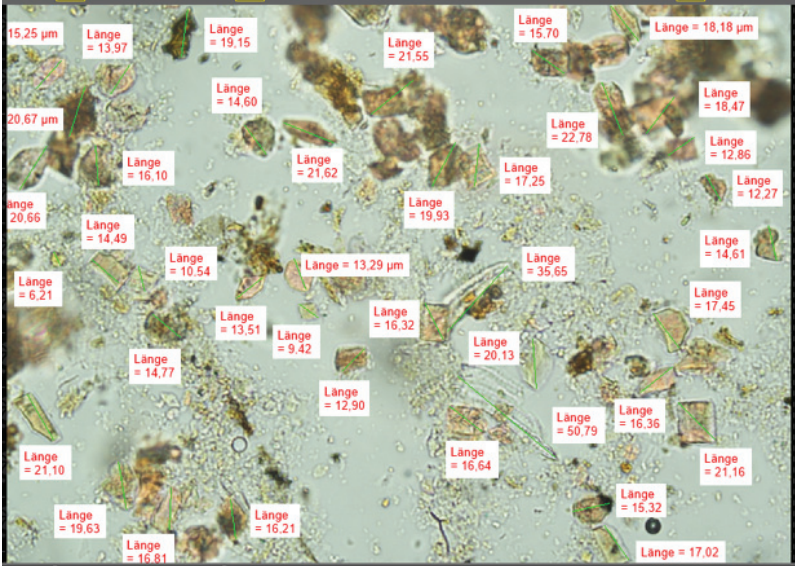
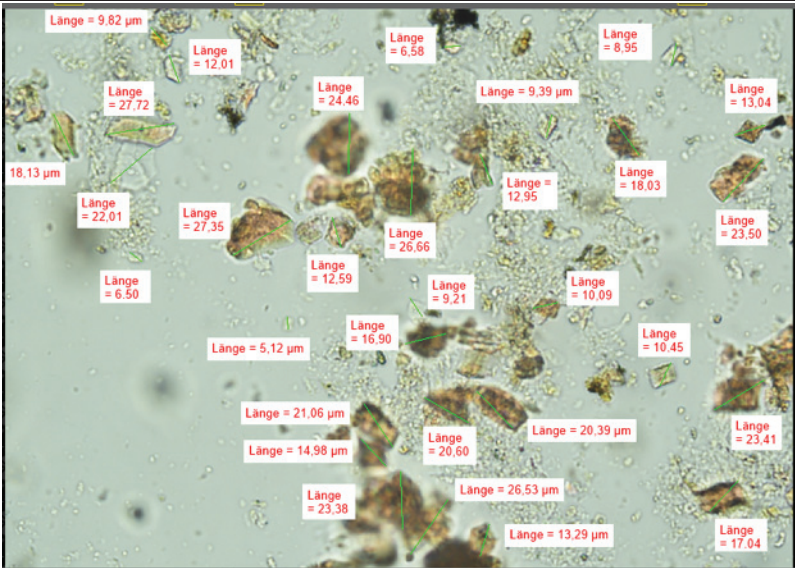
Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Rechteck	52	22%
Raute/Diamant	33	14%
Quadrat	26	11%
Hexagon irregulär	23	10%
Parallelogramm	20	8%
Nodular	19	8%
Plicate	15	6%
Trapez regulär	13	5%
Muschel	12	5%
Polyhedral	7	3%
Brücke	6	2%
Elongate entire	5	2%
Isodiametric epidermal cells	4	2%
Flaches Haus	3	1%
Speer	2	1%
Gesamtergebnis	240	100%

Abb 8: Sommerlinde: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Tilia_platyphyllos

Sommerlinde:

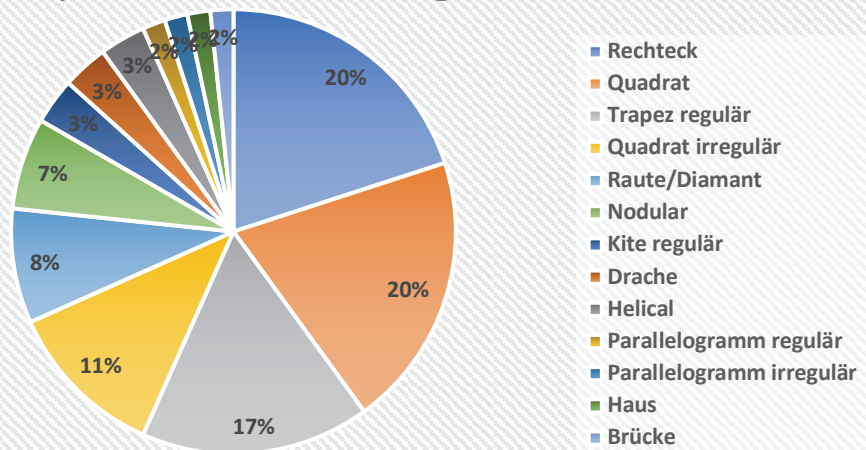
- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Rechteck, Trapez regulär, Hexagon irregulär, Plicate, Nodular, Quadrat und Diamant/Raute Phytolithen.
- Größenverhältnisse: Plicate, Isodiametric epidermal cells und Diamant/Raute gehören zu den größten Phytolithen die zu finden sind. Die Isodiametric epidermal cells gehören zu den größten, sind in der Minderzahl. Sie können eine Länge bis zu 61 μm erreichen.
- Farbigkeit: Alle vorkommenden Phytolithen besitzen die unterschiedlichsten Farben, Diamant/Raute Phytolithen hingegen besitzen eher eine bläuliche Farbe, während die Trapez Phytolithen eine braun/orange Farbe aufweisen.

Winterlinde: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

WINTERLINDE	Deutscher Name: Winterlinde -Familie, Steinlinde Lateinischer Name: <i>Tilia cordata</i> Familie: Malvengewächse (Malvaceae), Gattung: Tilia, Art: Cordata Herkunft: einheimisch, Vorkommen: In Mitteleuropa von der Ebene bis zu den Alpen in 1200 m Höhe. Standort: mäßig trocken bis frisch, benötigt nährstoffreiche, basenreich bis leicht saurem steinigem, lehmigen Boden, lichtbedürftig, wärmeliebend, hitzeverträglich bei ausreichender Bodenfeuchtigkeit, Blätter: Spreite unsymmetrisch herzförmig, 5 bis 7 cm lang und 2 bis 5 cm langem Blattstiel, Blüte: Ende Juni bis Juli, 14 Tage später als Sommerlinde, Besonderheiten: Höhe bis 30m, mächtiger Wurzelstock, tief und flachstreichende Herz- und Seitenwurzeln, Alter: bis 1000 Jahre. (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 50,79µm Helical Länge: 17,45µm Trapez regulär Länge: 16,32µm Rechteck Länge: 21,16µm Quadrat Länge: 21,10µm Quadrat irregulär	
Länge: 27,22µm Parallelogramm irregulär Länge: 18,13µm Parallelogramm irregulär Länge: 10,45µm Quadrat Länge: 8,95µm haus Länge: 13,04µm Diamant/Raute	

Länge: 20,49µm Rechteck Länge: 16,75µm Nodular Länge: 15,05µm Kite regulär Länge: 60,32µm Polyhedral Länge: 18,33µm Brücke	
Länge: 25,30µm Diamant/Raute Länge: 12,78µm Quadrat Länge: 12,67µm Quadrat Länge: 20,70µm Parallelogramm Länge: 16,03µm Trapez regulär	
Länge: 18,38µm Diamant/Raute Länge: 29,63µm Nodular Länge: 12,93µm Drache Länge: 9,70µm Diamant/Raute Länge: 19,27µm Trapez regulär	

Winterlinde, Häufigkeit der identifizierbaren Phytolithen, Auswertung von 100 Fotos



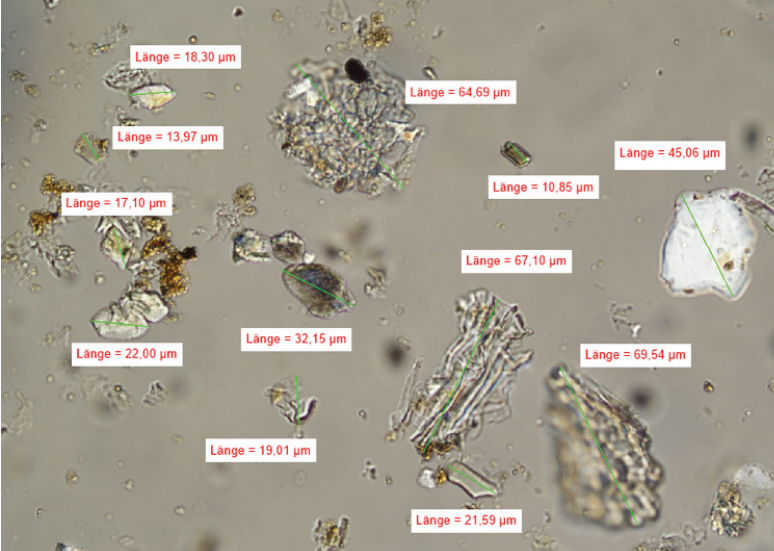
Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Rechteck	12	20%
Quadrat	12	20%
Trapez regulär	10	17%
Quadrat irregulär	7	11%
Raute/Diamant	5	8%
Nodular	4	7%
Kite regulär	2	3%
Drache	2	3%
Helical	2	3%
Parallelogramm irregulär	1	2%
Parallelogramm regulär	1	2%
Haus	1	2%
Brücke	1	2%
Gesamtergebnis	48	100%

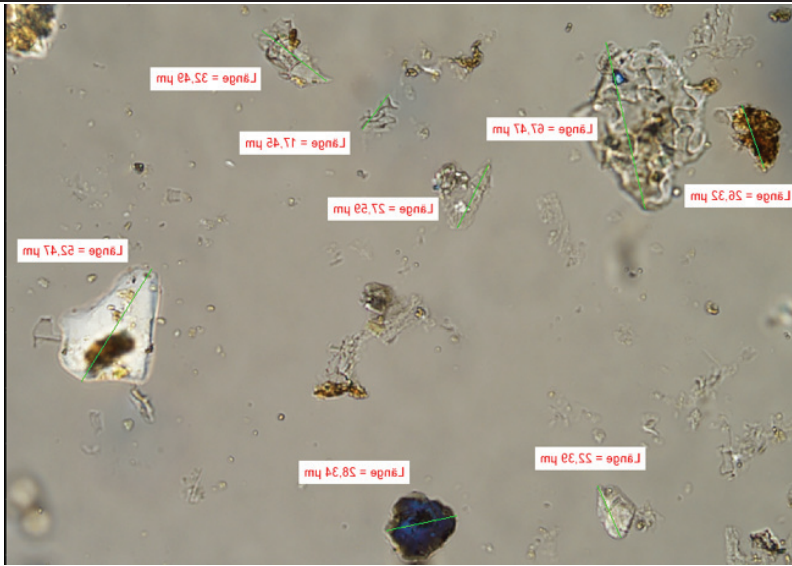
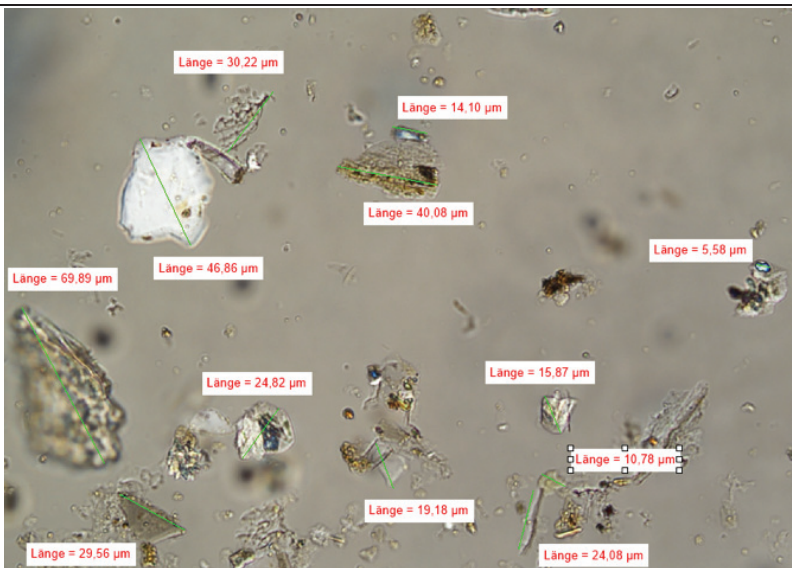
Abb 9: Winterlinde: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Tilia_cordata/

Winterlinde:

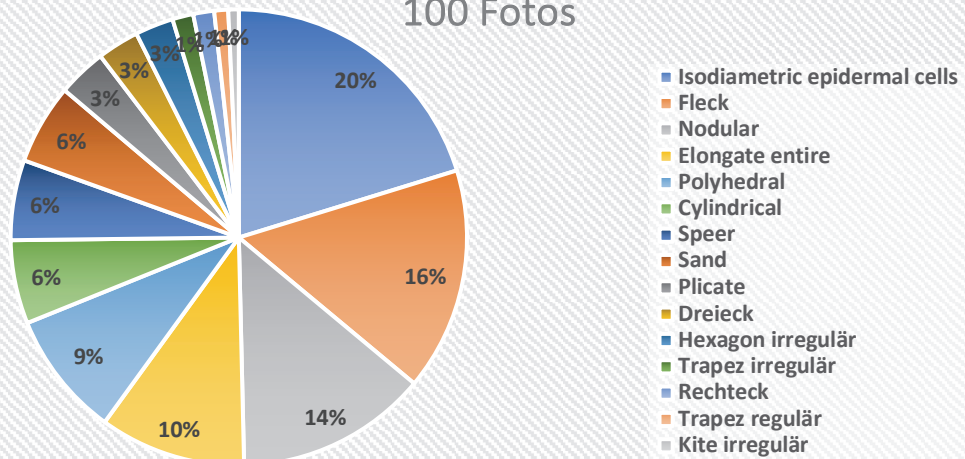
- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Rechteck, Parallelogramm, Quadrat, Trapez regulär, Quadrat irregulär und Diamant/Raute.
- Größenverhältnisse: Die größten Phytolithen, die zu finden sind, sind die Nodular und Diamant/Raute Phytolithen. Die Nodular Phytolithen erreichen eine Länge von 16 μm bis 30 μm und die Diamant/Raute Phytolithen eine Länge von 10 μm bis 20 μm .
- Farbigkeit: Rechteck, Parallelogramm und Quadrat Phytolithen haben alle eine braune/grüne/orange Farbe, während die Diamant/Raute Phytolithen manchmal eine bläuliche Farbe besitzen.

Gemeine Hasel: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

GEMEINE HASEL	Deutscher Name: Gemeine Hasel Lateinischer Name: <i>Corylus avellana</i> Familie: Birkengewächse (Betulaceae), Gattung: <i>Corylus</i>, Art: <i>Avellana</i>, Herkunft: einheimisch, Vorkommen: In Mitteleuropa vom Norddeutschen Tiefland bis zu 1400 m Höhe in den Alpen. Standort: sonnig, frischer, nährstoffreicher, leicht sauren und humosen Stein- und Lehmboden, Blätter: Blattstiel von 5 bis 15 cm lang, Blätter 6 bis 10 cm lang. Blüte: erste blühende Laubgehölz, je nach Standort von Februar bis April, Besonderheiten: schnellwüchsig, 4-6m hoch, bis zu 7m breit, Flachwurzler, wind- und frostverträglich, Laub ist schnell kompostierbar, Alter: bis zu über 100 Jahre (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 17,10µm Drache Länge: 64,69µm Isodiametric epidermal cells Länge: 67,10µm Isodiametric epidermal cells Länge: 69,54µm Isodiametric epidermal cells Länge: 45,06µm Polyhedral	 Micrograph showing various phytolith morphologies from <i>Corylus avellana</i>. Measurements (in µm) are provided for several specimens: - Länge = 18,30 µm - Länge = 64,69 µm - Länge = 13,97 µm - Länge = 45,06 µm - Länge = 17,10 µm - Länge = 10,85 µm - Länge = 67,10 µm - Länge = 22,00 µm - Länge = 32,15 µm - Länge = 69,54 µm - Länge = 19,01 µm - Länge = 21,59 µm
Länge: 41,16µm Nodular Länge: 27,13µm Diamant/Raute Länge: 21,98µm Polyhedral Länge: 19,91µm Cylindrical Länge: 28,67µm Polyhedral	 Micrograph showing various phytolith morphologies from <i>Corylus avellana</i>. Measurements (in µm) are provided for several specimens: - Länge = 29,59 µm - Länge = 21,98 µm - Länge = 16,85 µm - Länge = 19,91 µm - Länge = 28,67 µm - Länge = 13,99 µm - Länge = 29,99 µm - Länge = 32,53 µm - Länge = 7,01 µm - Länge = 6,28 µm - Länge = 19,56 µm - Länge = 41,16 µm - Länge = 27,13 µm

Länge: 67,47µm Isodiametric epidermal cells Länge: 26,35µm Nodular Länge: 52,47µm Polyhedral Länge: 28,34µm Polyhedral Länge: 22,36µm Polyhedral	
Länge: 40,08µm Helical Länge: 46,86µm Polyhedral Länge: 69,89µm Isodiametric epidermal cells Länge: 29,56µm Polyhedral Länge: 24,08µm Elongate	
Länge: 28,91µm Trapez regulär Länge: 12,04µm Diamant/Raute Länge: 27,25µm Plicate Länge: 31,79µm Polyhedral Länge: 47,27µm Isodiametric epidermal cells	

Gemeine Hasel, Häufigkeit der identifizierbaren Phytolithen, Auswertung von 100 Fotos



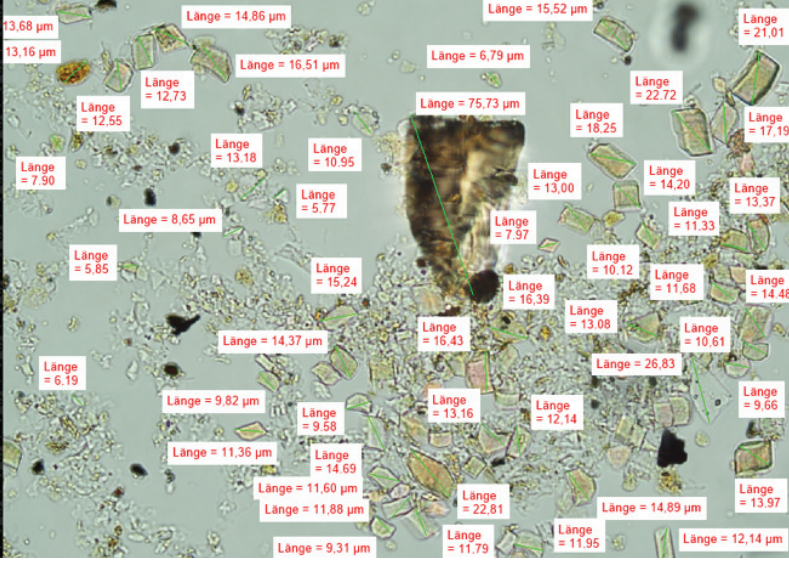
Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Isodiametric epidermal cells	82	20%
Fleck	64	16%
Nodular	55	14%
Elongate entire	42	10%
Polyhedral	36	9%
Cylindrical	24	6%
Speer	23	6%
Sand	23	6%
Plicate	14	3%
Dreieck	12	3%
Hexagon irregulär	11	3%
Trapez irregulär	6	1%
Rechteck	6	1%
Trapez regulär	4	1%
Kite irregulär	3	1%
Gesamtergebnis	405	100%

Abb 10: Haselnuss: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Corylus_avellana/

Gemeine Hasel:

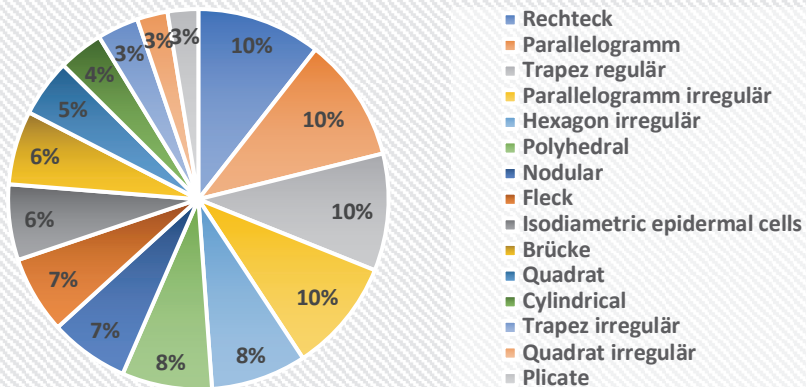
- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Isodiametric epidermal cells, Polyhedral, Fleck, Elongate entire und Nodular.
- Größenverhältnisse: Die größten Phytolithen sind die Isodiametric epidermal cells. Diese können eine Länge von 30 bis 70 erreichen. Der zweite Platz gehört den Polyhedral Phytolithen. Diese hingegen können eine Länge von 22 µm bis 46 µm erreichen.
- Farbigkeit: Die Isodiametric epidermal cells haben alle eine transparente Farbe, während die Polyhedral Phytolithen entweder eine blaue oder eine weiße Farbe besitzen.

Gemeine Buche: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

GEMEINE BUCHE	Deutscher Name: Gemeine Buche Lateinischer Name: Fagus sylvatica Familie: Buchengewächse (Fagaceae), Gattung: Fagus, Art: Sylvatica, Herkunft einheimisch, Vorkommen: in Mitteleuropa vom Flachland bis zu 1500m in den Alpen. Standort: bevorzugt einen lockeren, steinigen Lehmboden, sauer bis alkalisch, auch kalkhaltig, verträgt schlecht Trockenheit, Staunässe, Blätter: 5 bis 10 cm lang und 3 bis 7 cm breit. Der Blattstiel ist etwa 1,5 cm lang. Laubaustrieb: Mai, Blüte: ab Mai mit Laubaustrieb, Besonderheiten: Baumwuchs 20-30m, dichtes Herzwurzelsystem, das Laub kompostiert nur sehr langsam, Alter: bis zu 300 Jahren (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 22,72µm Parallelogramm irregulär Länge: 16,51µm Quadrat irregulär Länge: 22,81µm Hexagon irregulär Länge: 9,58µm Trapez regulär Länge: 14,86µm Diamant/Raute	 This micrograph displays a wide variety of phytolith morphologies from Fagus sylvatica. The shapes include parallelograms, irregular squares, hexagons, regular trapezoids, and diamonds. Each individual phytolith is labeled with its specific length in micrometers (µm). The lengths range from 5.77 µm to 75.73 µm. The background is a light, slightly textured surface.
Länge: 19,92µm Diamant/Raute Länge: 12,90µm Diamant/Raute Länge: 11,79µm Trapez regulär Länge: 14,09µm Trapez regulär Länge: 43,81µm Arcuate	 This micrograph shows another set of Fagus sylvatica phytoliths. The shapes include diamonds, regular trapezoids, and arcuate forms. Each phytolith is labeled with its length in micrometers (µm). The lengths range from 8.40 µm to 43.81 µm. The background is a light, slightly textured surface.

Länge: 13,05µm Drache Länge: 14,46µm Brücke Länge: 12,60µm Diamant/Raute Länge: 20,60µm Parallelogramm irregulär Länge: 14,78µm Rechteck	
Länge: 14,48µm Trapez regulär Länge: 13,38µm Diamant/Raute Länge: 20,75µm Quadrat irregulär Länge: 15,61µm Brücke Länge: 27,16µm Helical	
Länge: 27,96µm Helical Länge: 13,00µm Diamant/Raute Länge: 20,86µm Helical Länge: 16,59µm Brücke Länge: 17,46µm Diamant/Raute	

Gemeine Buche, Häufigkeit der identifizierbaren Phytolithen, Auswertung von 100 Fotos



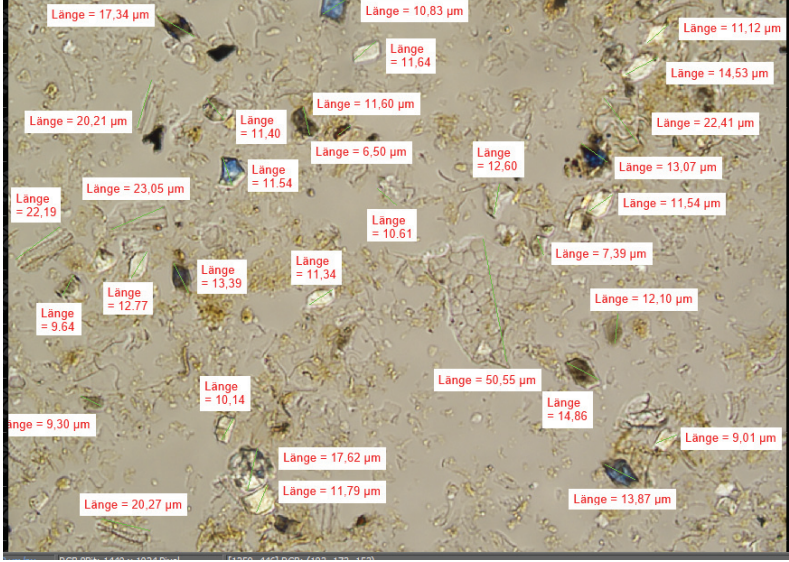
Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Rechteck	69	10%
Parallelogramm	69	10%
Trapez regulär	65	10%
Parallelogramm irregulär	63	10%
Hexagon irregulär	53	8%
Polyhedral	50	8%
Nodular	44	7%
Fleck	43	7%
Isodiametric epidermal cells	42	6%
Brücke	41	6%
Quadrat	32	5%
Cylindrical	25	4%
Trapez irregulär	23	3%
Quadrat irregulär	17	3%
Plicate	17	3%
Gesamtergebnis	653	100%

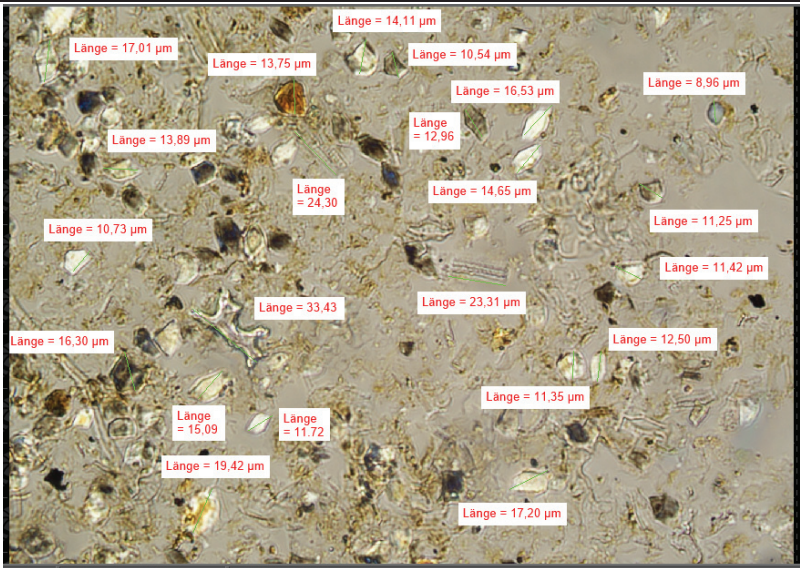
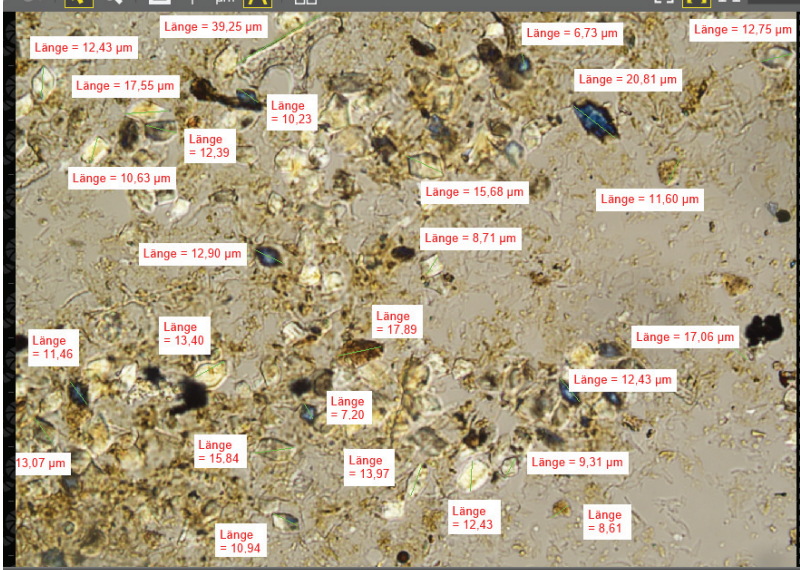
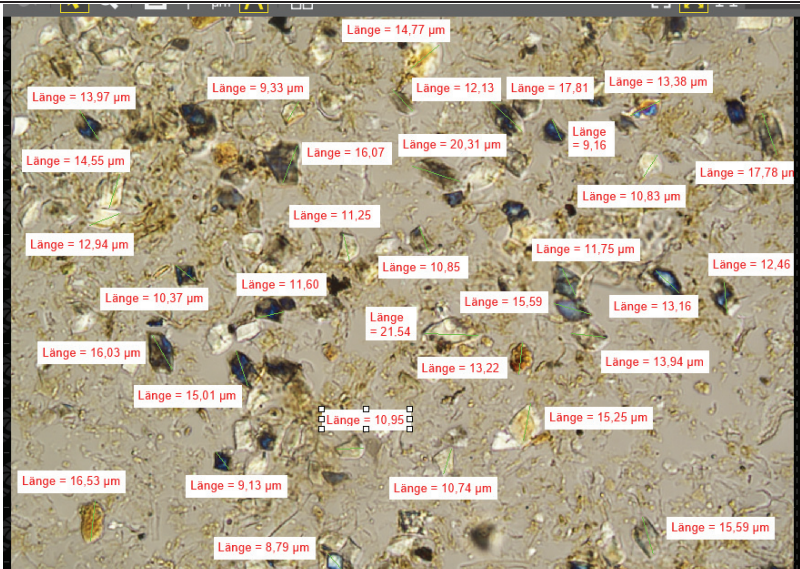
Abb 11: Gemeine Buche: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Fagus_sylvatica/

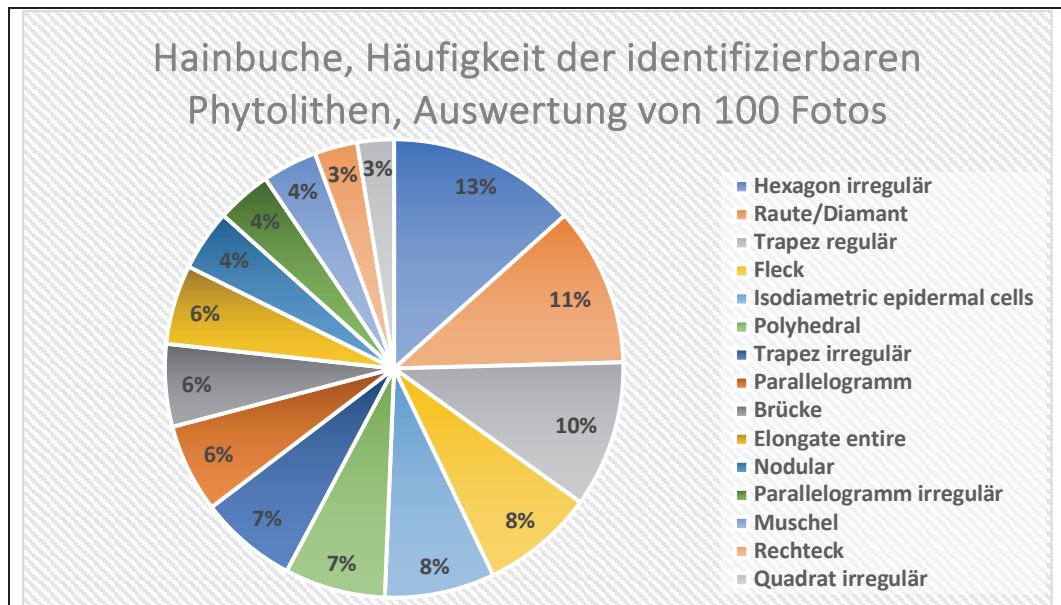
Gemeine Buche:

- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Trapezförmige, Diamant/Raute, Polyhedral, Rechteck und Parallelogramm förmige Phytolithen.
- Größenverhältnisse: Die größten Phytolithen bleiben immer noch die Polyhedrale, dennoch sind sie hier in der Minderzahl. Sie können eine Länge bis zu 75 μm erreichen. Die zweitgrößten Phytolithen wären hier Diamant/Raute und Trapez Phytolithen.
- Farbigkeit: Die häufigsten Farben die bei allen vorkommenden Phytolithen zu finden sind, sind orange/braun/grün und blau.

Hainbuche: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

HAINBAUCHE	Deutscher Name: Hainbuche Lateinische Bezeichnung: <i>Carpinus betulus</i> Familie: Birkengewächse (Betulaceae) Gattung: <i>Carpinus</i> Art: <i>betulus</i> Herkunft: einheimisch Vorkommen: Mitteleuropa vom norddeutschen Tiefland bis zu den Alpen, bis zu 1000 m. Standort: bevorzugt sonnige bis halbschattige Standorte Blätter: Blätter 5 bis 10 cm lang und bis 6 cm breit, Blattstiel ca. 1,5 cm lang Laubaustrieb: Mai bis Juni Blüte: Einhäusig. Sie erscheinen mit der Belaubung. Weibliche Blüten am Ende junger Triebe, zur Reife etwa fingerlang. Männliche Kätzchen seitlich, 4 bis 7 cm lang und schlaff hängend. Besonderheiten: Die geflügelten Früchte werden vom Wind durch Tiere verbreitet Alter: bis zu 150 Jahre (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 50,55 µm Isodiametric epidermal cells Länge: 11,54 µm Trapez irregulär Länge: 11,79 µm Trapez regulär Länge: 11,64 µm Parallelogramm irregulär Länge: 22,19 µm Helical	 This micrograph displays a variety of phytoliths from Hainbuche. Numerous small, elongated, and irregularly shaped particles are visible, many of which are labeled with their specific lengths in micrometers (µm). The labels include values such as 17,34, 10,83, 11,12, 14,53, 22,41, 13,07, 11,54, 10,61, 7,39, 12,10, 9,01, 13,87, 11,79, 17,62, 10,14, 12,77, 13,39, 11,54, 6,50, 12,60, 11,60, 11,40, 20,21, 23,05, 22,19, 9,64, 9,30, 50,55, 14,86, and 9,01. The phytoliths exhibit diverse morphologies, including isodiametric, epidermal cells, trapezoidal, parallelogram, and helical forms.
Länge: 28,68 µm Ingwer Länge: 14,61 µm Raute/Diamant irregulär Länge: 12,91 µm Trapez regulär Länge: 18,27 µm Raute/Diamant irregulär Länge: 17,56 µm Hexagon irregulär	 This micrograph shows another set of phytoliths from Hainbuche. The particles are more varied in shape, including some that are diamond-shaped (Raute/Diamant) and others that are hexagonal or irregular. Labels indicate lengths such as 17,56, 18,27, 33,92, 28,68, 22,21, 23,09, 17,78, 12,91, 14,61, and 21,26 µm. The background is a light, granular matrix.

Länge: 33,43 μm Länge: 10,54 μm Trapez regulär Länge: 16,53 μm Hexagon irregulär Länge: 14,65 μm Hexagon irregulär Länge: 10,73 μm Trapez regulär	
Länge: 12,43 μm Raute/Diamant irregulär Länge: 12,39 μm Trapez regulär Länge: 10,63 μm Rechteck Länge: 15,84 μm Parallelogramm irregulär Länge: 20,81 μm Hexagon irregulär	
Länge: 9,33 μm Trapez regulär Länge: 8,79 μm Raute/Diamant regulär Länge: 11,60 μm Trapez regulär Länge: 11,75 μm Drache Länge: 10,95 μm Kite irregulär	



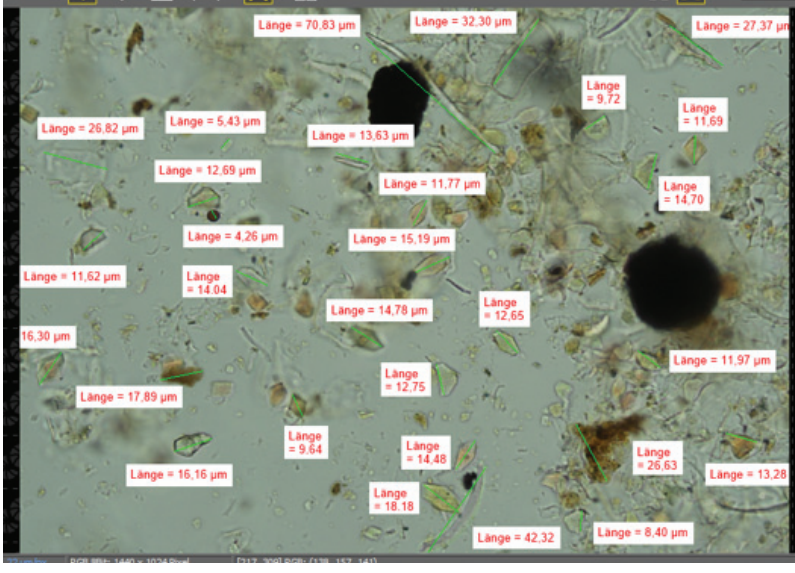
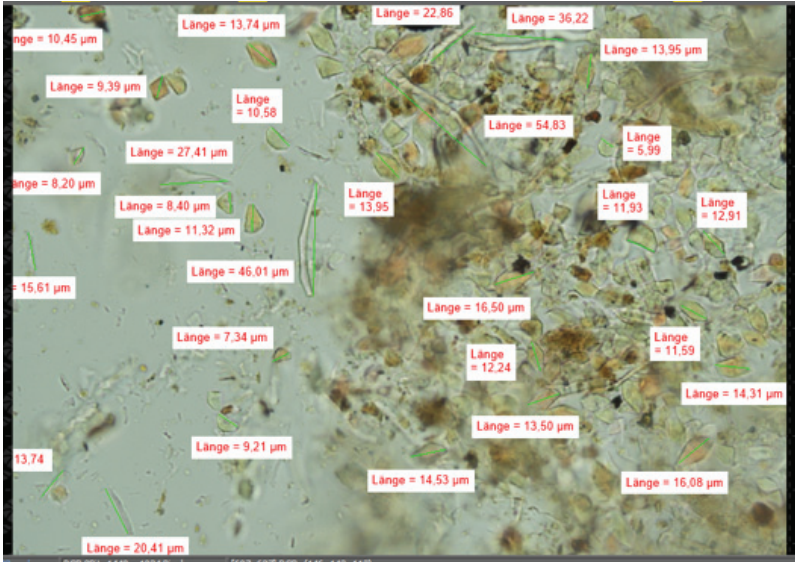
Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Hexagon irregulär	62	13%
Raute/Diamant	52	11%
Trapez regulär	48	10%
Fleck	37	8%
Isodiametric epidermal cells	36	8%
Polyhedral	33	7%
Trapez irregulär	32	7%
Parallelogramm	29	6%
Brücke	27	6%
Elongate entire	26	6%
Nodular	20	4%
Parallelogramm irregulär	18	4%
Muschel	18	4%
Rechteck	14	3%
Quadrat irregulär	12	3%
Gesamtergebnis	464	100%

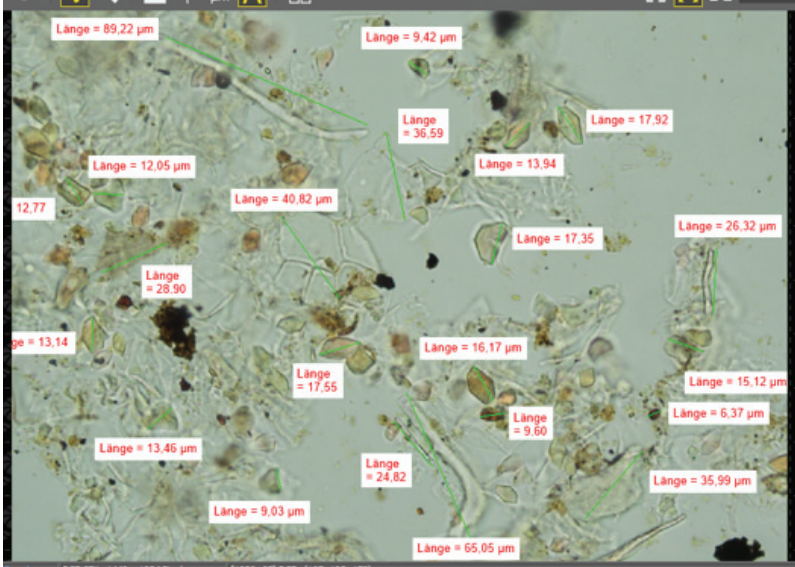
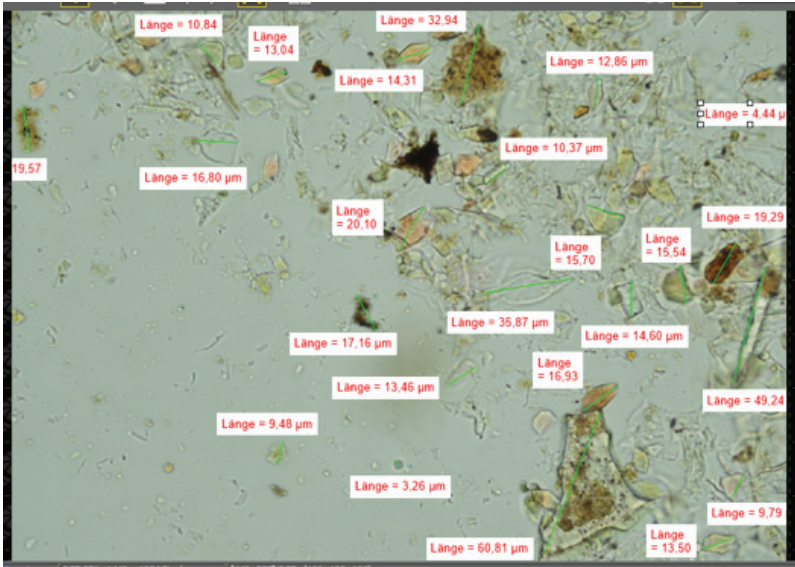
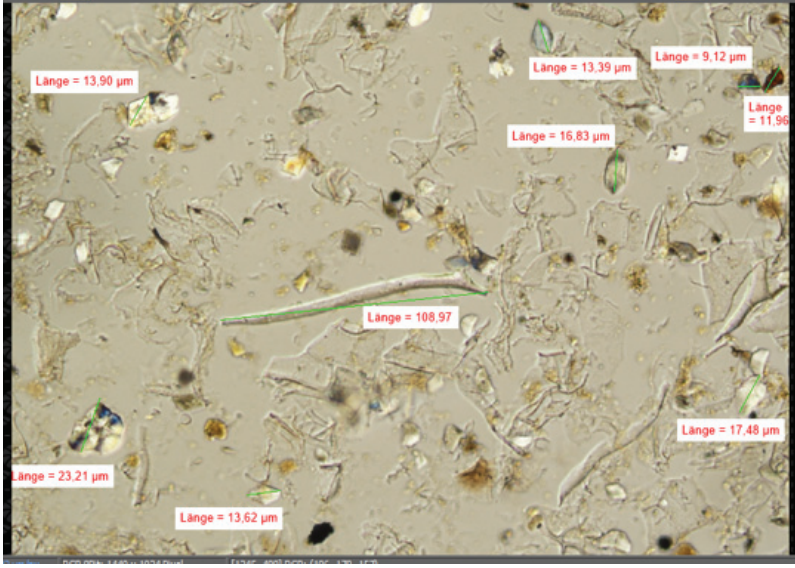
Abb 12: Hainbuche: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Carpinus_betulus/

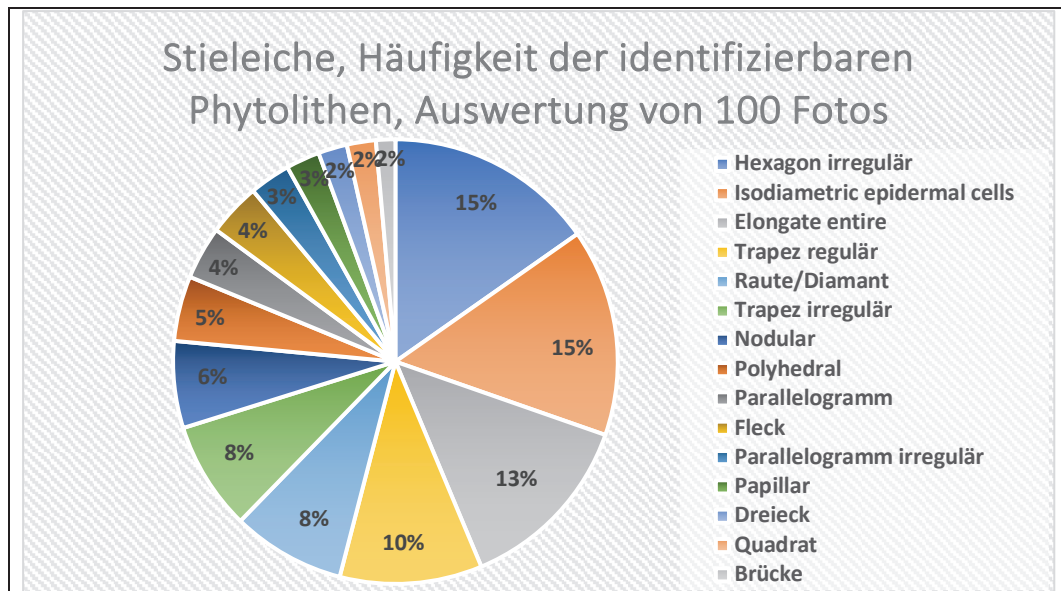
Hainbuche:

- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Trapez regulär, Kite irregulär, Raute/Diamant irregulär, Raute/Diamant regulär, Hexagon irregulär, Fleck und Parallelogramm irregulär.
- Größenverhältnisse: Polyhedrale gehören zu den größten Phytolithen die zu finden sind. Sie könne eine Länge von 20 µm bis 60 µm erreichen.
- Farbigkeit: Die meisten Phytolithen die zu finden sind haben eine blaue/weiße/graue/orange und bräunliche Farbe. Andere Phytolithen wie die Helical und Ingwer haben eine transparente Farbe.

Stieleiche: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

STIELEICHE	Deutscher Name: Stieleiche Lateinischer Name: <i>Quercus robur</i> Familie: Buchengewächse (Fagaceae), Gattung: <i>Quercus</i>, Art: <i>Robur</i> Herkunft: einheimisch, Vorkommen: Europa bis Kaukasus, in Mitteleuropa vom Norddeutschen Tiefland bis zu 1000 m. Höhe in den Alpen. Standort: licht, feuchter, durchlässiger und nahrhafter Boden Blätter: kurzer Blattstiel, wechselständig, ledrig, 10-15cm lang Laubaustrieb: April, Mai Blüte: April bis Mai, Besonderheiten: Baumwuchs bis zu 50m, anspruchslos, robust verträgt Überstauungen und Trockenheit, Tiefwurzler, Alter: bis zu 800 Jahre (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 18,18µm Hexagon irregulär Länge: 12,75µm Trapez regulär Länge: 11,62µm Trapez regulär Länge: 70,83µm Elongate entire Länge: 11,69µm Diamant/Raute	 This micrograph displays a variety of phytoliths from Quercus robur. Numerous small, elongated, and hexagonal structures are visible, many with green lines indicating their length. Measurements are provided for many of these structures, ranging from 4.26 µm to 70.83 µm. Some larger, more complex shapes are also present, including one labeled with a length of 42.32 µm.
Länge: 46,01µm Elongate entire Länge: 27,41µm Brachiate Länge: 12,91µm Hexagon irregulär Länge: 9,39µm Diamant/Raute Länge: 11,93µm Trapez regulär	 This micrograph shows another set of phytoliths from Quercus robur. It features a mix of elongated, brachiate, and hexagonal forms. Green lines and numerical labels indicate the lengths of many individual phytoliths, with values such as 10.45 µm, 13.74 µm, 27.41 µm, and 46.01 µm. The background is a light, textured surface typical of phytolith preparations.

Länge: 89,22µm Elongate entire Länge: 40,82µm Isodiametric epidermal cells Länge: 65,05µm Elongate entire Länge: 17,35µm Trapez regulär Länge: 16,17µm Hexagon irregulär	
Länge: 32,94µm Sand Länge: 15,70µm Trapez regulär Länge: 15,54µm Trapez regulär Länge: 9,79µm Trapez irregulär Länge: 13,50µm Parallelogramm irregulär	
Länge: 108,97µm Elongate entire Länge: 23,21µm Plicate Länge: 13,90µm Diamant/Raute Länge: 16,83µm Hexagon irregulär Länge: 13,62µm Spitzwinkliges Dreieck	



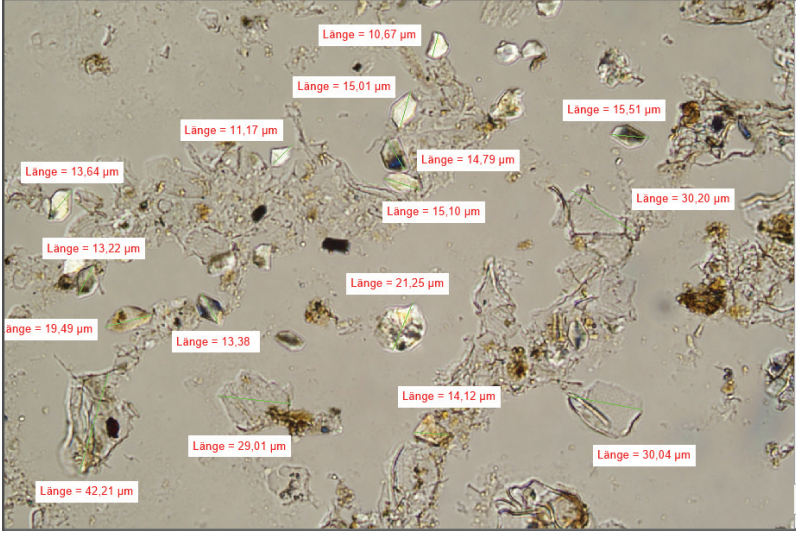
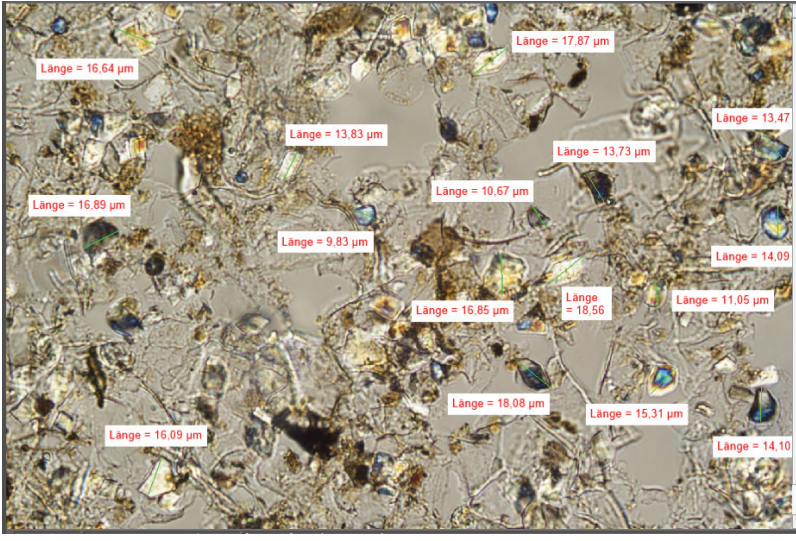
Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Hexagon irregulär	87	15%
Isodiametric epidermal cells	86	15%
Elongate entire	76	13%
Trapez regulär	59	10%
Raute/Diamant	47	8%
Trapez irregulär	45	8%
Nodular	36	6%
Polyhedral	27	5%
Parallelogramm	22	4%
Fleck	22	4%
Parallelogramm irregulär	17	3%
Papillar	14	3%
Dreieck	12	2%
Quadrat	12	2%
Brücke	8	2%
Gesamtergebnis	570	100%

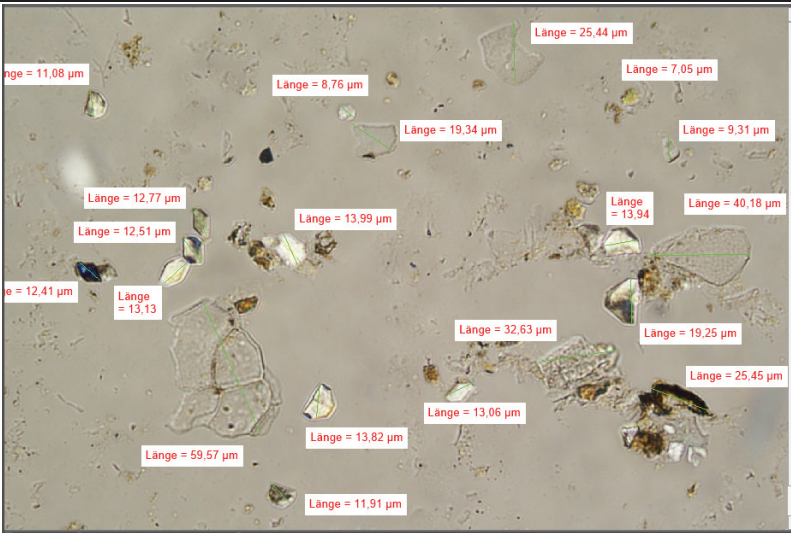
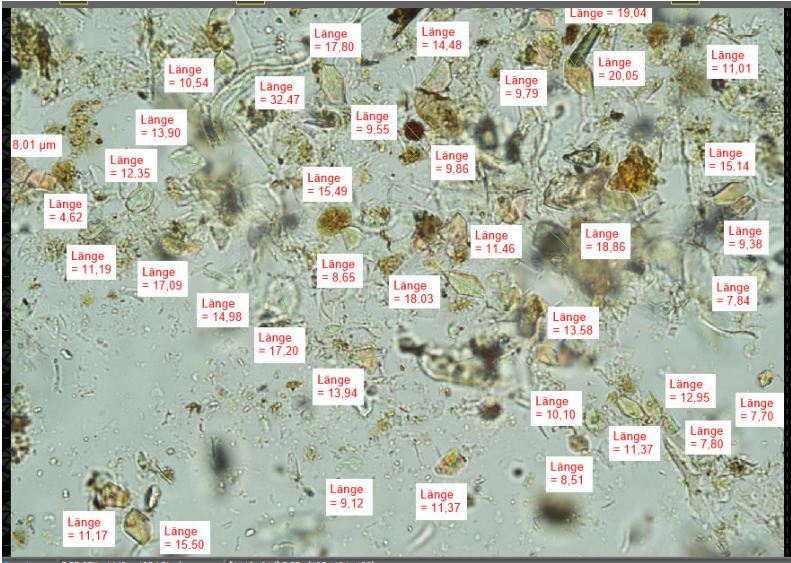
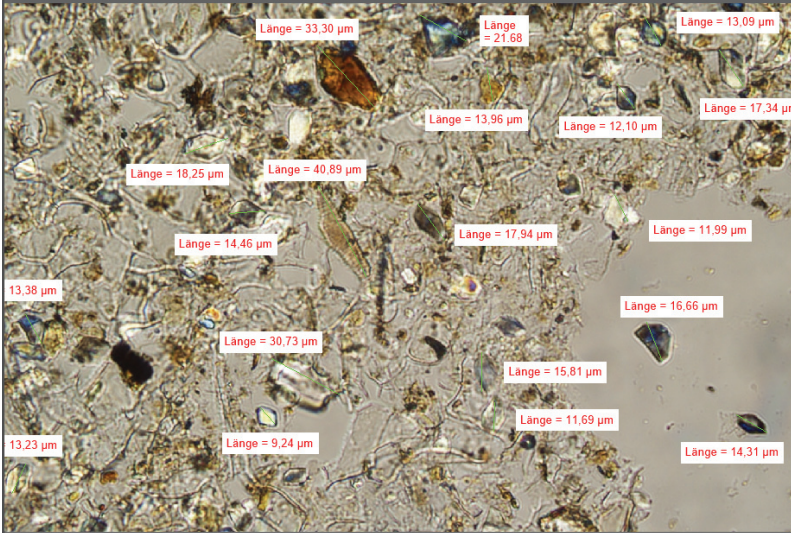
Abb 13: Stieleiche: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Quercus_robur/

Stieleiche:

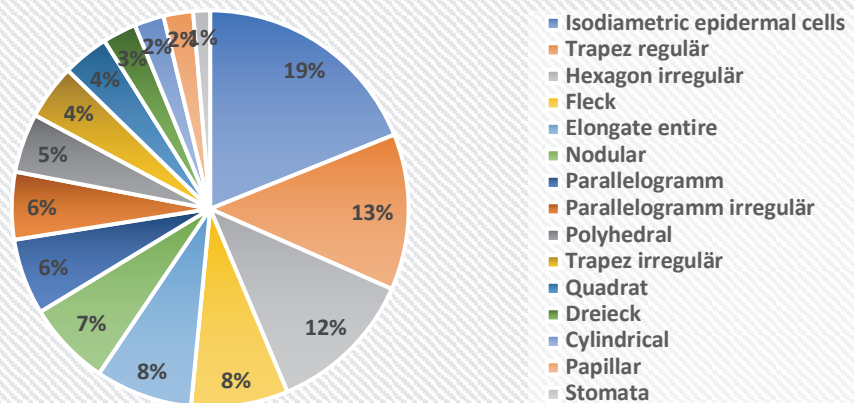
- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Elongate entire, Nodular, Polyhedral, Trapez förmige, Diamant/Raute, Hexagon irregulär und Isodiametric epidermal cells
- Größenverhältnisse: Polyhedral sind sowohl von der Breite sowie von der Länge imposant. Die Elongate entire und Brachiate sind besonders lang. Sie können eine Länge von 27 μm bis 108 μm erreichen.
- Farbigkeit: Die Isodiametric epidermal cells, sowie die Elongate entire und Brachiate Phytolithen sind alle transparent. Alle restliche Phytolithen haben eine braune/grüne/orange Farbe.

Traubeneiche: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

TRAUBENEICHE	Deutscher Name: Traubeneiche Lateinische Bezeichnung: <i>Quercus petraea</i> Familie: Buchengewächse (Fagaceae) Gattung: <i>Quercus</i> Art: <i>petraea</i>, Herkunft: einheimisch Vorkommen: häufig in Mitteleuropa, nördlich der Alpen bis auf 700 m, in den Südalpen bis auf 1600 m. Standort: trockene, sandige bis frische Steinböden und Lehm Böden. Blätter: Blätter an beiden Seiten mit 5 bis 7 dreieckigen, gerundeten Lappen, symmetrisch angeordnet, Laubaustrieb: Mai bis Juni, Blüte: Blüten unscheinbar, in eingeschlechtigen Ständen. Weibliche Blüten zu 1 bis 5. Männliche Kätzchen bis 6 cm lang, schlaff hängend. Besonderheiten: Reife Eicheln keimen am Boden im Herbst, zunächst wird ein Wurzelsystem entwickelt. Nährstoffe werden in den beiden fleischigen Keimblättern gespeichert Alter: bis zu 800 Jahre. (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 10,67 µm Trapez regulär Länge: 15,01 µm Hexagon irregulär Länge: 14,79 µm Trapez regulär Länge: 21,25 µm Muschel Länge: 42,21 µm Isodiametric epidermal cells	 This micrograph displays a variety of phytoliths from Quercus petraea. The shapes include regular trapezoids, irregular hexagons, and shell-like structures. Numerous labels indicate specific lengths in micrometers (µm): 10,67, 15,01, 15,51, 11,17, 14,79, 13,64, 13,22, 15,10, 30,20, 21,25, 19,49, 13,38, 14,12, 29,01, 30,04, and 42,21.
Länge: 16,09 µm Trapez irregulär Länge: 18,08 µm Hexagon irregulär Länge: 13,73 µm Trapez regulär Länge: 17,87 µm Parallelogramm irregulär Länge: 10,67 µm Trapez regulär	 This micrograph shows another set of phytoliths from Quercus petraea, including irregular trapezoids, irregular hexagons, and parallelograms. Labels indicate lengths in micrometers (µm): 16,09, 16,64, 17,87, 13,83, 13,73, 13,47, 16,89, 10,67, 14,09, 9,83, 16,85, 18,56, 11,05, 18,08, 15,31, 14,10, and 10,67.

Länge: 59,57 μm Isodiametric epidermal cells Länge: 19,25 μm Trapez regulär Länge: 13,82 μm Trapez regulär Länge: 13,94 μm Trapez regulär Länge: 13,13 μm Hexagon irregulär	
Länge: 17,80 μm Hexagon irregulär Länge: 14,48 μm Trapez regulär Länge: 18,03 μm Spitzwinkliges Dreieck Länge: 11,46 μm Trapez regulär Länge: 20,05 μm Hexagon irregulär	
Länge: 16,66 μm Trapez regulär Länge: 13,38 μm Trapez regulär Länge: 18,25 μm Hexagon irregulär Länge: 33,30 μm Polyhedral Länge: 9,24 μm Raute/Diamant regulär	

Traubeneiche, Häufigkeit der identifizierbaren Phytolithen, Auswertung von 100 Fotos



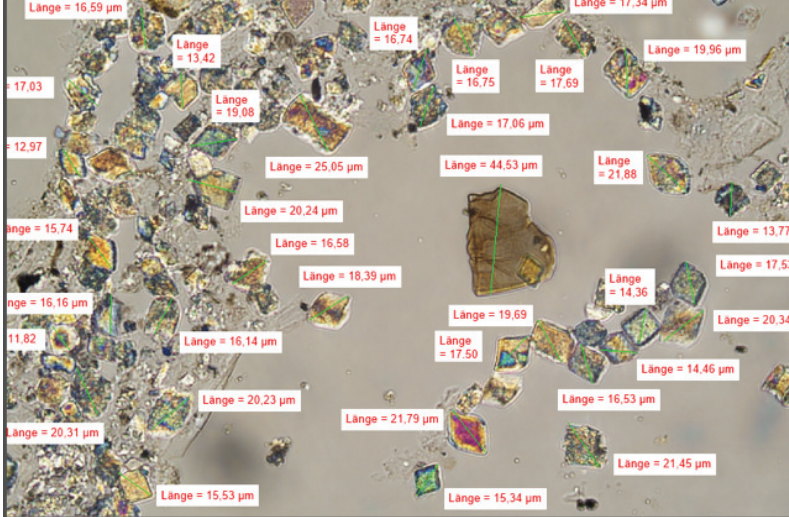
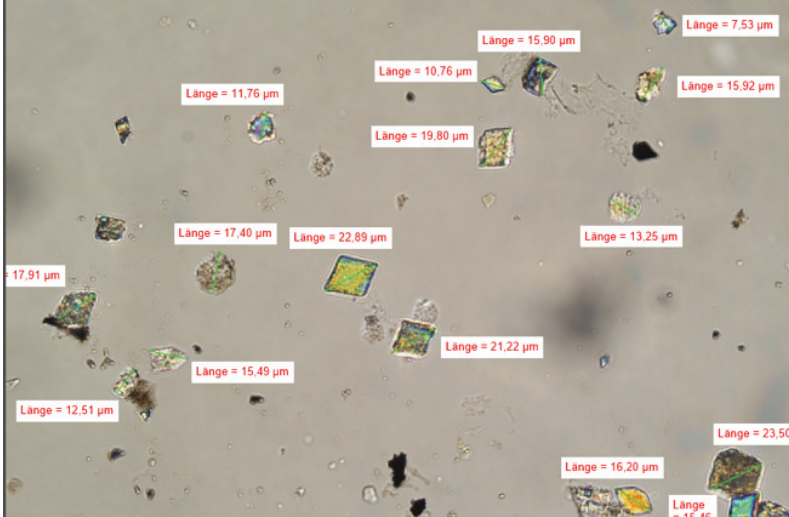
Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Isodiametric epidermal cells	55	19%
Trapez regulär	37	13%
Hexagon irregulär	35	12%
Fleck	23	8%
Elongate entire	23	8%
Nodular	20	7%
Parallelogramm	18	6%
Parallelogramm irregulär	16	6%
Polyhedral	14	5%
Trapez irregulär	13	4%
Quadrat	11	4%
Dreieck	8	3%
Cylindrical	7	2%
Papillar	7	2%
Stomata	4	1%
Gesamtergebnis	291	100%

Abb 14: Traubeneiche: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Quercus_petraea/

Traubeneiche:

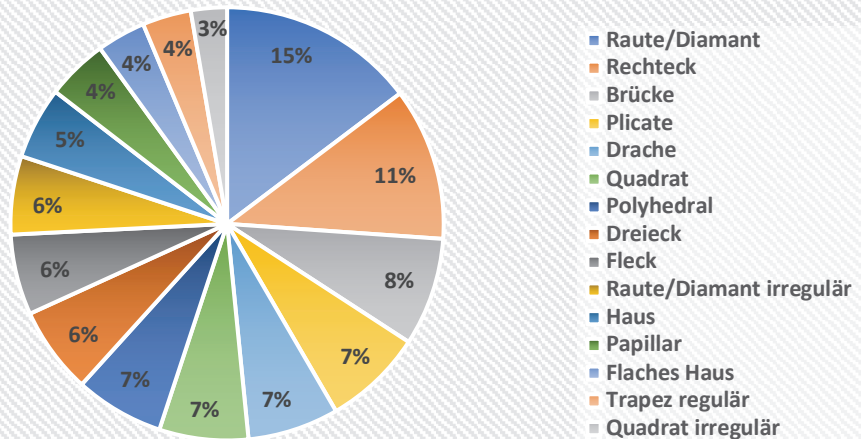
- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Trapez regulär, Trapez irregulär, Hexagon irregulär, Raute/Diamant regulär, Isodiametric epidermal cells, Parallelogramm irregulär, Elongate entire und Fleck.
- Größenverhältnisse: Isodiametric epidermal cells gehören zu den größten Phytolithen die zu finden sind. Die Isodiametric epidermal cells haben eine Länge von 10 μm bis 60 μm .
- Farbigkeit: Die meisten Phytolithen haben eine blaue/weiße/graue und bräunliche Farbe. Andere Phytolithen wie die Isodiametric epidermal cells haben eine transparente Farbe.

Holz-Birne: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

HOLZ-BIRNE	Deutscher Name: Holz-Birne, Lateinischer Name: <i>Pyrus Pyraeaster</i> Familie: Rosengewächse, (Rosaceae), Gattung: <i>Pyrus</i>, Art: <i>pyraeaster</i> Herkunft: einheimisch, Vorkommen: In Mitteleuropa, darunter Mitte- und Süddeutschland, Standort: sonnig, durchlässiger, feuchter nährstoffreicher Boden, Blätter: 3 bis 7 cm lang und 2 bis 5 cm breit, vorne kurz zugespitzt, 2 bis 5 cm langem Blattstiel. Kurz nach dem Austrieb behaart, ansonsten immer kahl. Laubaustrieb: April, Mai Blüte: April, Mai, Besonderheiten: Baumwuchs 5-15m, Herzwurzler, neigt zur Ausläuferbildung, Alter: 100-150 Jahre (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 44,53µm Polyhedral Länge: 21,79µm Diamant/Raute Länge: 15,34µm Diamant/Raute Länge: 19,08µm Diamant irregulär Länge: 13,42µm Brücke	 This micrograph displays a dense collection of phytoliths. The shapes are predominantly polyhedral and diamond-shaped, with some irregular forms. Numerous labels are present, indicating specific measurements in micrometers (µm). Examples of labeled measurements include: 16.59, 17.03, 12.97, 15.74, 11.82, 16.16, 13.42, 19.08, 25.05, 20.24, 16.58, 18.39, 16.14, 20.23, 20.31, 15.53, 16.74, 16.75, 17.69, 17.06, 44.53, 21.88, 13.77, 17.53, 14.36, 19.69, 17.50, 21.79, 15.34, 14.46, 16.53, 21.45, 15.96, 17.34, and 19.96 µm.
Länge: 22,89µm Diamant/Raute Länge: 15,49µm Haus Länge: 21,22µm Diamant/Raute Länge: 16,20µm Diamant irregulär Länge: 15,46µm Diamant/Raute	 This micrograph shows a more sparse distribution of phytoliths compared to the first image. The shapes include diamond-shaped, house-shaped, and irregular forms. Labeled measurements in micrometers (µm) include: 17.91, 12.51, 15.49, 17.40, 11.76, 22.89, 19.80, 10.76, 15.90, 7.53, 15.92, 13.25, 21.22, 16.20, 15.46, 23.50, and 15.34 µm.

Länge: 20,09µm Diamant/Raute Länge: 15,34µm Haus Länge: 20,82µm Diamant/Raute Länge: 18,90µm Diamant/Raute Länge: 13,20µm Diamant/Raute	
Länge: 20,62µm Diamant/Raute Länge: 19,59µm Diamant/Raute Länge: 22,78µm Rechteck Länge: 22,93µm Diamant/Raute Länge: 21,98µm Raute/ Diamant irregulär	
Länge: 65,16 µm Polyhedral Länge: 20,41µm Diamant/Raute Länge: 17,10µm Plicate Länge: 17,10µm Diamant/Raute Länge: 21,55µm Brücke	

Holzbirne, Häufigkeit der identifizierbaren Phytolithen, Auswertung von 100 Fotos



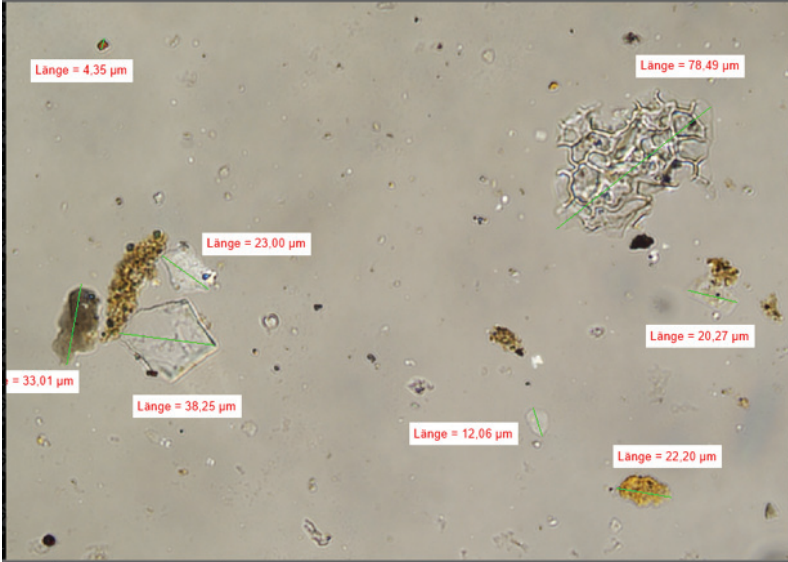
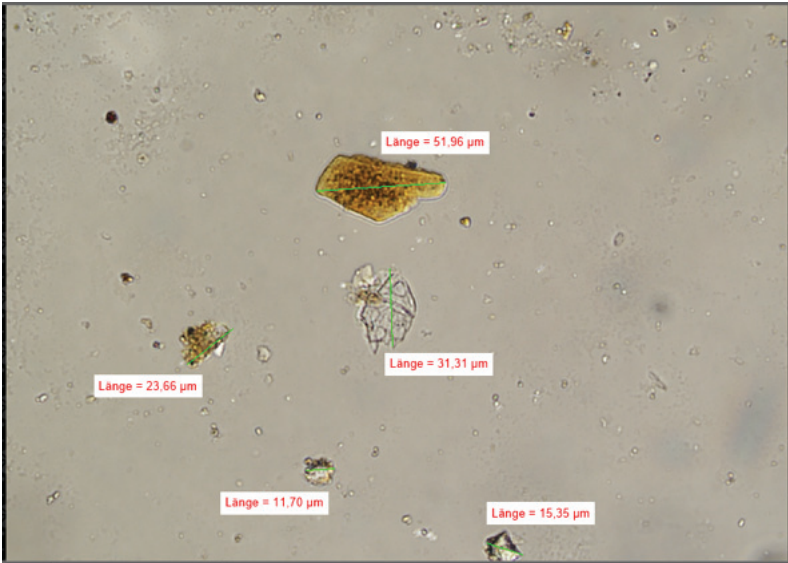
Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Raute/Diamant	93	15%
Rechteck	72	11%
Brücke	51	8%
Plicate	47	7%
Drache	43	7%
Quadrat	42	7%
Polyhedral	42	7%
Dreieck	41	6%
Fleck	38	6%
Raute/Diamant irregulär	37	6%
Haus	34	5%
Papillar	29	4%
Flaches Haus	23	4%
Trapez regulär	23	4%
Quadrat irregulär	17	3%
Gesamtergebnis	632	100%

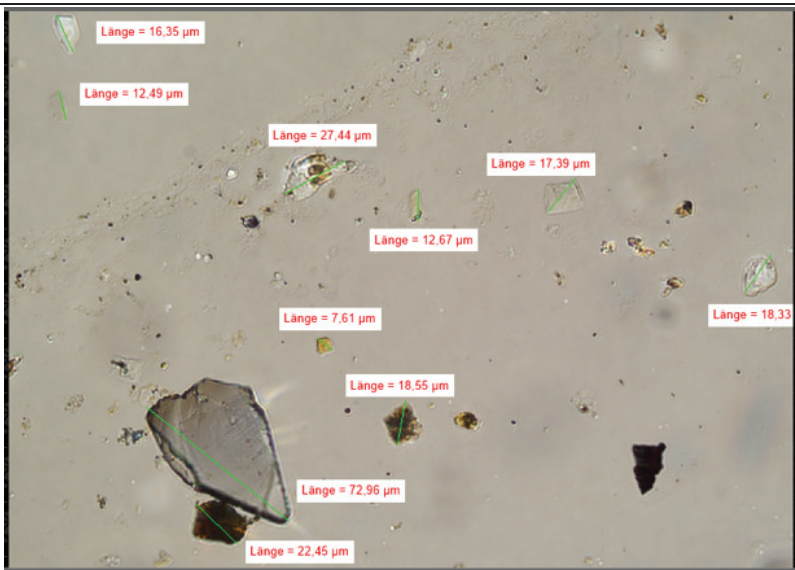
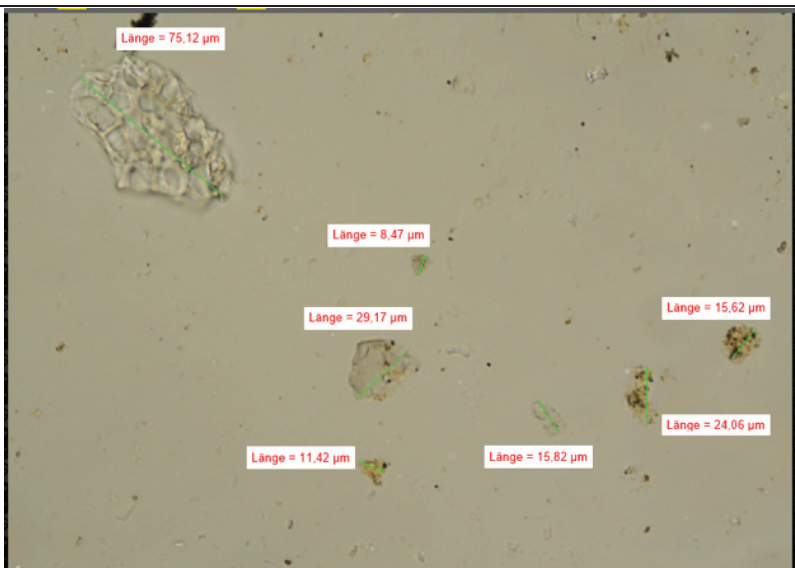
Abb 15: Holzbirne: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), <https://www.baumkunde.de/Pyru.pyraeaster/>

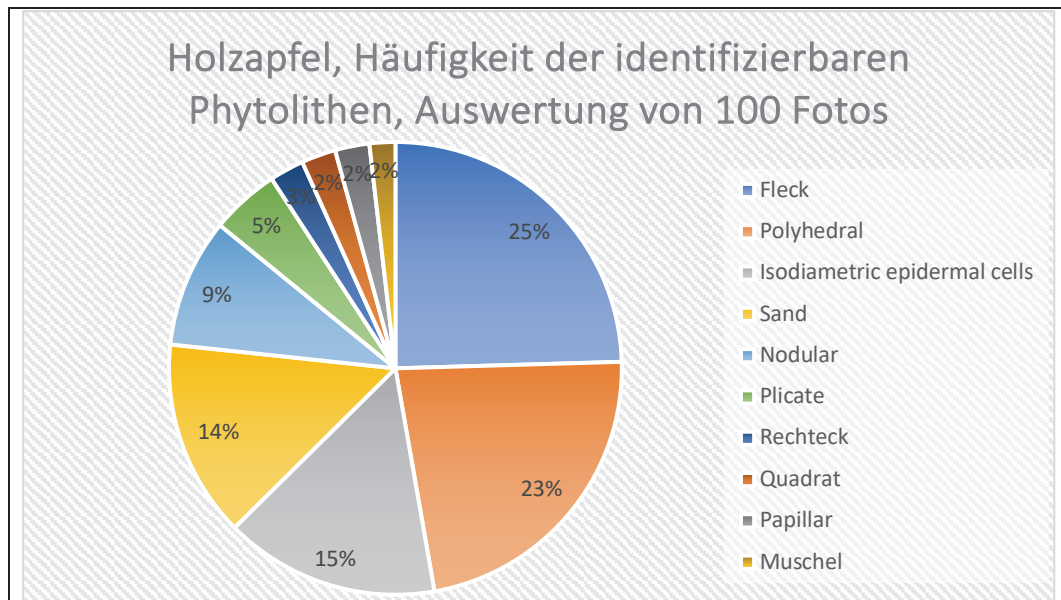
Holzbirne:

- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Diamant/Raute, Rechteck, Brücke, Plicate, Drache und Polyhedral.
- Größenverhältnisse: Die größten Phytolithen bleiben immer noch die Polyhedrale, sie können eine Länge von 44 μm bis 65 μm erreichen. dennoch ist es interessant zu erwähnen, dass die Diamant/Raute Phytolithen bei der Holzbirne viele größer sind als bei den anderen untersuchten Proben. Es sind etliche zu finden zwischen 20- und 23 μm .
- Farbigkeit: Alle erwähnten Phytolithen haben buntere Farben als bei den anderen untersuchten Proben.

Holzapfel: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

HOLZAPFEL	Deutscher Name: Holzapfel Lateinischer Name: <i>Manus sylvestris</i> Familie: Rosengewächse (Rosaceae), Gattung: <i>Malus</i>, Art: <i>sylvestris</i> Herkunft: einheimisch, Vorkommen: Von Europa bis nach Vorderasien Standort: Der Holzapfel bevorzugt er sonnige bis halbschattige Plätze Blätter: eiförmig bis rundlich, kerbig gesägt, 4 bis 8 cm lang. Unterseite der Blätter unbehaart oder nur geringe Behaarung, Laubastrieb: Holzäpfel neigen dazu, vor der Blüte etwas Laub zu haben Blüte: Die Blütezeit ist von April bis Mai Besonderheiten: Baumwuchs bis zu 8 Metern Höhe und eine Breite von 4 Metern Alter: Kann bis zu 200 Jahre alt werden. (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 78,49µm Isodiametric epidermal cells Länge: 22,20µm Nodular Länge: 38,25µm Polyhedral Länge: 23,00µm Polyhedral Länge: 33,01µm Polyhedral	
Länge: 51,96µm Polyhedral Länge: 31,31µm Isodiametric epidermal cells Länge: 23,66µm Sand Länge: 11,70µm Plicate Länge: 15,35µm Trapez regulär	

Länge: 46,81µm Polyhedral Länge: 15,22µm Polyhedral Länge: 17,10µm Polyhedral Länge: 8,70µm Polyhedral Länge: 11,32µm Haus	 Micrograph showing various particles with length measurements: - Länge = 46,81 µm - Länge = 8,51 µm - Länge = 15,22 µm - Länge = 17,10 µm - Länge = 9,50 µm - Länge = 9,81 µm - Länge = 8,43 µm - Länge = 8,70 µm - Länge = 9,73 µm - Länge = 11,32 µm
Länge: 72,96µm Polyhedral Länge: 17,39µm Polyhedral Länge: 18,55µm Quadrat Länge: 22,45µm Nodular Länge: 16,35µm Polyhedral	 Micrograph showing various particles with length measurements: - Länge = 16,35 µm - Länge = 12,49 µm - Länge = 27,44 µm - Länge = 17,39 µm - Länge = 12,67 µm - Länge = 7,61 µm - Länge = 18,55 µm - Länge = 72,96 µm - Länge = 22,45 µm - Länge = 18,33 µm
Länge: 75,12µm Isodiametric epidermal cells Länge: 29,17µm Polyhedral Länge: 15,62µm Sand Länge: 24,06µm Sand Länge: 11,42µm Sand	 Micrograph showing various particles with length measurements: - Länge = 75,12 µm - Länge = 8,47 µm - Länge = 29,17 µm - Länge = 15,62 µm - Länge = 24,06 µm - Länge = 11,42 µm - Länge = 15,82 µm



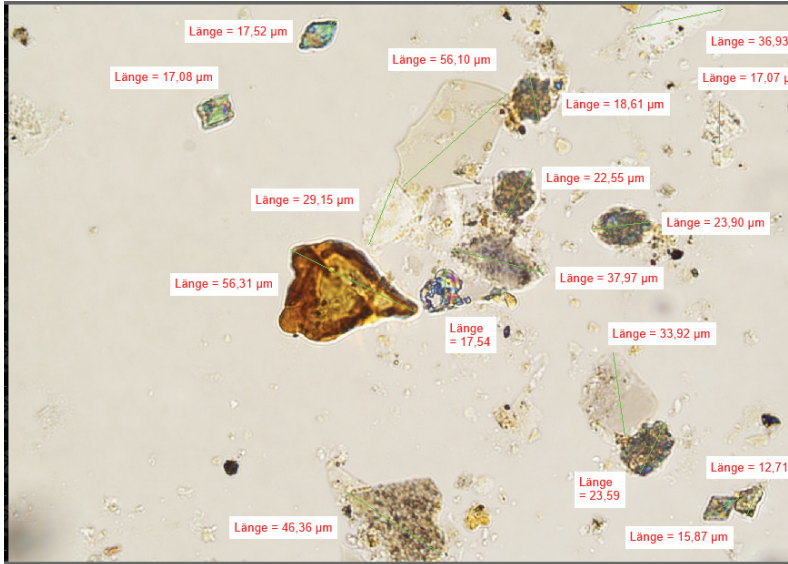
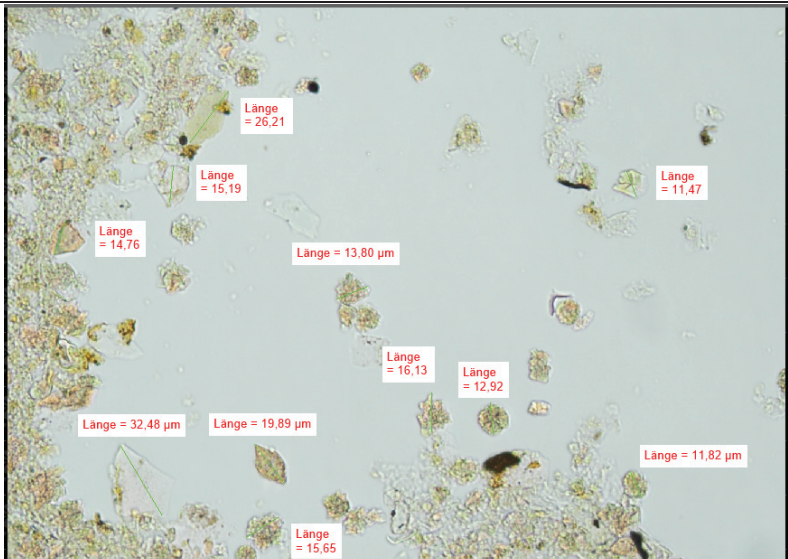
Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Fleck	40	25%
Polyhedral	37	23%
Isodiametric epidermal cells	25	15%
Sand	23	14%
Nodular	15	9%
Plicate	8	5%
Rechteck	4	3%
Quadrat	4	2%
Papillar	4	2%
Muschel	3	2%
Gesamtergebnis	163	100%

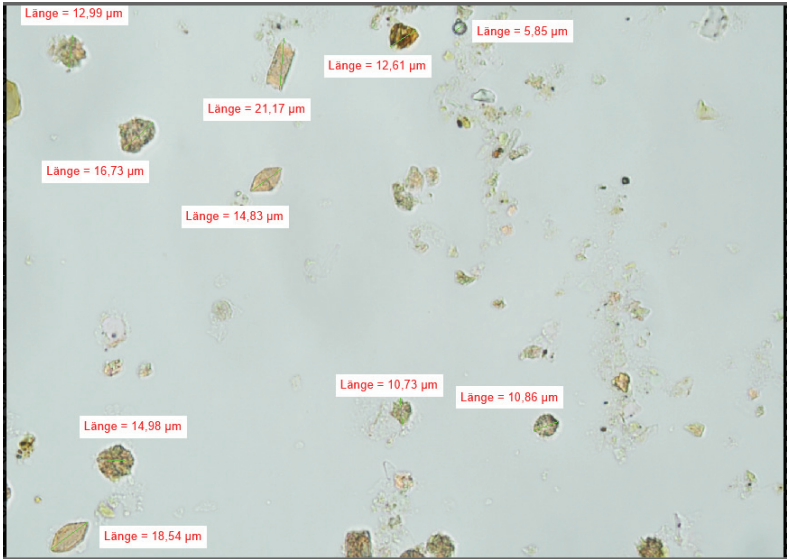
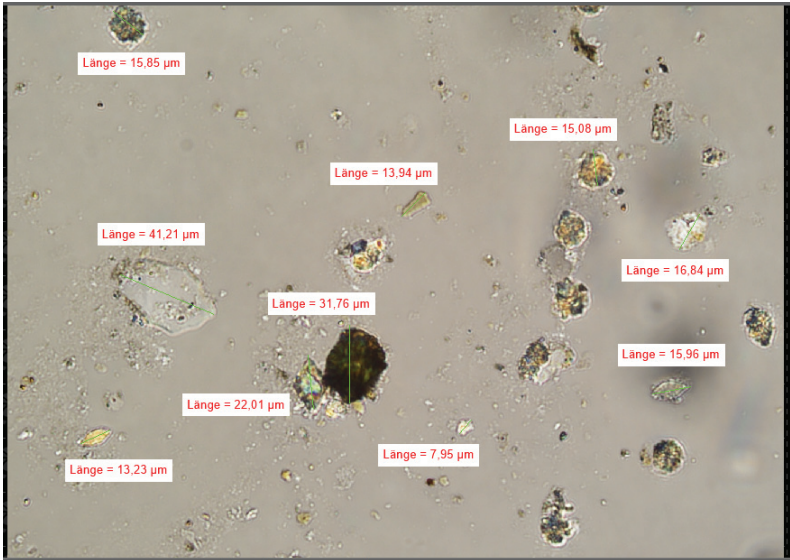
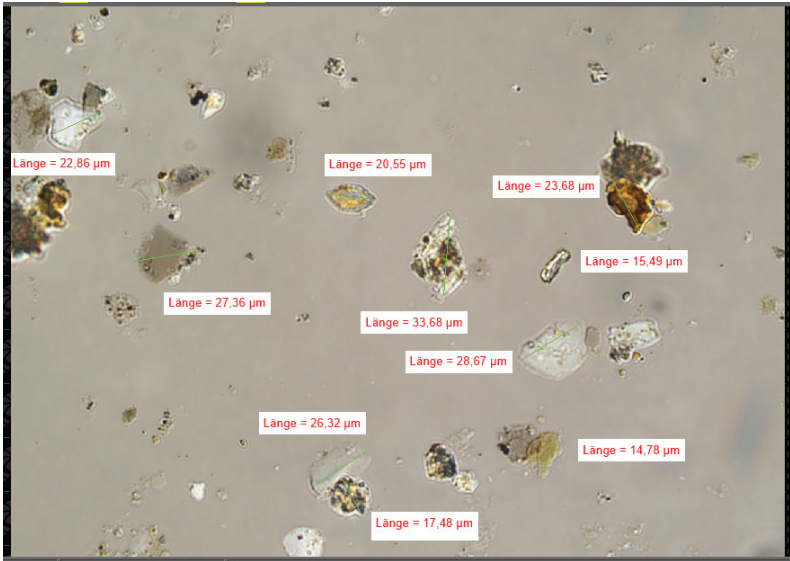
Abb 16: Holzapfel: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Malus_sylvestris/

Holzapfel:

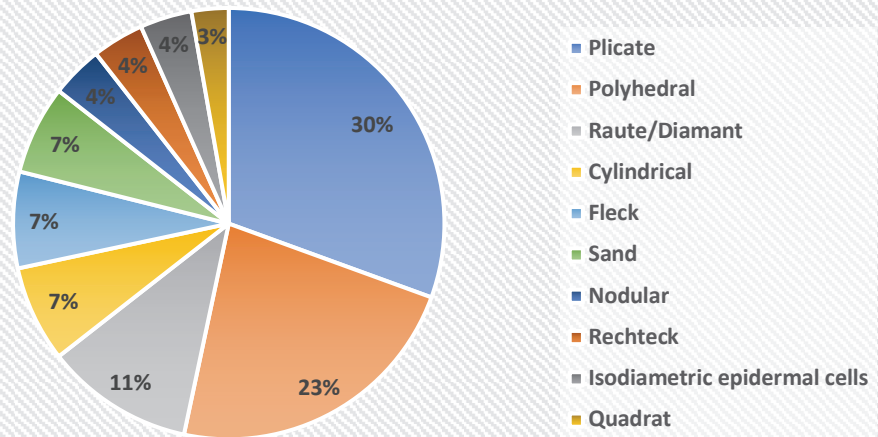
- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Isodiametric epidermal cells, Polyhedral, Fleck, Nodular und Sand.
- Größenverhältnisse: Die größten Phytolithen die bei dieser Probe zu finden sind, sind die Polyhedral, zwischen 40µm und 75µm und Isodiametric epidermal cells, zwischen 30µm und 79µm.
- Farbigkeit: Die Polyhedral Phytolithen haben entweder eine graue Farbe, oder eine bernsteinartige Farbe. Die Isodiametric epidermal cells sind wie üblich transparent.

Schwarzerle: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

SCHWARZERLE	Deutscher Name: Schwarzerle Lateinischer Name: <i>Alnus glutinosa</i> Familie: Birkengewächse (Betulaceae) Gattung: <i>Alnus</i> Art: <i>glutinosa</i> Herkunft: einheimisch Vorkommen: In Mitteleuropa vom Flachland bis zu 1200 m Höhe in den Alpen Standort: Blätter: Blätter sind 2 bis 3 cm lang gestielt, mit 4 bis 9 cm langer Spreite. Vorne sind sie oft ausgerandet und Oberseits dunkelgrün, unterseits mit gelblichen Haarbüscheln. Laubaustrieb: Im Februar beginnen die männlichen Kätzchen vorm Laubaustrieb zu blühen. Die Weiblichen Kätzchen sind kleiner und kommen später zur Blüte Blüten: Die Blütezeit ist zwischen März und April, sie dauert von zwei bis vier Wochen Besonderheiten: Alter: Können bis zu 120 Jahre alt werden. (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 56,31µm Polyhedral Länge: 17,52µm Diamant/Raute Länge: 17,08µm Rechteck Länge: 18,61µm Nodular Länge: 15,87µm Diamant/Raute	 Micrograph showing various phytoliths of <i>Alnus glutinosa</i>. Measurements (in µm) are provided for several specimens: 17,52, 56,10, 36,93, 17,07, 18,61, 22,55, 23,90, 37,97, 33,92, 12,71, 15,87, 23,59, 17,54, 29,15, 56,31, 46,36, 17,08, and 17,52.
Länge: 19,89µm Raute/ Diamant irregulär Länge: 14,76µm Haus Länge: 12,92µm Plicate Länge: 15,65µm Plicate Länge: 11,82µm Plicate	 Micrograph showing various phytoliths of <i>Alnus glutinosa</i>. Measurements (in µm) are provided for several specimens: 26,21, 15,19, 14,76, 13,80, 16,13, 12,92, 11,47, 11,82, 15,65, 19,89, 32,48, and 15,87.

Länge: 21,17µm Rechteck Länge: 14,83µm Raute/ Diamant irregulär Länge: 14,98µm Plicate Länge: 18,54µm Raute/ Diamant irregulär Länge: 16,73µm Plicate	
Länge: 15,85µm Plicate Länge: 22,01µm Diamant/Raute Länge: 13,23µm Spitzwinkliges Dreieck Länge: 15,96µm Diamant/Raute Länge: 15,08µm Plicate	
Länge: 20,55µm Raute/ Diamant irregulär Länge: 17,48µm Plicate Länge: 23,68µm Polyhedral Länge: 27,36µm Polyhedral Länge: 28,67µm Polyhedral	

Schwarzerle, Häufigkeit der identifizierbaren Phytolithen, Auswertung von 100 Fotos



Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Plicate	55	30%
Polyhedral	41	23%
Raute/Diamant	20	11%
Cylindrical	13	7%
Fleck	13	7%
Sand	12	7%
Nodular	7	4%
Rechteck	7	4%
Isodiametric epidermal cells	7	4%
Quadrat	5	3%
Gesamtergebnis	180	100%

Abb 17: Schwarzerle: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Alnus_glutinosa/

Schwarzerle:

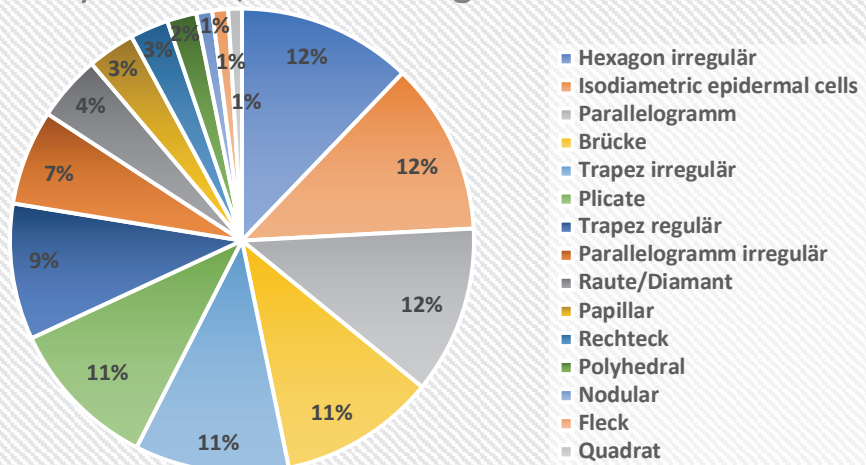
- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Plicate, Cylindrical, Fleck, Polyhedral und Diamant/Raute.
- Größenverhältnisse: Die größten Phytolithen , die hier gefunden wurden, sind die Polyhedral, zwischen 20µm bis 60µm.
- Farbigkeit: Die Polyhedral Phytolithen haben entweder eine schwarze, graue, weiße oder eine bernstein Farbe, aber manchmal sind sie auch transparent. Plicate sowie Diamant/Raute Phytolithen besitzen eine Reihe von verschiedenen Farben, aber meistens ist es eine Mischung aus blau, grün, braun und orange.

Moorbirke: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

MOORBIRKE	Deutscher Name: Moorbirke Lateinischer Name: <i>Betula pubescens</i> Familie: Birkengewächse (Betulaceae) Gattung: <i>Betula</i> Art: <i>pubescens</i> Vorkommen: In Mitteleuropa von Norddeutschen Flachland bis zu den Alpen in einer Höhe von 2200 Metern Standort: sonnig, leichter Schatten wird toleriert Blätter: Bis 2,5 cm lang gestielt, im Umriss rautenförmig, sie sind 3 bis 5 cm lang und bis 3,5 cm breit, Laubaustrieb: Die kätzchenartigen Blütenstände erscheinen zeitgleich mit dem Laubaustrieb. Die männlichen Kätzchen sind im Sommer des Vorjahres angelegt. Blüte: Die Blütenstände erscheinen von April bis Mai Besonderheiten: erreicht eine Höhe von 5 bis 20 Metern Alter: bis zu 120 Jahre alt. (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 20,89µm Trapez regulär Länge: 24,91µm Quadrat irregulär Länge: 22,49µm Parallelogramm irregulär Länge: 17,40µm Trapez regulär Länge: 17,18µm Trapez regulär	 This microscopic image displays a variety of phytoliths from <i>Betula pubescens</i>. The phytoliths exhibit different morphologies, including elongated trapezoidal shapes, irregular squares, and parallelograms. Numerous red labels with white text indicate specific measurements in micrometers (µm) for individual phytoliths, such as 'Länge = 20,89 µm', 'Länge = 24,91 µm', and 'Länge = 17,40 µm'. The background is a light greyish-brown, typical of a microscopic slide.
Länge: 81,74µm Isodiametric epidermal cells Länge: 14,08µm Diamant/Raute Länge: 13,91µm Trapez regulär Länge: 12,91µm Trapez regulär Länge: 17,34µm Quadrat irregulär	 This microscopic image shows another set of phytoliths from <i>Betula pubescens</i>. It includes larger isodiametric epidermal cells, diamond-shaped or rhombic structures, and various trapezoidal and irregular square phytoliths. Red labels with white text provide measurements for several phytoliths, such as 'Länge = 81,74 µm', 'Länge = 14,08 µm', and 'Länge = 13,91 µm'. The overall appearance is similar to the first image, with a light greyish-brown background.

Länge: 15,04µm Brücke Länge: 21,71µm Hexagon irregulär Länge: 21,93µm Trapez irregulär Länge: 19,47µm Helical Länge: 21,85µm Parallelogramm	
Länge: 14,94µm Trapez regulär Länge: 17,31µm Trapez regulär Länge: 16,39µm Rechteck Länge: 15,90µm Trapez regulär Länge: 16,51µm Diamant/Raute	
Länge: 20,41 µm Trapez regulär Länge: 16,22µm Brücke Länge: 12,18µm Trapez regulär Länge: 16,20µm Rechteck Länge: 14,47µm Diamant/Raute	

Moorbirke, Häufigkeit der identifizierbaren Phytolithen, Auswertung von 100 Fotos



Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Hexagon irregulär	77	12%
Isodiametric epidermal cells	76	12%
Parallelogramm	74	12%
Brücke	69	11%
Trapez irregulär	68	11%
Plicate	67	11%
Trapez regulär	60	9%
Parallelogramm irregulär	42	7%
Raute/Diamant	29	4%
Papillar	21	3%
Rechteck	17	3%
Polyhedral	13	2%
Nodular	7	1%
Fleck	7	1%
Quadrat	6	1%
Gesamtergebnis	633	100%

Abb 18: Moorbirke: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Betula_pubescens/

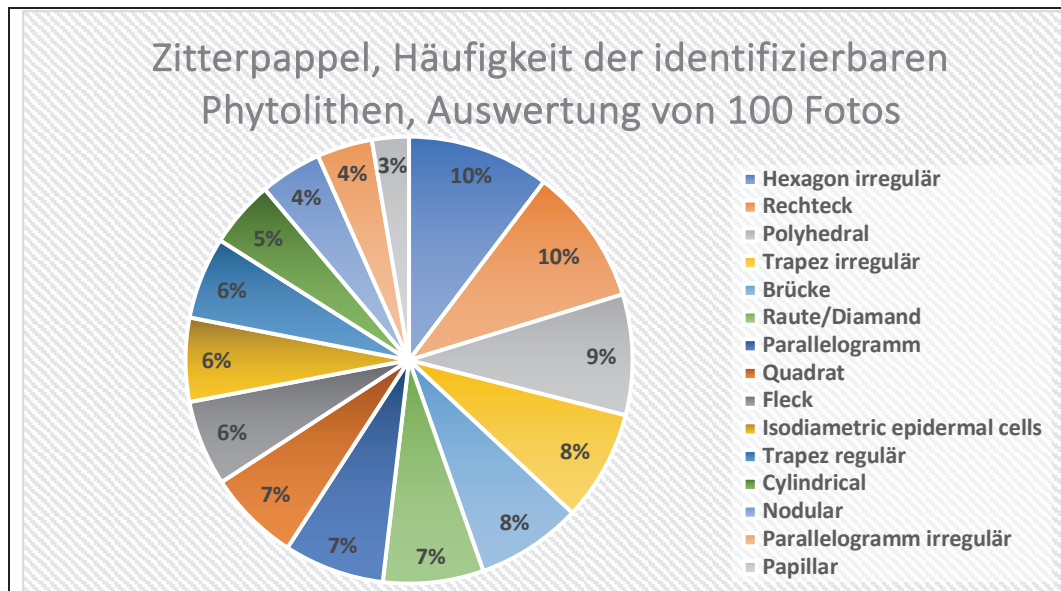
Moorbirke:

- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Isodiametric epidermal cells, Trapez regulär/irregulär, Rechteck, Parallelogramm und Hexagon irregulär.
- Größenverhältnisse: die größten Phytolithen sind die Polyhedral und Isodiametric epidermal cells, dennoch sind sie in der Minderheit im Vergleich zu den anderen Phytolithen. Die Isodiametric epidermal cells können eine Länge bis zu 81 μm erreichen und die Polyhedral Phytolithen bis zu 62 μm .
- Farbigkeit: Alle vorkommenden Phytolithen besitzen eine Mischung aus den verschiedensten Farben, aber die häufigsten Farben sind blau, grün, braun, orange und grau.

Zitterpappel: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

ZITTERPAPPEL	Deutscher Name: Zitterpappel Lateinischer Name: <i>Populus tremula</i> Familie: Weidengewächse (Salicaceae) Gattung: <i>Populus</i> Art: <i>tremula</i> Herkunft: einheimisch Vorkommen: In Mitteleuropa von den Ebenen bis zu den Alpen in 1800 Metern Höhe Standort: Blätter: Spreite sind kreisrund, mit einem Durchmesser zwischen 3 bis 10 cm mit kurzer angedeuteter Spitze, das Blattstiel ist 3 bis 8 cm lang und seitlich zusammengedrückt, Laubaustrieb: Die Blätter sind wechselständig. Der Laubaustrieb findet im April satt. Blüte: Die Blütenstände erscheinen zwischen März und April Besonderheiten: eine Höhe bis zu 35 Metern und ein Durchmesser von bis zu 100 cm Alter: Sie können ein Alter von ca. 100 Jahren erhalten. (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 12,96µm Diamant/Raute Länge: 21,08µm Trapez regulär Länge: 12,31µm Diamant/Raute Länge: 13,74µm Raute/ Diamant irregulär Länge: 11,75µm Diamant/Raute	
Länge: 10,94µm Trapez regulär Länge: 14,44µm Raute/ Diamant irregulär Länge: 16,40µm Elongate Velloate Länge: 12,42µm Hexagon irregulär Länge: 12,86µm Brücke	

Länge: 9,66µm Diamant/Raute Länge: 12,54µm Trapez regulär Länge: 10,89µm Trapez regulär Länge: 10,64µm Rechteck Länge: 8,88µm Brücke	11,84 µm Länge = 8,88 µm Länge = 9,01 µm Länge = 11,69 µm Länge = 10,64 µm Länge = 9,66 µm Länge = 10,85 µm Länge = 7,20 µm Länge = 11,96 µm Länge = 10,96 µm Länge = 14,10 µm Länge = 16,12 µm Länge = 10,85 µm Länge = 13,68 µm Länge = 9,21 µm Länge = 13,82 µm Länge = 13,63 µm Länge = 13,88 µm Länge = 12,54 µm Länge = 34,79 µm Länge = 10,89 µm Länge = 10,23 µm Länge = 16,10 µm Länge = 12,39 µm
Länge: 12,13µm Trapez regulär Länge: 13,08µm Drache Länge: 11,42µm Trapez irregulär Länge: 11,12µm Hexagon irregulär Länge: 11,34µm Brücke	Länge = 11,42 µm Länge = 15,04 µm Länge = 15,25 µm Länge = 10,83 µm Länge = 11,96 µm Länge = 11,34 µm Länge = 12,91 µm Länge = 11,60 µm Länge = 15,56 µm Länge = 10,74 µm Länge = 11,68 µm Länge = 10,85 µm Länge = 10,17 µm Länge = 11,41 µm Länge = 13,08 µm Länge = 16,63 µm Länge = 12,58 µm Länge = 12,05 µm Länge = 11,20 µm Länge = 10,64 µm Länge = 12,13 µm Länge = 11,12 µm Länge = 16,13 µm Länge = 12,13 µm Länge = 8,43 µm Länge = 12,46 µm Länge = 5,19 µm Länge = 11,54 µm Länge = 15,71 µm Länge = 22,20 µm Länge = 4,03 µm Länge = 6,50 µm Länge = 7,76 µm Länge = 10,31 µm Länge = 5,57 µm Länge = 10,64 µm Länge = 10,97 µm Länge = 11,84 µm Länge = 4,76 µm Länge = 6,38 µm
Länge: 17,62µm Parallelogramm irregulär Länge: 14,05µm Diamant/Raute Länge: 10,98µm Diamant/Raute Länge: 12,90µm Diamant/Raute Länge: 9,16µm Quadrat	Länge = 9,21 µm Länge = 11,32 µm Länge = 17,62 µm Länge = 14,05 µm Länge = 12,84 µm Länge = 8,51 µm Länge = 9,29 µm Länge = 11,12 µm Länge = 9,83 µm Länge = 13,80 µm Länge = 6,66 µm Länge = 8,32 µm Länge = 9,82 µm Länge = 12,49 µm Länge = 11,32 µm Länge = 6,70 µm Länge = 8,32 µm Länge = 7,74 µm Länge = 7,38 µm Länge = 11,54 µm Länge = 14,69 µm Länge = 9,33 µm Länge = 9,64 µm Länge = 14,11 µm Länge = 12,31 µm Länge = 7,19 µm Länge = 11,75 µm Länge = 9,04 µm Länge = 10,54 µm Länge = 10,64 µm Länge = 10,98 µm Länge = 7,52 µm Länge = 12,81 µm Länge = 9,82 µm Länge = 9,72 µm Länge = 11,24 µm Länge = 10,64 µm Länge = 10,32 µm Länge = 10,98 µm Länge = 8,54 µm Länge = 10,02 µm Länge = 12,01 µm Länge = 10,07 µm



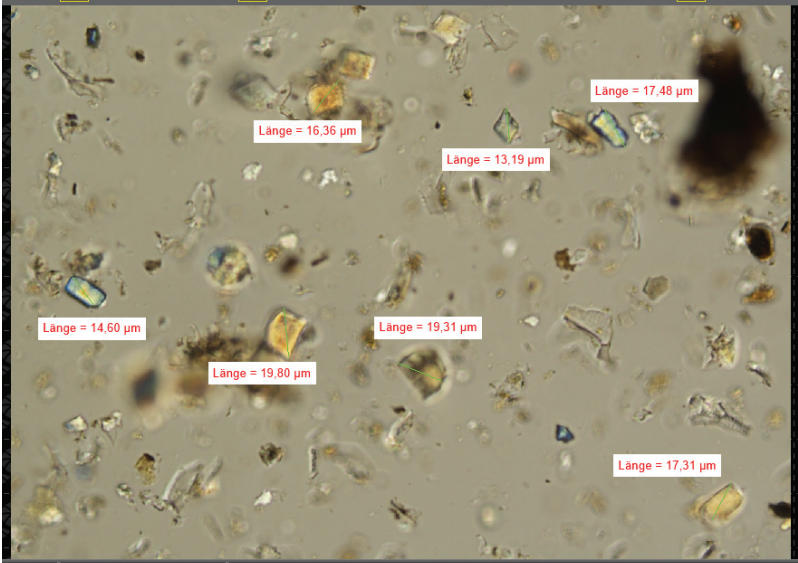
Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Hexagon irregulär	85	10%
Rechteck	82	10%
Polyhedral	72	9%
Trapez irregulär	66	8%
Brücke	63	8%
Raute/Diamant	60	7%
Parallelogramm	60	7%
Quadrat	55	7%
Fleck	51	6%
Isodiametric epidermal cells	50	6%
Trapez regulär	49	6%
Cylindrical	40	5%
Nodular	37	4%
Parallelogramm irregulär	33	4%
Papillar	22	3%
Gesamtergebnis	825	100%

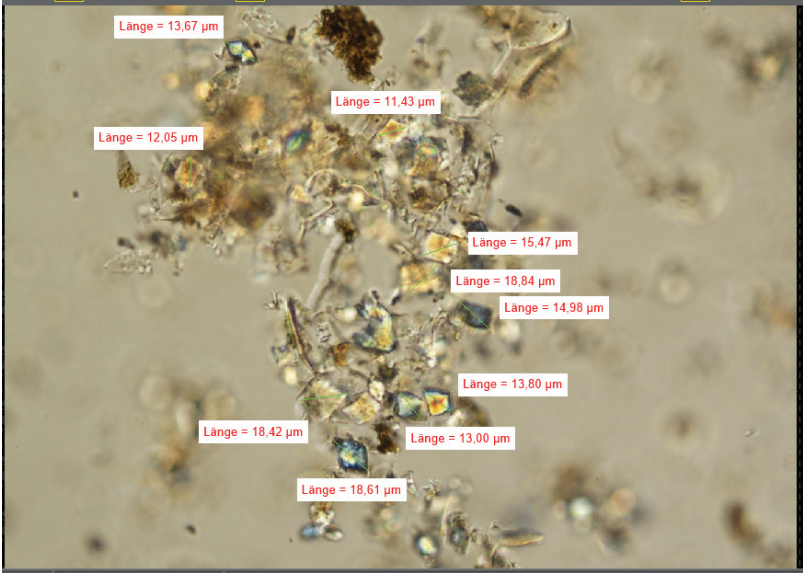
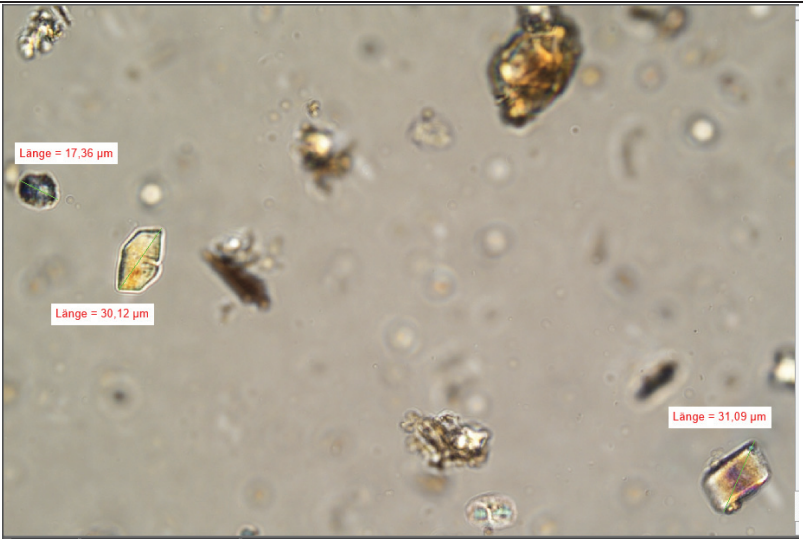
Abb 19: Zitterpappel: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Populus_tremula/

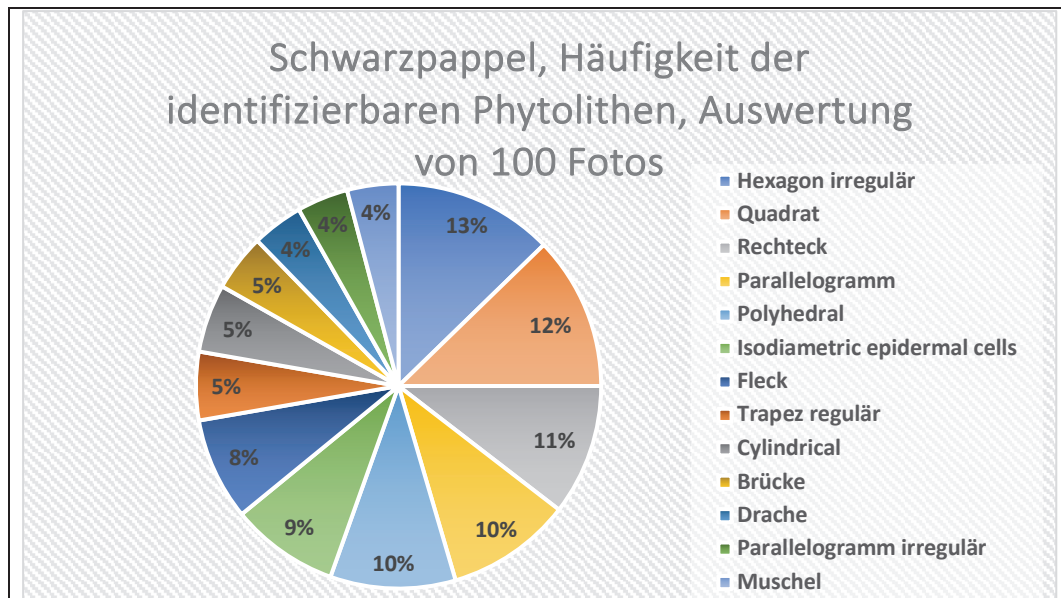
Zitterpappel:

- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Parallelogramm, Diamant/Raute, Trapez regulär/irregulär, Polyhedral, Brücke, Diamant irregulär und Hexagon irregulär
- Größenverhältnisse: Die Polyhedral Phytolithen bleiben immer noch die größten Phytolithen, dennoch liegen sie bei dieser Probe in der Minderzahl. Sie können eine Länge bis zu 37 µm erreichen.
- Farbigkeit: Die meisten hier erwähnten Phytolithen haben eine weiße Farbe, blau ist die zweithäufigste Farbe, vor allen bei den trapezartigen Phytolithen und den Parallelogramm Phytolithen.

Schwarzpappel: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

SCHWARZ-PAPPEL	Deutscher Name: Schwarzpappel Lateinische Bezeichnung: <i>Populus nigra</i> Familie: Weidengewächse (Salicaceae) Gattung: <i>Populus</i> Art: <i>nigra</i> Herkunft: einheimisch, Vorkommen: Mitteleuropa, Südeuropa und Osteuropa, Teile Asiens, Persiens und Nordwestafrikas, Standort: Sonnig bis absonnig, anpassungsfähig, auch an trockenen Standorten, optimales Wachstum aber auf feuchten, tiefgründigen, nährstoffreichen Böden, kalkliebend, Blätter: Blätter sehr variabel, 5 bis 12 cm lang, dreieckig-eiförmig bis rautenförmig, lang zugespitzt. Laubaustrieb: Anfang April bis Ende Oktober Blüte: Männliche Kätzchen rötlich-purpur, 5 bis 8 cm lang, hängend. Blühende weibliche Kätzchen gelbgrün, bis 10 cm lang, Alter: Die Schwarzpappel wird bis zu 300 Jahre alt. (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 19,05 µm Raute/Diamant regulär Länge: 17,38 µm Quadrat irregulär Länge: 21,96 µm Raute/Diamant regulär Länge: 17,17 µm Rechteck Länge: 19,68 µm Rechteck	 Micrograph showing various phytoliths of <i>Populus nigra</i>. The phytoliths are mostly small, angular, and translucent. Several are labeled with their lengths in micrometers (µm): 19,16 µm, 13,36 µm, 21,96 µm, 19,68 µm, 17,38 µm, 15,53 µm, 16,32 µm, 19,05 µm, 17,17 µm, and 19,68 µm.
Länge: 13,19 µm Raute/Diamant regulär Länge: 19,80 µm Brücke Länge: 14,60 µm Rechteck Länge: 19,31 µm Brücke Länge: 16,36 µm Rechteck	 Micrograph showing various phytoliths of <i>Populus nigra</i>. The phytoliths are mostly small, angular, and translucent. Several are labeled with their lengths in micrometers (µm): 17,48 µm, 16,36 µm, 13,19 µm, 14,60 µm, 19,31 µm, 19,80 µm, and 17,31 µm.

Länge: 13,80 µm Drache Länge: 18,42 µm Drache Länge: 18,61 µm Raute/Diamant regulär Länge: 15,47 µm Quadrat Länge: 11,43 µm Raute/Diamant regulär	 Länge = 13,67 µm Länge = 11,43 µm Länge = 12,05 µm Länge = 15,47 µm Länge = 18,84 µm Länge = 14,98 µm Länge = 13,80 µm Länge = 18,42 µm Länge = 13,00 µm Länge = 18,61 µm
Länge: 30,12 µm Hexagon irregulär Länge: 17,36 µm Muschel Länge: 31,09 µm Rechteck	 Länge = 17,36 µm Länge = 30,12 µm Länge = 31,09 µm
Länge: 15,49 µm Raute/Diamant regulär Länge: 21,24 µm Raute/Diamant regulär Länge: 16,88 µm Quadrat Länge: 15,23 µm Parallelogramm irregulär Länge: 11,68 µm Quadrat	 Länge = 9,29 µm Länge = 21,24 µm Länge = 16,88 µm Länge = 15,49 µm Länge = 18,09 µm Länge = 15,23 µm Länge = 11,68 µm



Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Hexagon irregulär	28	13%
Quadrat	27	12%
Rechteck	23	11%
Parallelogramm	22	10%
Polyhedral	22	10%
Isodiametric epidermal cells	19	9%
Fleck	18	8%
Trapez regulär	12	5%
Cylindrical	12	5%
Brücke	10	5%
Drache	9	4%
Parallelogramm irregulär	9	4%
Muschel	9	4%
Gesamtergebnis	220	100%

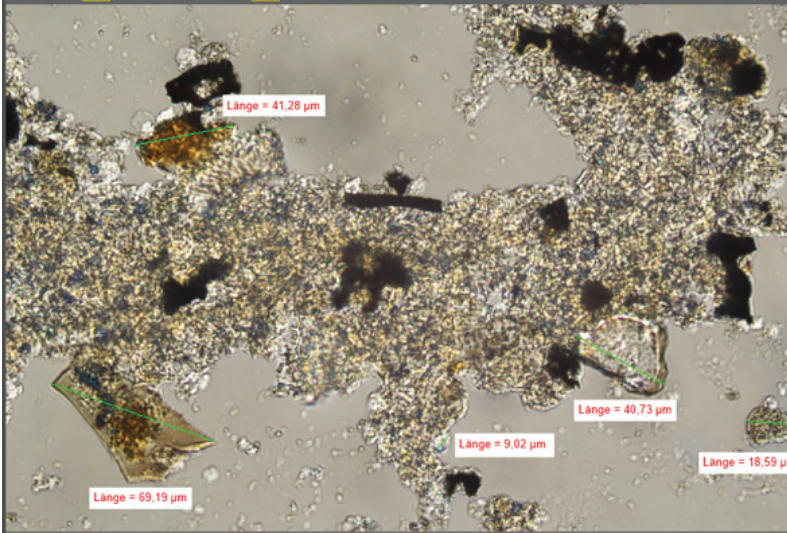
Abb 20: Schwarzpappel: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Populus_nigra/

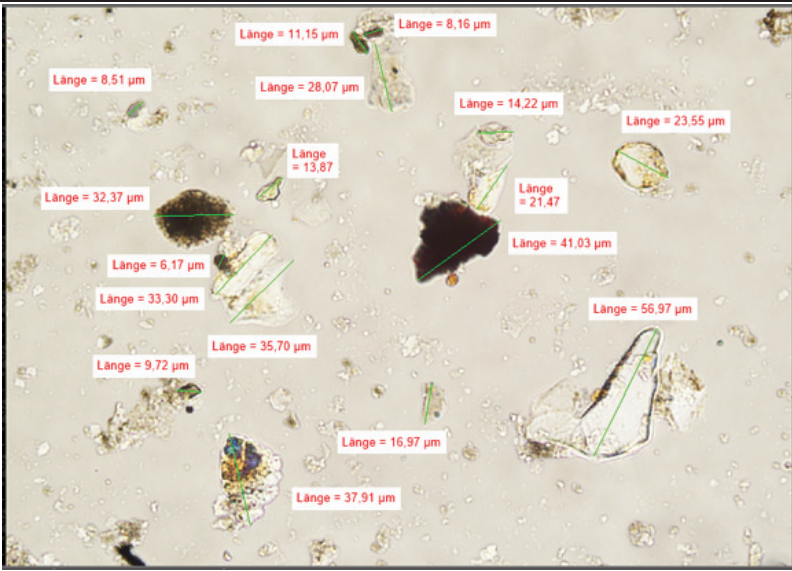
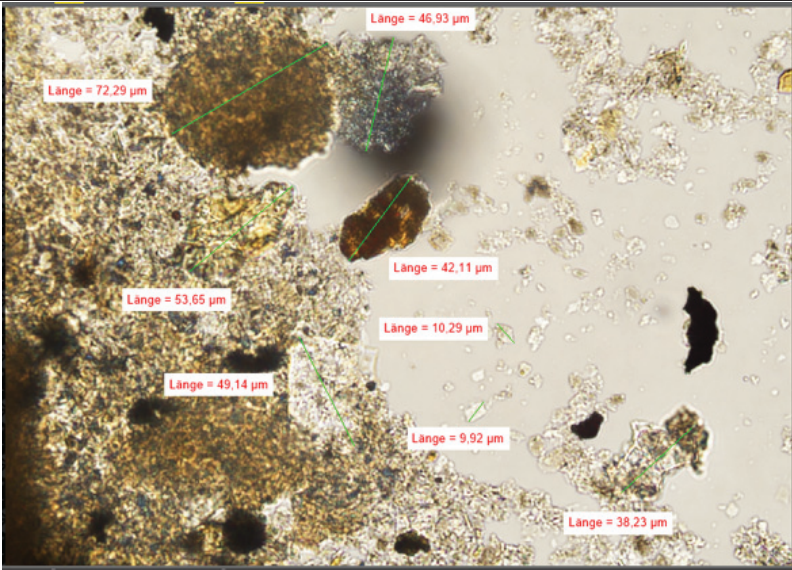
Schwarzpappel:

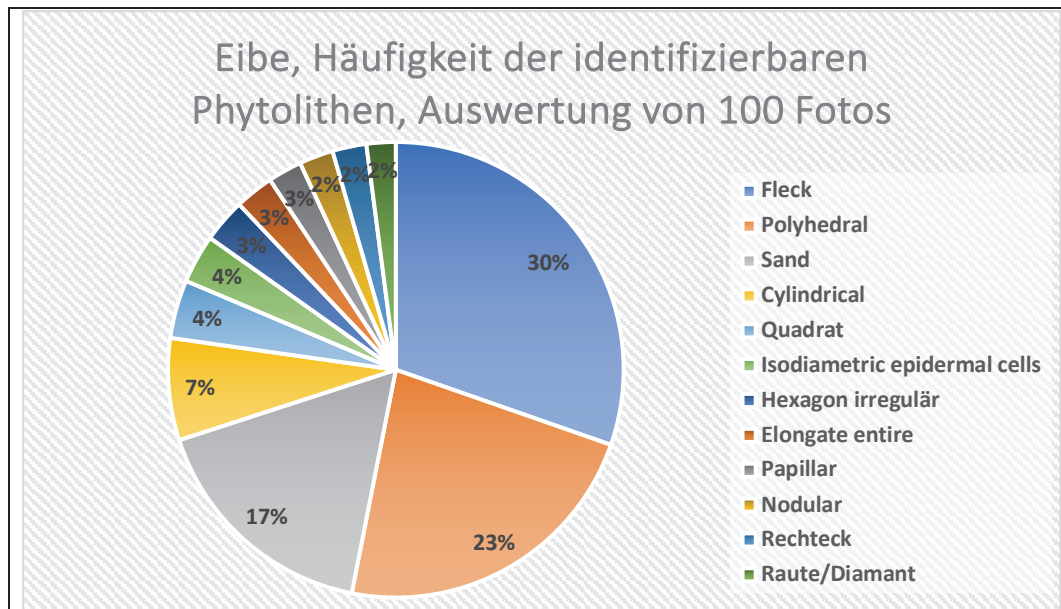
- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Quadrat, Parallelogramm, Hexagon irregulär, Polyhedral und Rechteck.
- Größenverhältnisse: Hexagon irregulär gehören zu den größten Phytolithen die zu finden sind. Sie können eine Länge von bis zu 30 µm erreichen.
- Farbigkeit: Die meisten Phytolithen haben eine blaue/weiße/graue und bräunliche Farbe.

5.2 Nadelbäume

Eibe: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

EIBE	Deutscher Name: Eibe -Familie: Eibengewächse (Taxaceae) Lateinischer Name: <i>Taxus baccata</i> Gattung: Taxus, Art: baccata, Herkunft: einheimisch Vorkommen: In Mitteleuropa wild fast nur in wintermilden und luftfeuchten Regionen. Standort: Als Kulturpflanze auf allen nicht zu trockenen und nicht zu sauren Böden, stadtklimafest und frostempfindlich, Blätter: 1 bis 3 cm lang, zugespitzt, Nadelaustrieb: Der Nadelaustrieb beginnt ab Ende März und setzt sich bis in den April fort. Besonderheiten: Die Eibe erreicht eine Höhe von bis zu 18 Metern, mit breit kegelförmiger, im Alter kugelförmiger Krone, Alter: bis zu 1.000 Jahre (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 14,86µm Haus Länge: 16,35µm Diamant/Raute Länge: 14,97µm Trapez irregulär Länge: 13,76µm Spitzwinkliges Dreieck Länge: 6,82µm Diamant/Raute	 Micrograph showing various phytoliths from Eibe (Taxus baccata). The image displays numerous small, elongated, and irregularly shaped phytoliths. Several specific measurements are labeled in red text boxes: Länge = 8,00 µm, Länge = 7,67 µm, Länge = 10,23 µm, Länge = 11,46 µm, Länge = 10,74 µm, Länge = 16,35 µm, Länge = 15,21 µm, Länge = 10,33 µm, Länge = 14,97 µm, Länge = 13,76 µm, Länge = 10,59 µm, Länge = 9,50 µm, Länge = 9,66 µm, Länge = 14,86 µm, Länge = 6,73 µm, Länge = 6,82 µm, Länge = 8,79 µm, Länge = 7,35 µm, and Länge = 4,75 µm.
Länge: 41,28µm Polyhedral Länge: 69,19µm Polyhedral Länge: 9,02µm Diamant/Raute Länge: 40,73µm Polyhedral Länge: 18,59µm Sand	 Micrograph showing various phytoliths from Eibe (Taxus baccata). The image displays several large, dark, irregularly shaped phytoliths. Several specific measurements are labeled in red text boxes: Länge = 41,28 µm, Länge = 69,19 µm, Länge = 9,02 µm, Länge = 40,73 µm, and Länge = 18,59 µm.

Länge: 9,72µm Diamant/Raute Länge: 32,37µm Sand Länge: 56,97µm Polyhedral Länge: 37,91µm Polyhedral Länge: 23,55µm Octagon	
Länge: 48,42µm Polyhedral Länge: 28,60µm Sand Länge: 9,75µm Dreieck Länge: 18,00µm Polyhedral Länge: 25,92µm Polyhedral	
Länge: 72,29µm Sand Länge: 42,11µm Nodular Länge: 53,65µm Polyhedral Länge: 46,93µm Sand Länge: 10,29µm Diamant/raute	



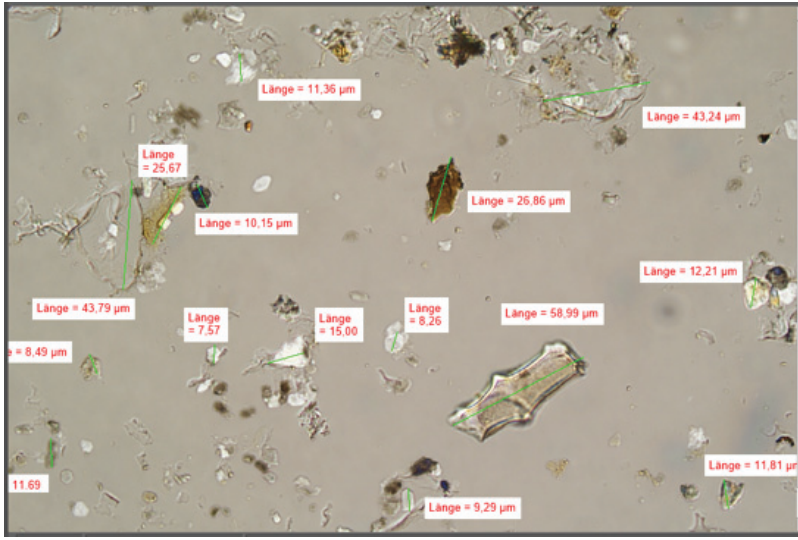
Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Fleck	88	30%
Polyhedral	66	23%
Sand	49	17%
Cylindrical	21	7%
Quadrat	12	4%
Isodiametric epidermal cells	10	4%
Hexagon irregulär	9	3%
Elongate entire	8	3%
Papillar	7	3%
Nodular	7	2%
Rechteck	7	2%
Raute/Diamant	6	2%
Gesamtergebnis	290	100%

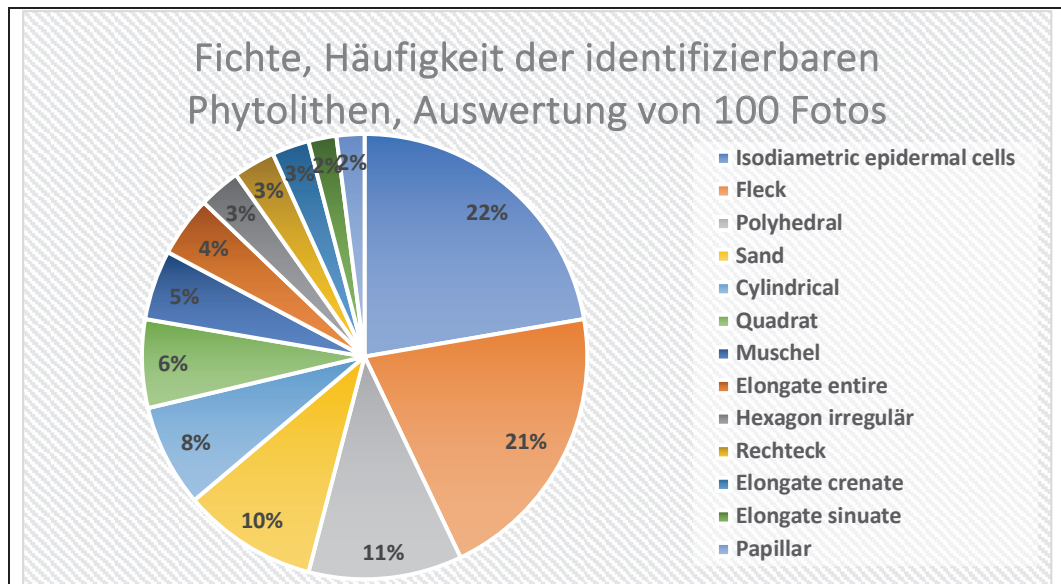
Abb 21: Eibe: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Taxus_baccata/

Eibe:

- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Polyhedral, Fleck, Sand, Cylindrical und Diamant/Raute
- Größenverhältnisse: Die größten Phytolithen welche bei dieser Probe zu finden sind, sind die Nodular und Polyhedral. Die Nodular Phytolithen können eine Länge von 32 μm bis 72 μm erreichen, während die Polyhedral Phytolithen eine Länge bis zu 70 μm erreichen können.
- Farbigkeit: Die Nodular und Sand Phytolithen haben beide eine bräunliche Farbkonsistenz. Die Polyhedral Phytolithen hingegen haben entweder eine braune, graue, weiße oder bernsteinfarbige Konsistenz.

Fichte: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

FICHTE	Deutscher Name: Fichte-Familie: Kieferngewächse (Pinaceae) Lateinischer Name: <i>Picea abies</i> Gattung: <i>Picea</i>, Art: <i>abies</i>, Herkunft: einheimisch, Vorkommen: Von Skandinavien bis zum Balkan, in den Mittelgebirgen erst oberhalb 800 m, durch forstlichen Anbau weitverbreitet. In den bayerischen Alpen bis zu 1550 m Höhe ansteigend. Standort: sonnig bis absonniger Standort auf leichtem bis mittelschwerem Boden, der ausreichend feucht sein muss. Nadeln: 1 bis 2,5 cm lang, 1 mm dick, Blüte: Die Blütezeit ist im April/Mai. Die Blüten sind eingeschlechtig und einhäusig. Besonderheiten: Die Fichte erreicht eine Höhe von bis zu 60 Metern Alter: Fichten können bis zu 600 Jahre alt werden. (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 58,99µm Elongate Velloate Länge: 26,86µm Polyhedral Länge: 43,24µm Acicular Länge: 43,79µm Isodiametric epidermal cells Länge: 25,67µm Polyhedral	 Micrograph showing various phytoliths from <i>Picea abies</i>. Measurements include: 11,36 µm, 43,24 µm, 25,67 µm, 10,15 µm, 26,86 µm, 12,21 µm, 43,79 µm, 8,49 µm, 7,57 µm, 15,00 µm, 8,26 µm, 58,99 µm, 11,81 µm, 9,29 µm, and 11,69 µm.
Länge: 54,87µm Elongate entire Länge: 31,24µm Isodiametric epidermal cells Länge: 35,48µm Isodiametric epidermal cells Länge: 45,98µm Isodiametric epidermal cells Länge: 11,51µm Hexagon	 Micrograph showing various phytoliths from <i>Picea abies</i>. Measurements include: 35,48 µm, 31,24 µm, 16,80 µm, 16,39 µm, 9,45 µm, 21,76 µm, 20,92 µm, 10,85 µm, 54,87 µm, 10,67 µm, 12,24 µm, 11,08 µm, 17,30 µm, 7,47 µm, 45,98 µm, 45,98 µm, 11,08 µm, 10,71 µm, 32,58 µm, 11,61 µm, 11,51 µm, and 11,51 µm.



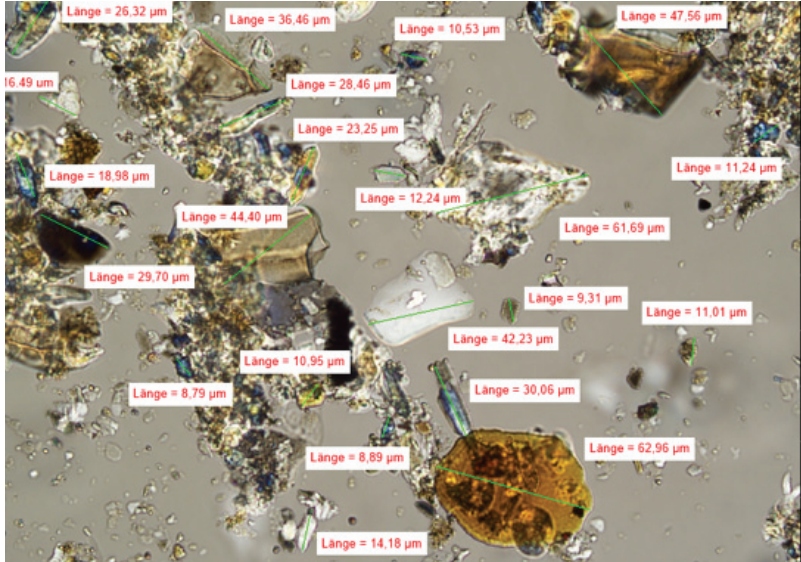
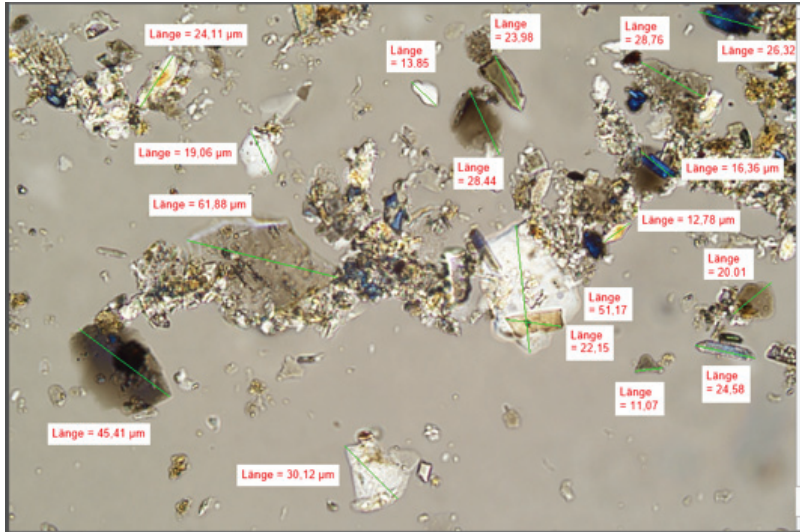
Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Isodiametric epidermal cells	66	22%
Fleck	61	21%
Polyhedral	33	11%
Sand	29	10%
Cylindrical	22	8%
Quadrat	19	6%
Muschel	15	5%
Elongate entire	13	4%
Hexagon irregulär	9	3%
Rechteck	9	3%
Elongate crenate	8	3%
Elongate sinuate	6	2%
Papillar	6	2%
Gesamtergebnis	296	100%

Abb 22: Fichte: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Picea_abies/

Fichte:

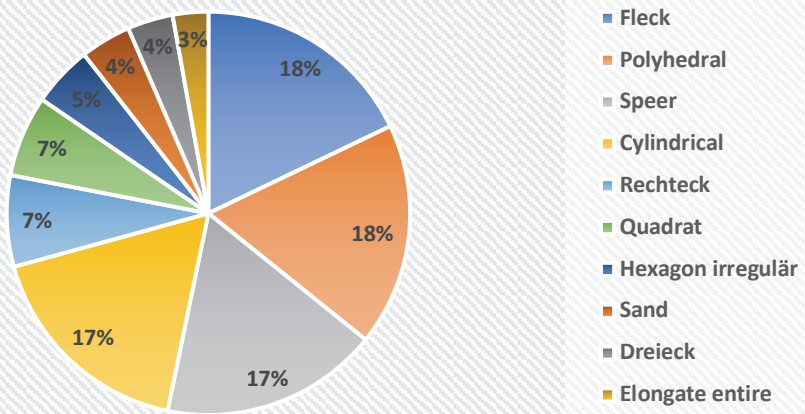
- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Isodiametric epidermal cells, Sand, Fleck, Polyhedral und Cylindrical
- Größenverhältnisse: Die hier größten Phytolithen sind die Polyhedral Phytolithen, sie können eine Länge von 25 µm bis 36 µm erreichen. Andere Phytolithen wie die Elongate können oft die gleiche Größe wie die Polyhedrale Phytolithen erreichen, aber sie befindet sich bei dieser Probe ziemlich in der Minderzahl. Die können eine Länge bis zu 58 µm erreichen.
- Farbigkeit: Die Elongate Phytolithen haben eine gräuliche, transparente Farbe, während die Polyhedral Phytolithen oft eine braune oder graue Farbe besitzen. Die Fleck Phytolithen haben entweder eine weiße oder eine blaue Farbe.

Kiefer: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

KIEFER	Deutscher Name: Kiefer Lateinischer Name: <i>Pinus sylvestris</i> Familie: Kieferngewächse (Pinaceae), Gattung: Pinus, Art: nigra, Herkunft: Südeuropa/Mittelmeer Standort: Kiefern bevorzugen einen vollsonnigen Standort, aber sie wachsen auch im Halbschatten oder Schatten. Vorkommen: im montanen Bereich Südeuropa und Südosteuropa. Blätter: 8 bis 18 cm lang, Kurztriebe zwei-nadelig, mit langer Nadelscheide, steif. Blüte: die Blütezeit findet von April bis Mai statt. Die männlichen sowie die weiblichen befinden sich auf dem selbem Baum. Besonderheiten: Die Kiefer kann eine Höhe bis zu 40 Metern erreichen Alter: Kann bis zu 600 Jahre alt werden. (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 62,96µm Polyhedral Länge: 47,56µm Polyhedral Länge: 30,06µm Speer Länge: 44,40µm Polyhedral Länge: 26,32 µm Cylindrical	 This micrograph displays a variety of Pinus sylvestris phytoliths. The shapes include polyhedral, cylindrical, and needle-shaped (Speer). Numerous individual phytoliths are labeled with their lengths in micrometers (µm): 16.49, 26.32, 36.46, 10.53, 47.56, 28.46, 23.25, 18.98, 44.40, 12.24, 61.69, 29.70, 9.31, 11.01, 42.23, 10.95, 8.79, 30.06, 8.89, 62.96, 14.18, and 11.24.
Länge: 24,58µm Cylindrical Länge: 12,78µm Spitzwinkliges Dreieck Länge: 61,88µm Polyhedral Länge: 23,98µm Speer Länge: 51,17µm Polyhedral	 This micrograph shows another collection of Pinus sylvestris phytoliths, including cylindrical, triangular (Dreieck), and needle-shaped forms. The labeled measurements in micrometers (µm) are: 24.11, 23.98, 28.76, 26.32, 13.85, 19.06, 28.44, 16.36, 12.78, 20.01, 61.88, 51.17, 22.15, 24.58, 11.07, 45.41, 30.12, and 23.98.

Länge: 61,44µm Polyhedral Länge: 25,64µm Cylindrical Länge: 30,37µm Speer Länge: 14,09µm Rechteck Länge: 24,01µm Speer	
Länge: 18,30µm Cylindrical Länge: 27,71µm Speer Länge: 13,59µm Hexagone Länge: 17,90µm Cylindrical Länge: 17,50µm Cylindrical	
Länge: 35,25µm Polyhedral Länge: 9,60µm Diamant/Raute Länge: 16,00µm Rechteck Länge: 7,17µm Circular Länge: 26,07µm Speer	

Kiefer, Häufigkeit der identifizierbaren Phytolithen, Auswertung von 100 Fotos



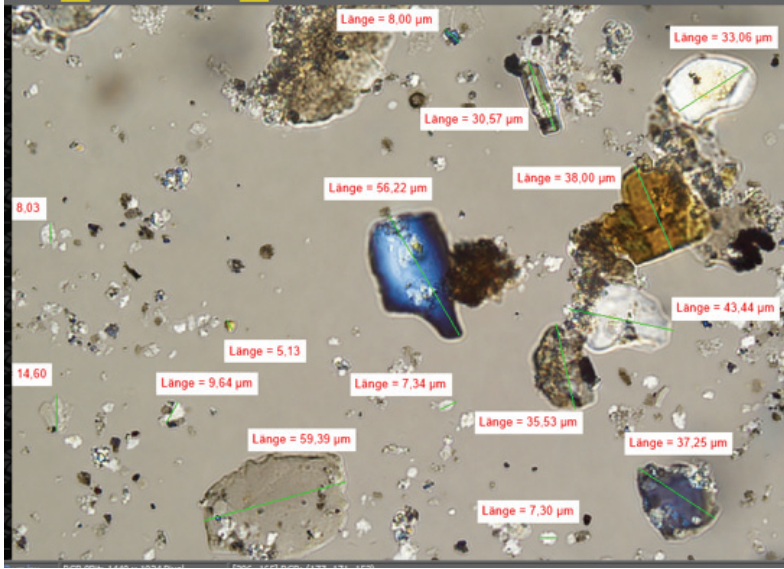
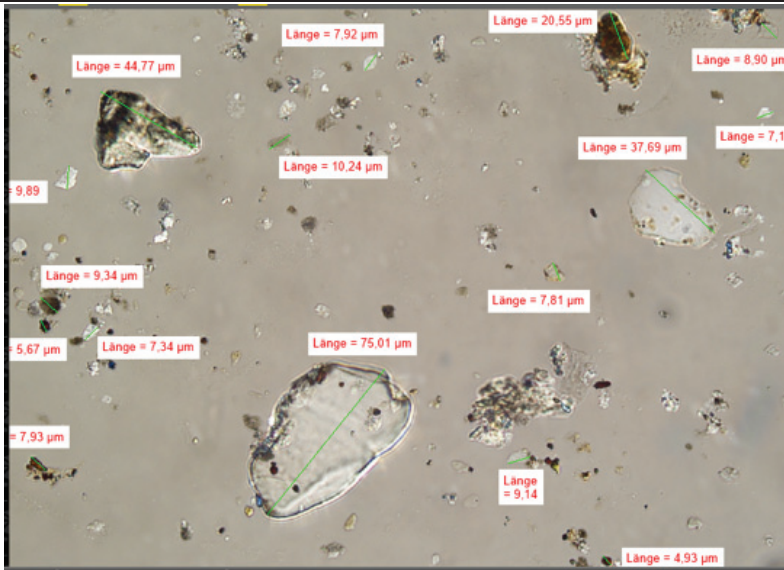
Formtypen von Phytolithen	Anzahl an Phytolithen	Prozentzahl
Fleck	44	18%
Polyhedral	44	18%
Speer	43	17%
Cylindrical	43	17%
Rechteck	18	7%
Quadrat	16	7%
Hexagon irregulär	12	5%
Sand	10	4%
Dreieck	9	4%
Elongate entire	7	3%
Gesamtergebnis	246	100%

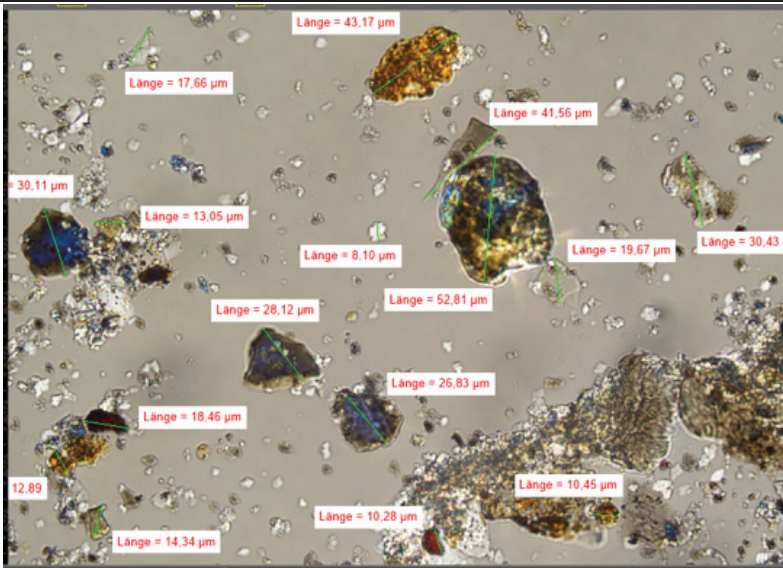
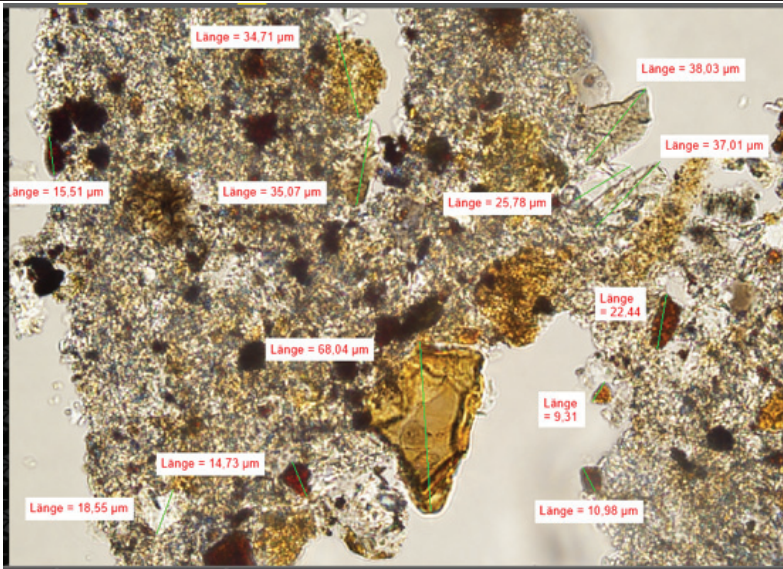
Abb 23: Kiefer: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Pinus_nigra/

Kiefer:

- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Polyhedral, Fleck, Speer, Cylindrical und Rechteck.
- Größenverhältnisse: Die Polyhedral Phytolithen sind wohl mit Abstand die aller größten Phytolithen bei dieser Probe. Sie können eine Länge bis zu 62 μm erreichen.
- Farbigkeit: Die Polyhedral Phytolithen haben meistens eine blaue Farbe, aber manchmal sind sie weiß oder bernsteinfarbig. Die restlichen erwähnten Phytolithen besitzen oft die verschiedensten Farben.

Chinesische Wacholder, (behelfsweise ausgewählt): Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen

CHINESISCHE WACHOLDER	Deutscher Name: chinesische Wacholder Lateinischer Name: <i>Juniperus chinensis</i>, Familie: Cupressaceae, Gattung: Jupiner, Art: Juniperus, Herkunft: Ist im östlichen Asien heimisch, Standort: bevorzugt eine sonnige bis halbschattige Lage mit durchlässigem, humosem und nährstoffreichem Gartenboden. Vorkommen: ist in Ostasien, genauer gesagt in China, Japan, Taiwan, Korea beheimatet Besonderheiten: Die Chinesische Wacholder kann eine Höhe von bis zu 22 Metern erreichen Alter: Kann bis zu 100 Jahre alt werden. (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)
Länge: 56,22µm Polyhedral Länge: 33,06µm Polyhedral Länge: 38,00µm Polyhedral Länge: 43,33µm Polyhedral Länge: 59,39µm Polyhedral	 Micrograph showing various polyhedral phytoliths. Measurements (µm): 8.03, 14.60, 5.13, 9.64, 59.39, 7.34, 7.30, 35.53, 37.25, 7.81, 43.44, 38.00, 30.57, 8.00, 33.06, 56.22.
Länge: 75,01µm Polyhedral Länge: 44,77µm Polyhedral Länge: 37,69µm Polyhedral Länge: 20,55µm Nodular Länge: 9,89µm	 Micrograph showing polyhedral and nodular phytoliths. Measurements (µm): 9.89, 5.67, 7.93, 9.34, 7.34, 75.01, 10.24, 7.92, 44.77, 20.55, 7.81, 37.69, 8.90, 7.1, 9.14, 4.93.

Länge: 43,17µm Nodular Länge: 52,81µm Polyhedral Länge: 26,83µm Polyhedral Länge: 28,12µm Polyhedral Länge: 30,11µm Polyhedral	
Länge: 68,04µm Polyhedral Länge: 34,71µm Nodular Länge: 38,03µm Sand Länge: 22,44µm Polyhedral Länge: 14,73µm Polyhedral	
Länge: 26,04µm Nodular Länge: 27,08µm Polyhedral Länge: 34,09µm Elongate Länge: 24,46µm Polyhedral Länge: 34,72µm Polyhedral	

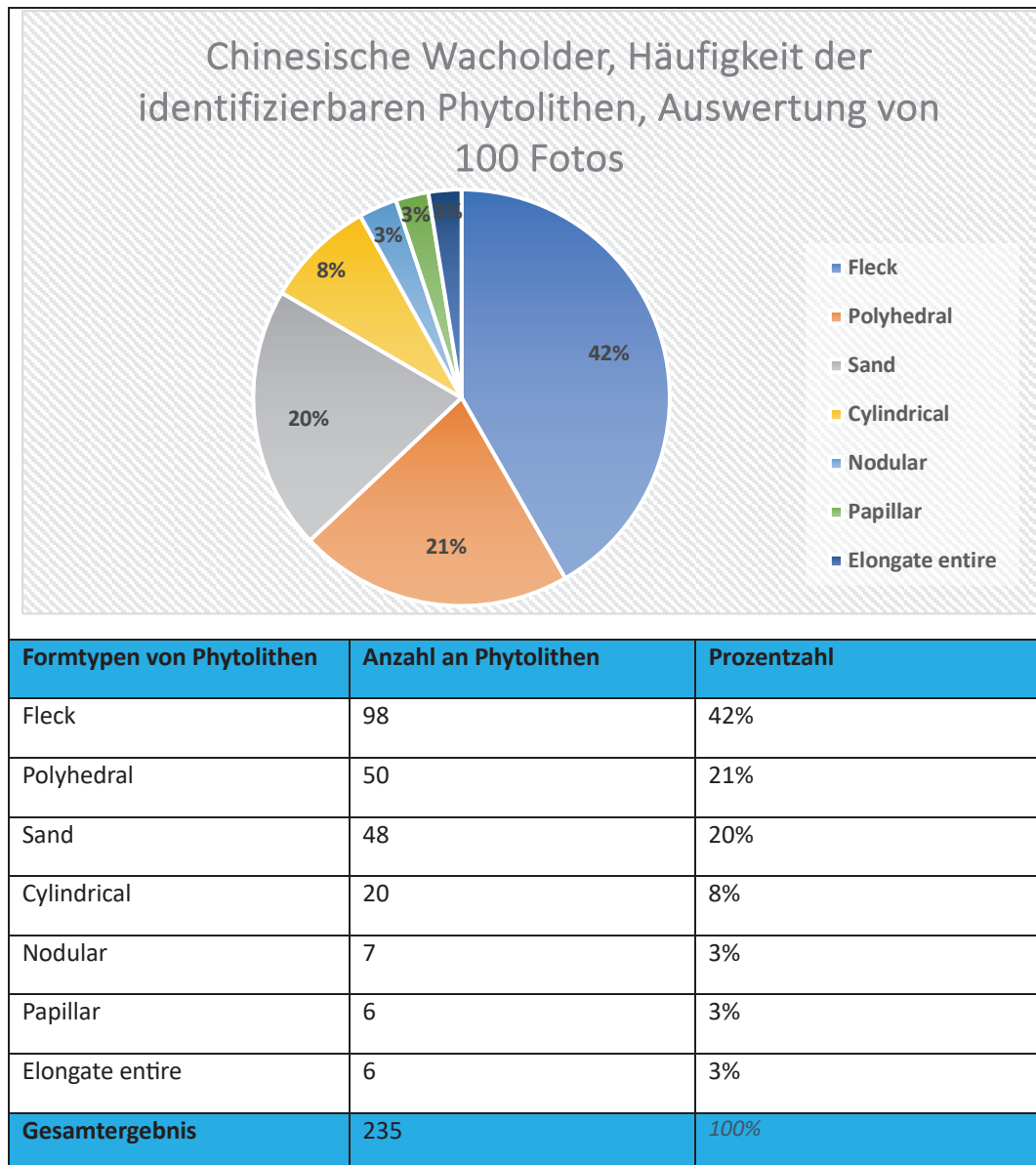


Abb 24: Chinesische Wacholder: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumschule-horstmann.de/wacholder-blue-alps-22_68962.html

Chinesische Wacholder:

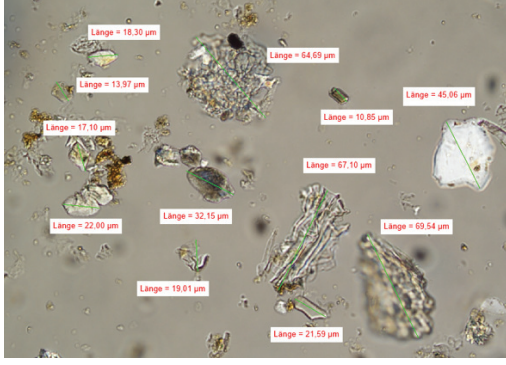
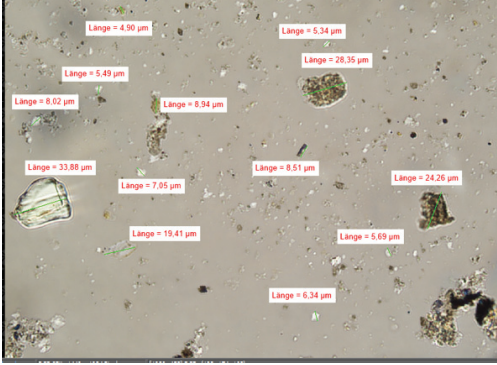
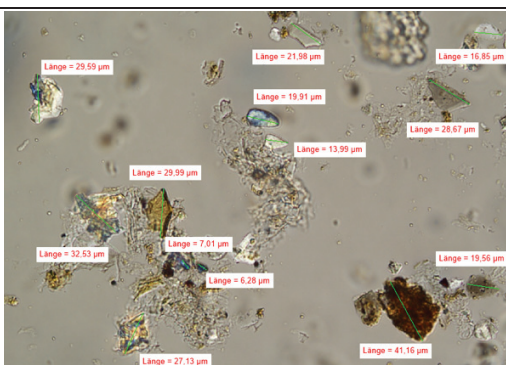
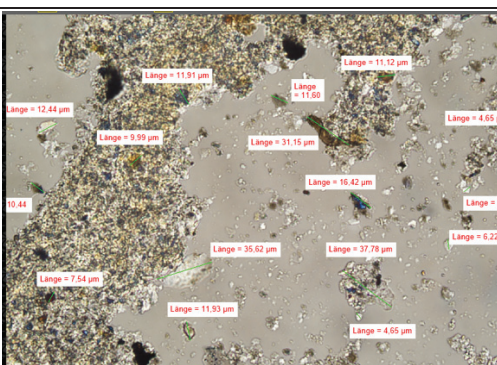
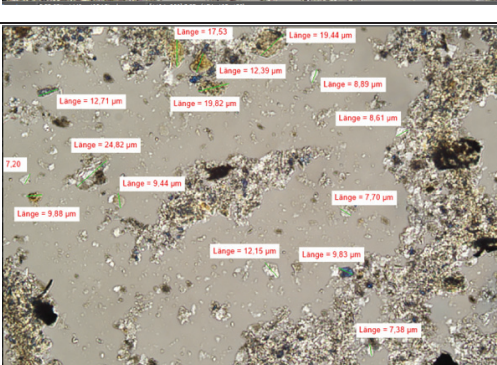
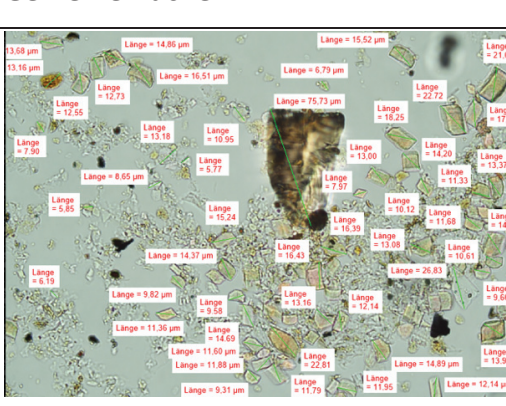
- Am häufigsten vorkommende Phytolithen: Polyhedral, Fleck, Nodular, Sand und Papillar. Hier ist zu beobachten, dass fast 90% der gefundenen Formtypen sich auf 4 Formtypen reduzieren: Fleck, Polyhedral, Sand und Cylindrical.
- Größenverhältnisse: Die Polyhedral Phytolithen sind die größten Phytolithen bei dieser Probe. Sie können eine Länge von 20 µm bis zu 75 µm erreichen.
- Farbigkeit: Die Farben, die am meisten bei den Polyhedral Phytolithen zu finden sind, sind blau, grau, braun, transparent und bernsteinfarbig. Die Nodular, sowie die Sand Phytolithen sind eine Mischung aus einer bräunlichen und schwarzen Konsistenz.

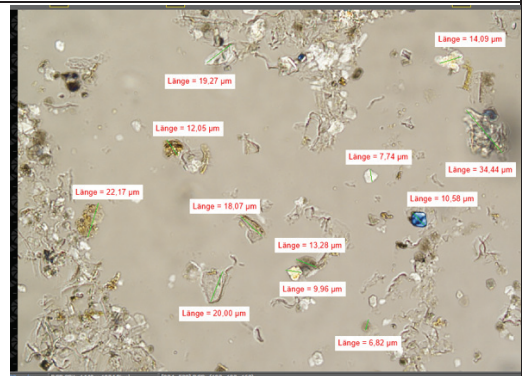
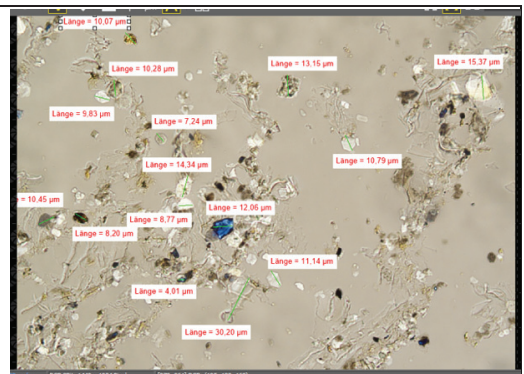
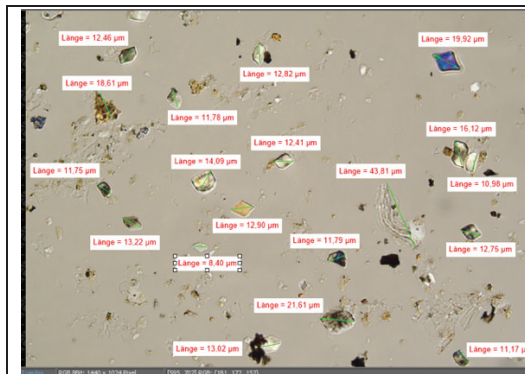
6 Vergleiche der Phytolithen verschiedener Baumarten untereinander.

6.1 Bildliche Gegenüberstellung von Phytolithen von Laubbäumen und Nadelbäumen.

Erklärung der Fotos:

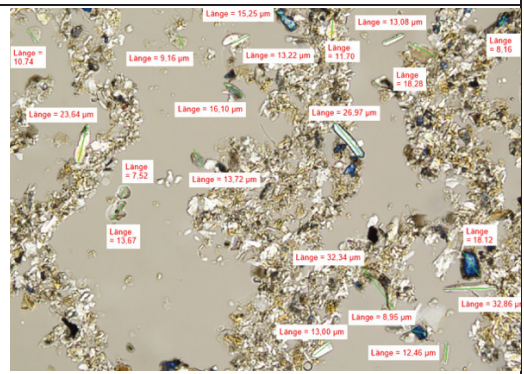
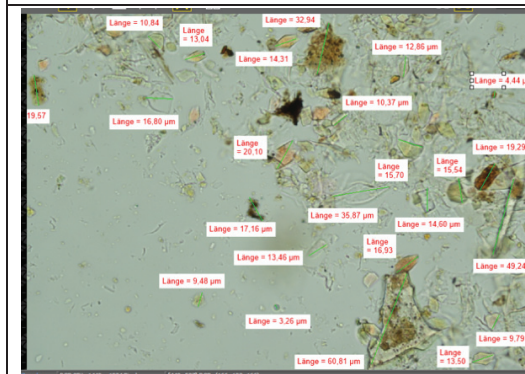
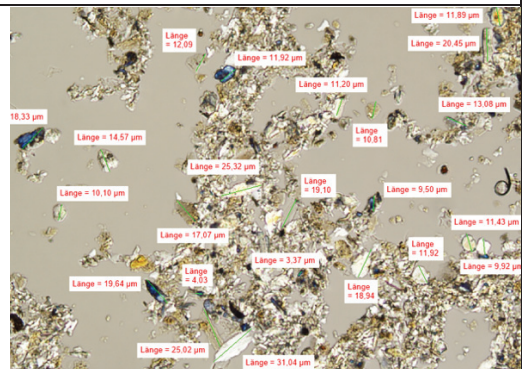
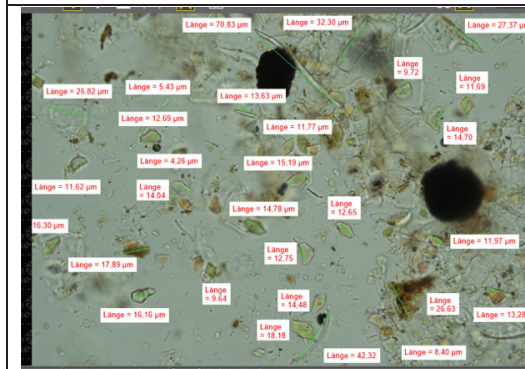
Auf der linken Seite befinden sich die Laubbäume, auf der rechten Seite die Nadelbäume. Hier besteht der Versuch herauszufinden, ob sich Unterschiede feststellen lassen. Bei einigen Nadelbäumen ist das oberste Foto einer Fotoreihe eine Dokumentation einer Ausnahme. Diese Art von Phytolithen sind bei meinen Beobachtungen nur selten anzutreffen, die anderen darunterliegenden Fotos sind diejenigen Phytolithen, die am häufigsten bei diesem Baum vorkommen.

Laubbaum:	Nadelbaum:
Gemeine Hasel	Eibe
 15 measurements: 18.30 µm, 64.69 µm, 45.06 µm, 13.97 µm, 10.85 µm, 67.10 µm, 69.54 µm, 21.59 µm, 17.10 µm, 10.85 µm, 32.15 µm, 19.01 µm, 22.00 µm, 10.85 µm, 10.85 µm.	 15 measurements: 4.50 µm, 5.34 µm, 28.35 µm, 5.49 µm, 8.94 µm, 33.88 µm, 7.05 µm, 19.41 µm, 6.34 µm, 5.69 µm, 24.26 µm, 8.51 µm, 11.91 µm, 12.44 µm, 9.99 µm.
 15 measurements: 29.59 µm, 21.08 µm, 16.85 µm, 19.91 µm, 13.99 µm, 28.67 µm, 29.59 µm, 7.61 µm, 19.56 µm, 32.53 µm, 6.28 µm, 27.13 µm, 41.16 µm, 19.56 µm, 19.56 µm.	 15 measurements: 11.91 µm, 11.12 µm, 4.65 µm, 11.80 µm, 15.42 µm, 37.78 µm, 4.65 µm, 11.93 µm, 7.54 µm, 35.62 µm, 31.15 µm, 9.99 µm, 12.44 µm, 10.44 µm, 5.30 µm.
 15 measurements: 32.49 µm, 17.45 µm, 52.47 µm, 27.59 µm, 28.34 µm, 22.39 µm, 28.32 µm, 67.47 µm, 17.45 µm, 27.59 µm, 28.34 µm, 22.39 µm, 28.32 µm, 67.47 µm, 17.45 µm.	 15 measurements: 17.53 µm, 19.44 µm, 12.35 µm, 8.89 µm, 8.61 µm, 7.70 µm, 9.83 µm, 7.38 µm, 9.88 µm, 12.15 µm, 12.15 µm, 9.44 µm, 19.62 µm, 12.71 µm, 24.82 µm.
Gemeine Buche	Fichte
 30 measurements: 14.86 µm, 15.52 µm, 21.01 µm, 15.51 µm, 6.79 µm, 22.72 µm, 16.25 µm, 17.19 µm, 12.55 µm, 12.73 µm, 75.73 µm, 10.95 µm, 13.00 µm, 14.20 µm, 11.33 µm, 13.37 µm, 10.95 µm, 13.00 µm, 14.20 µm, 11.33 µm, 13.37 µm, 10.95 µm, 13.00 µm, 14.20 µm, 11.33 µm, 13.37 µm, 10.95 µm, 13.00 µm, 14.20 µm, 11.33 µm, 13.37 µm.	 15 measurements: 14.79 µm, 8.71 µm, 15.04 µm, 14.24 µm, 24.66 µm, 8.06 µm, 19.62 µm, 9.83 µm, 22.28 µm, 10.17 µm, 11.08 µm, 12.90 µm, 4.08 µm, 10.54 µm, 14.57 µm.



Stieleiche

Kiefer



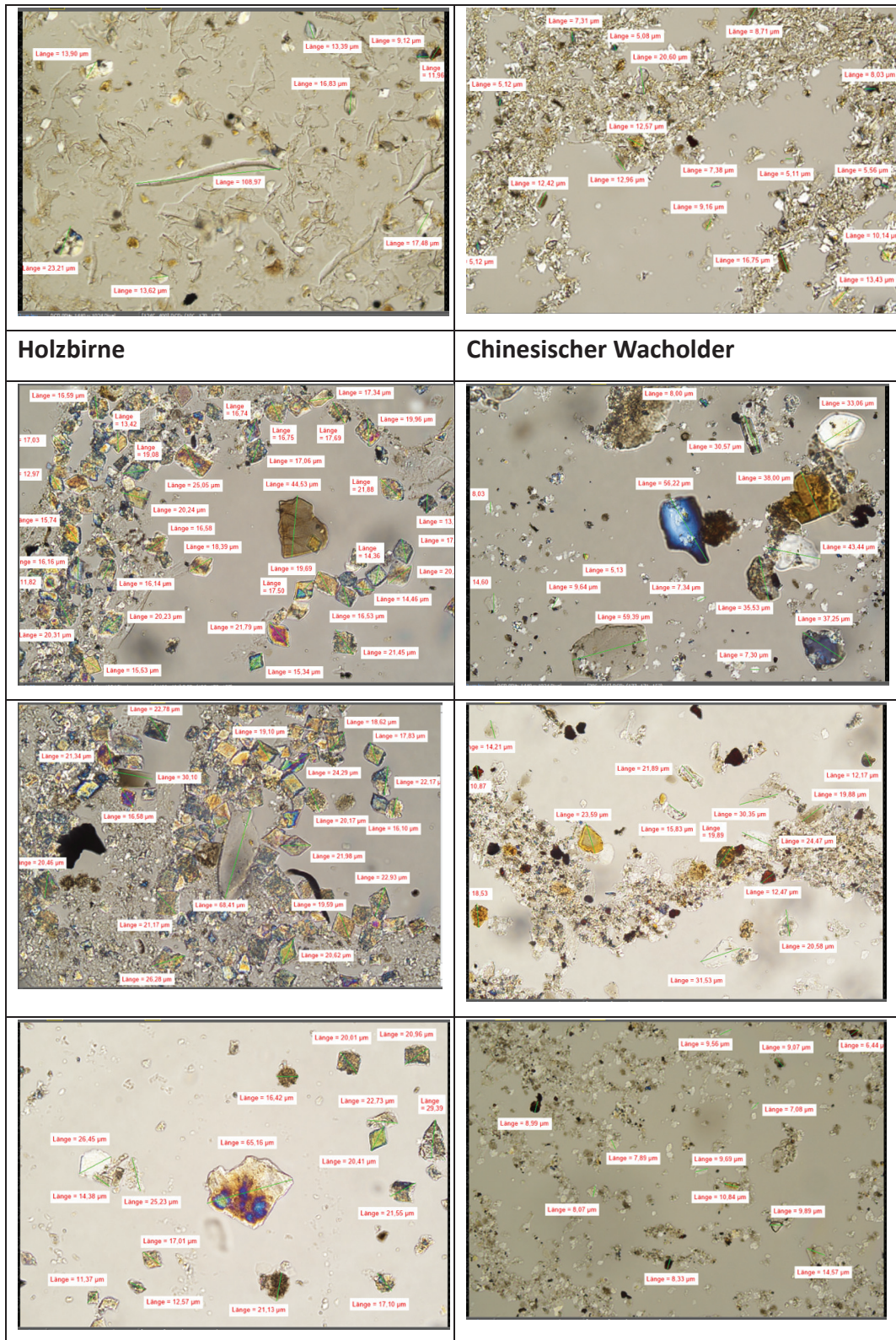


Abb 25: Vergleich der Phytolithen von Laubbäumen und Nadelbäumen (Quelle, eigene Fotos)

6.2 Auswertung der Vergleiche

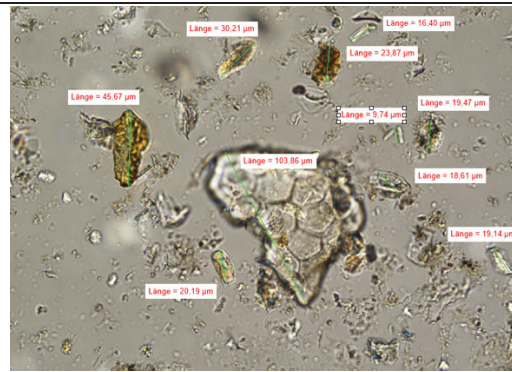
Zu den Nadelbäumen ist grundsätzlich zu sagen, dass die Proben direkt nach der Veraschung mehr Kohlepartikel aufwiesen und aufwändiger gereinigt werden mussten als die Laubbäume. Die Laubbäume weisen schöne, geometrische Phytolithen auf, gut erkennbar, einfacher zu klassifizieren und die Anzahl der vorkommenden Phytolithenformen war regelmäßiger verteilt als bei den Nadelbäumen. Die Phytolithen der Nadelbäume meistens sehr klein und bei der von uns gewählten mikroskopischen Vergrößerung nicht gut erkennbar, sondern sind übereinander verklebt, wie eine sandige Masse. Außerdem kann man nur wenig Farbigkeit erkennen. Dennoch gibt es immer wieder Ausnahmen, wie z.B. die **Kiefer**. Im Vergleich all meiner Untersuchungen sticht die **Holzbirne** besonders hervor. Die Phytolithen weisen sehr klare geometrische Formen auf und sind besonders schön in ihrer Farbigkeit. Bei der **Holzbirne** findet man häufig Trapez-, Pentagon- und Diamantförmige Phytolithen. Diese Arten von Phytolithen sind oft bei den Laubbäumen zu finden. Die **Holzbirne** ist keine Ausnahme, aber dennoch erkennt man, dass sie eine weit größere Anzahl hat, als die meisten anderen Baumarten und sie besitzen eine größere Variation an bunten Farben. Die **Chinesischen Wacholder** hingegen weist wenige Formtypen auf. Es sind besonders viele kleine und ihre Form ist schwer zu klassifizieren. Es gibt aber auch seltene Ausnahmen, wie auf dem ersten Bild, oben rechts. Im Größenvergleich der vorkommenden Phytolithen gewinnt die **Gemeine Hasel**, gleich gefolgt von der **Kiefer**.

6.3 Bildliche Gegenüberstellung der Phytolithen von Blättern einzelner Laubbäume mit ihren Fliegern.

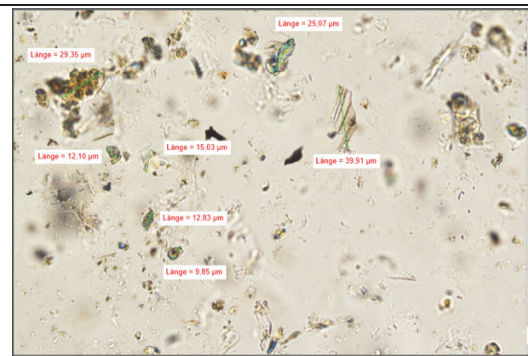
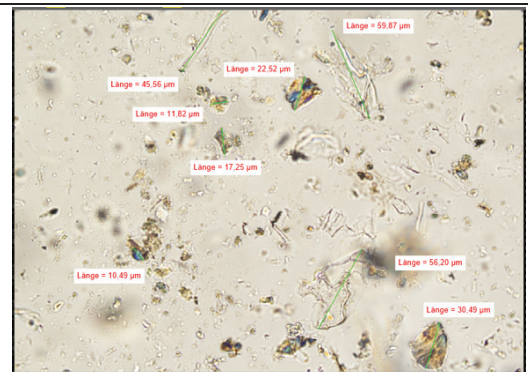
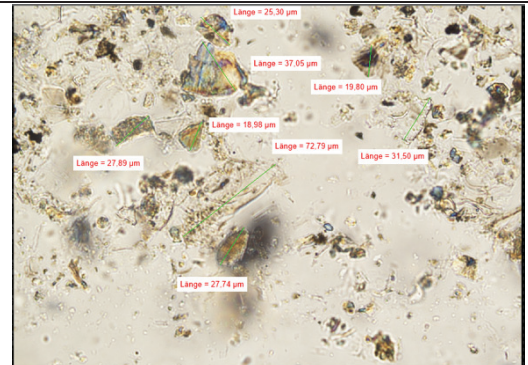
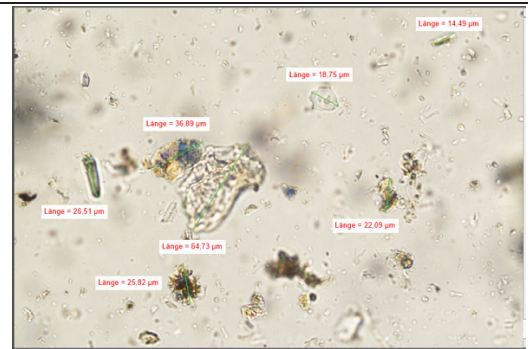
Bergulme: Beschreibung der Flieger:

Kurz gestielt, eiförmige oder rundliche, dünn geflügelte, 20-30mm große Flügelnüsse. Sie entwickeln sich ab Februar/März, lange vor dem Laubaustrieb und sind bis zu 30 Stück in kugeligen Büscheln vereint. Bis zum Laubaustrieb, der nach dem Fortfliegen der Samen beginnt, übernehmen sie die Photosynthese. (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)

Bergulme: Blatt



Bergulme: Flieger ohne Nüsschen



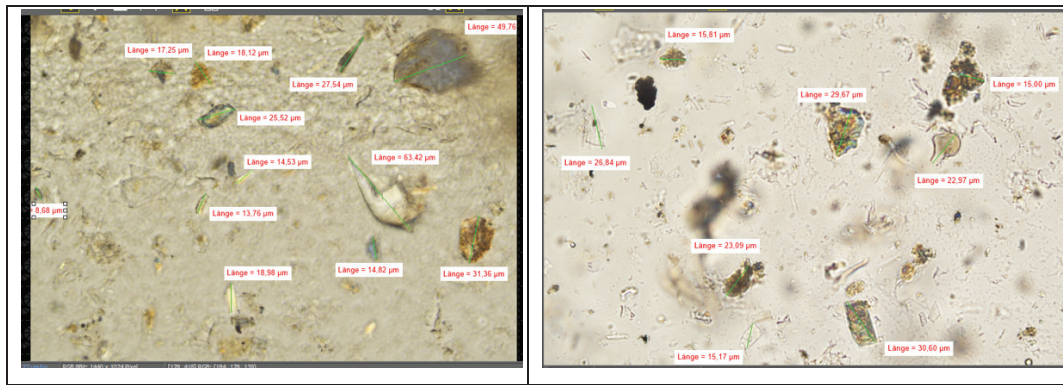


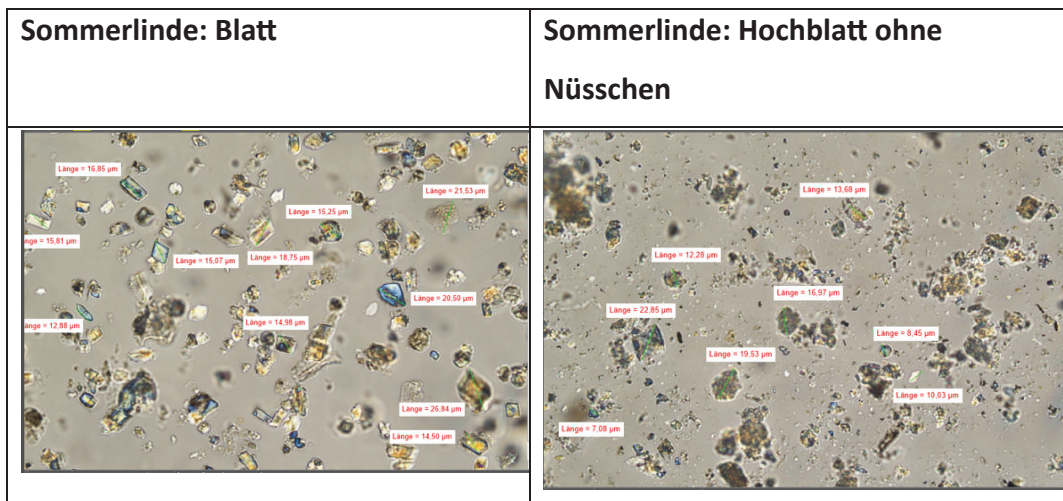
Abb 26: Bergulme: Bildliche Gegenüberstellung der Phytolithen von Blättern und Fliegern (Quelle, eigene Fotos)

Sommerlinde:

Beschreibung Flieger:

Die Hauptblütezeit der Sommerlinde ist Juni und die Fruchtreife ist im September. Der Fruchtstand verbleibt am Baum als Wintersteher. Die graufilzige, kugelige Nussfrucht, ist stark verholzt, wird 8-9 Millimeter lang und weist 5 deutliche Rippen auf. Die Nüsschen entwickeln sich mit einem Hochblatt, 7cm-8 cm lang 1,5cm-2 cm breit, welches als Flugorgan dient.

(Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)



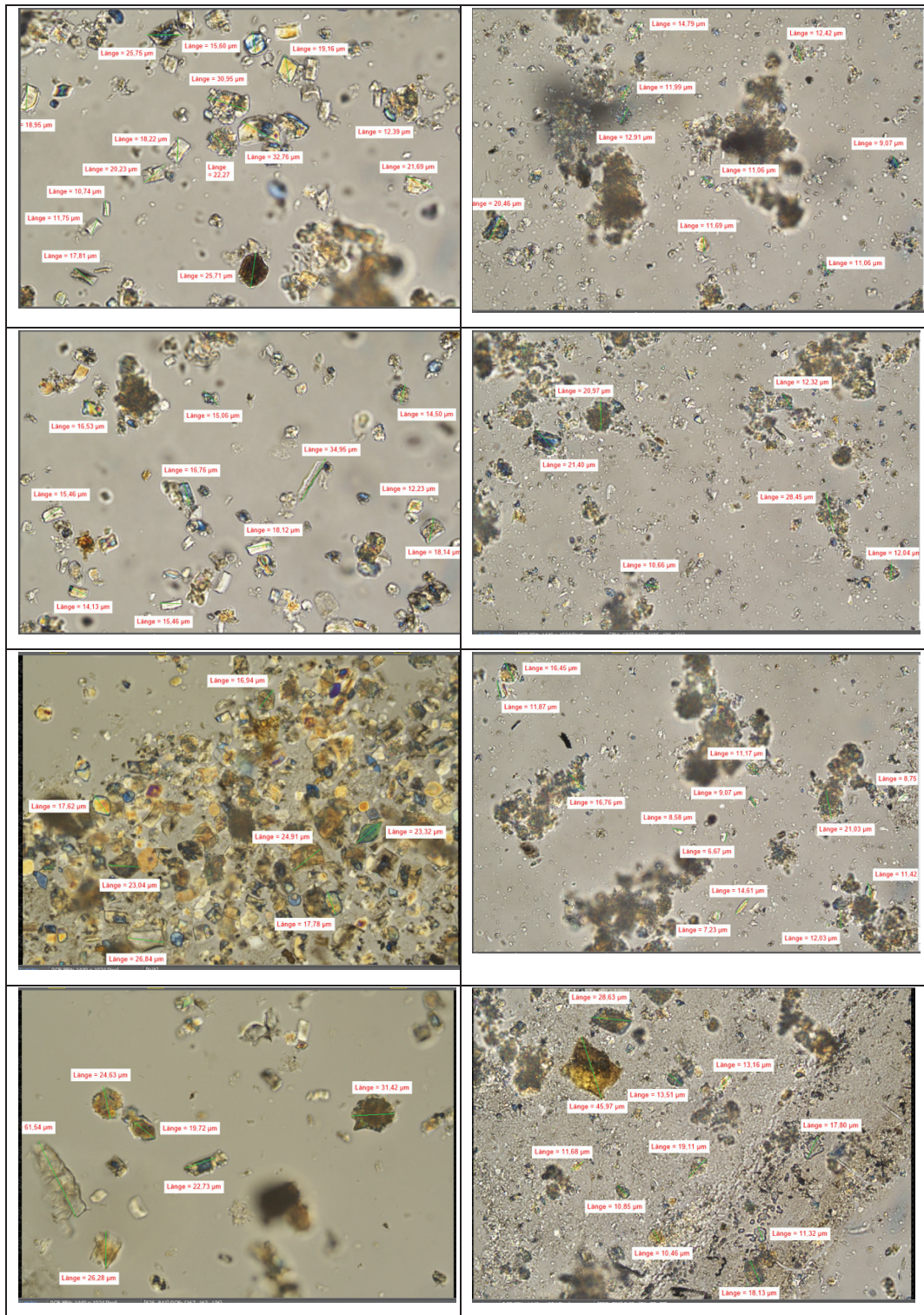


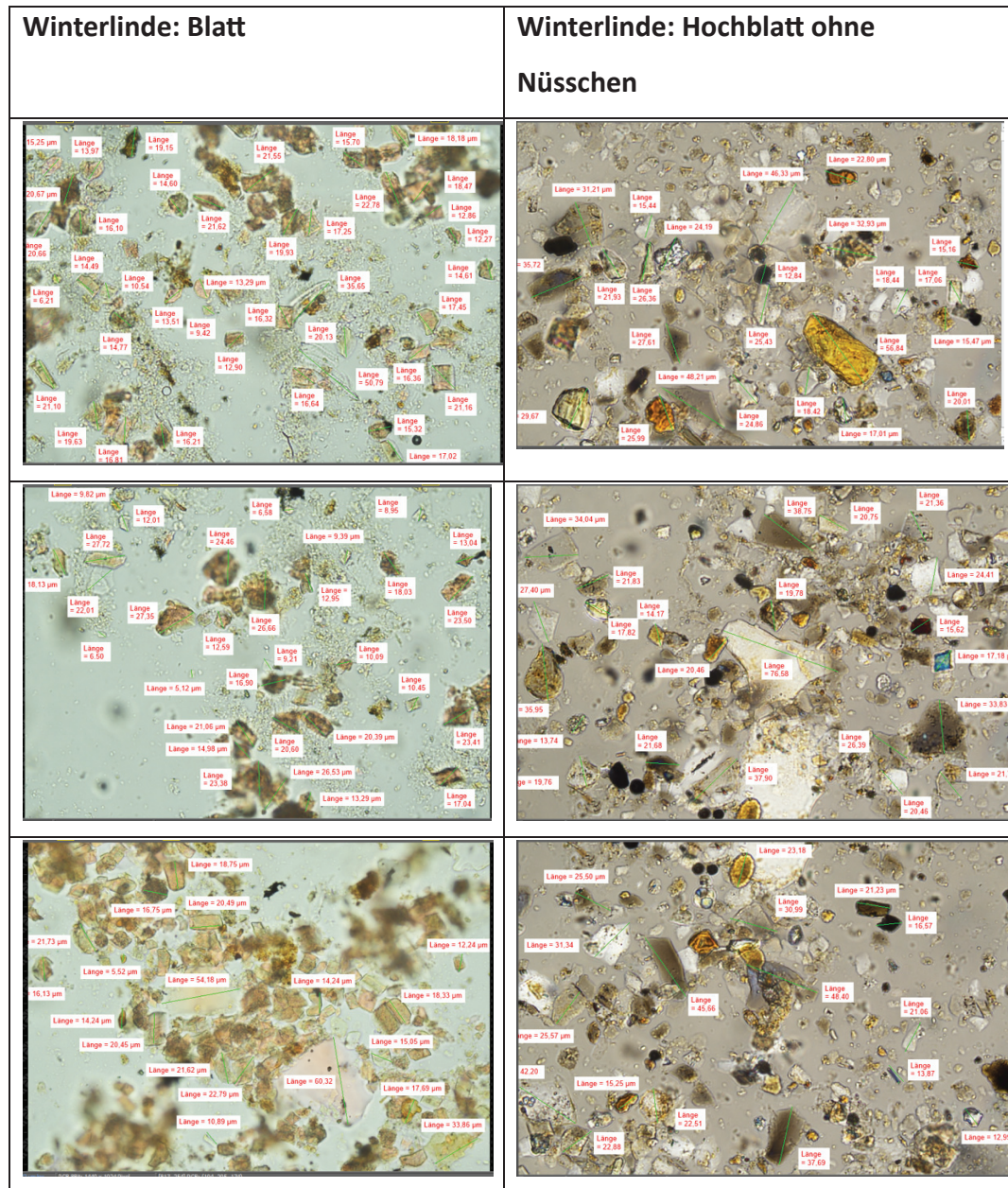
Abb 27: Sommerlinde: Bildliche Gegenüberstellung der Phytolithen von Blättern und Fliegern (Quelle, eigene Fotos)

Winterlinde:

Beschreibung der Flieger:

Im August entstehen dünnschalige, erbsengroße, bräunlich, graufilzige Nüsschen, mit einem Hochblatt als Flugorgan. Fruchtreife: September.

(Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)



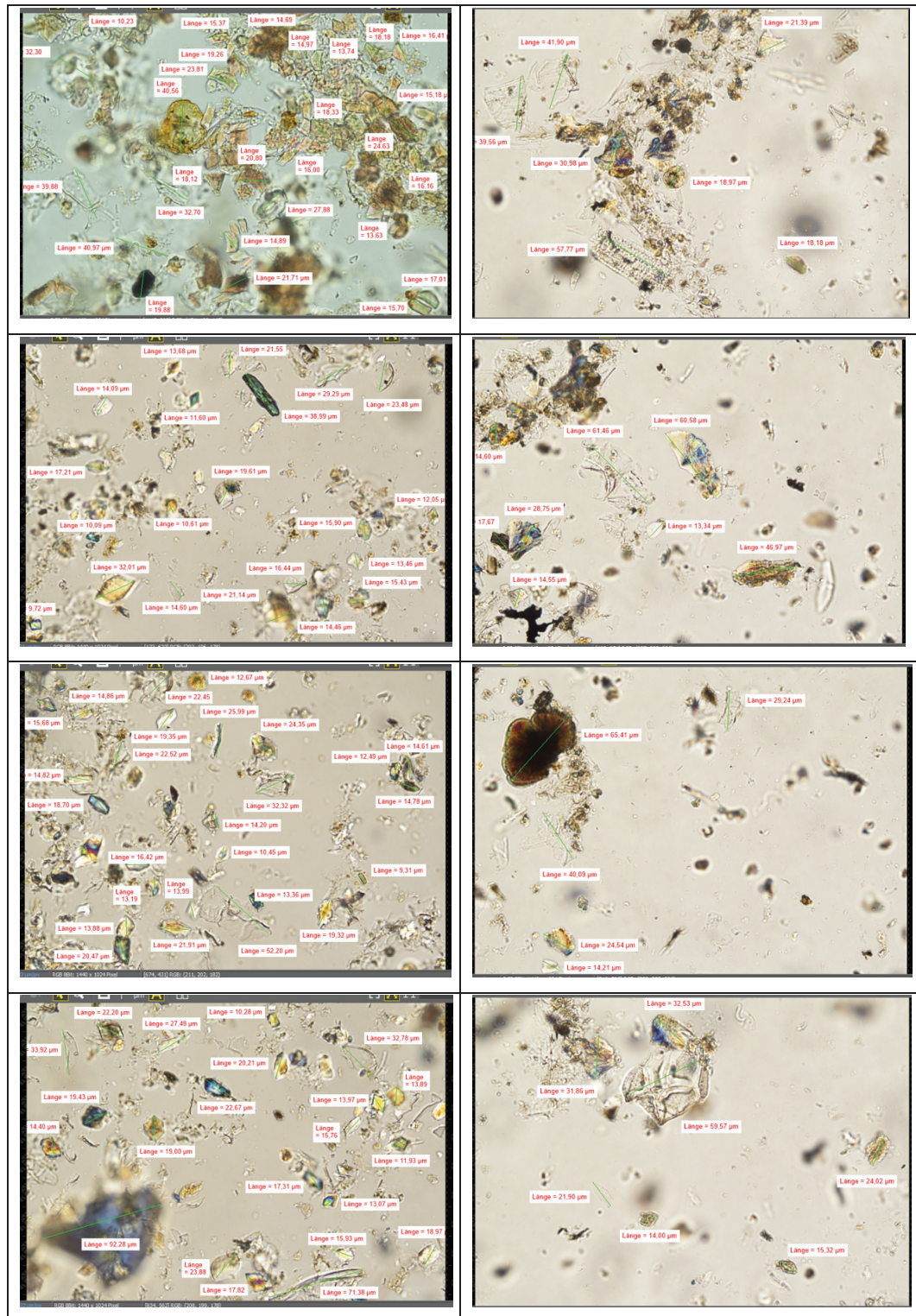
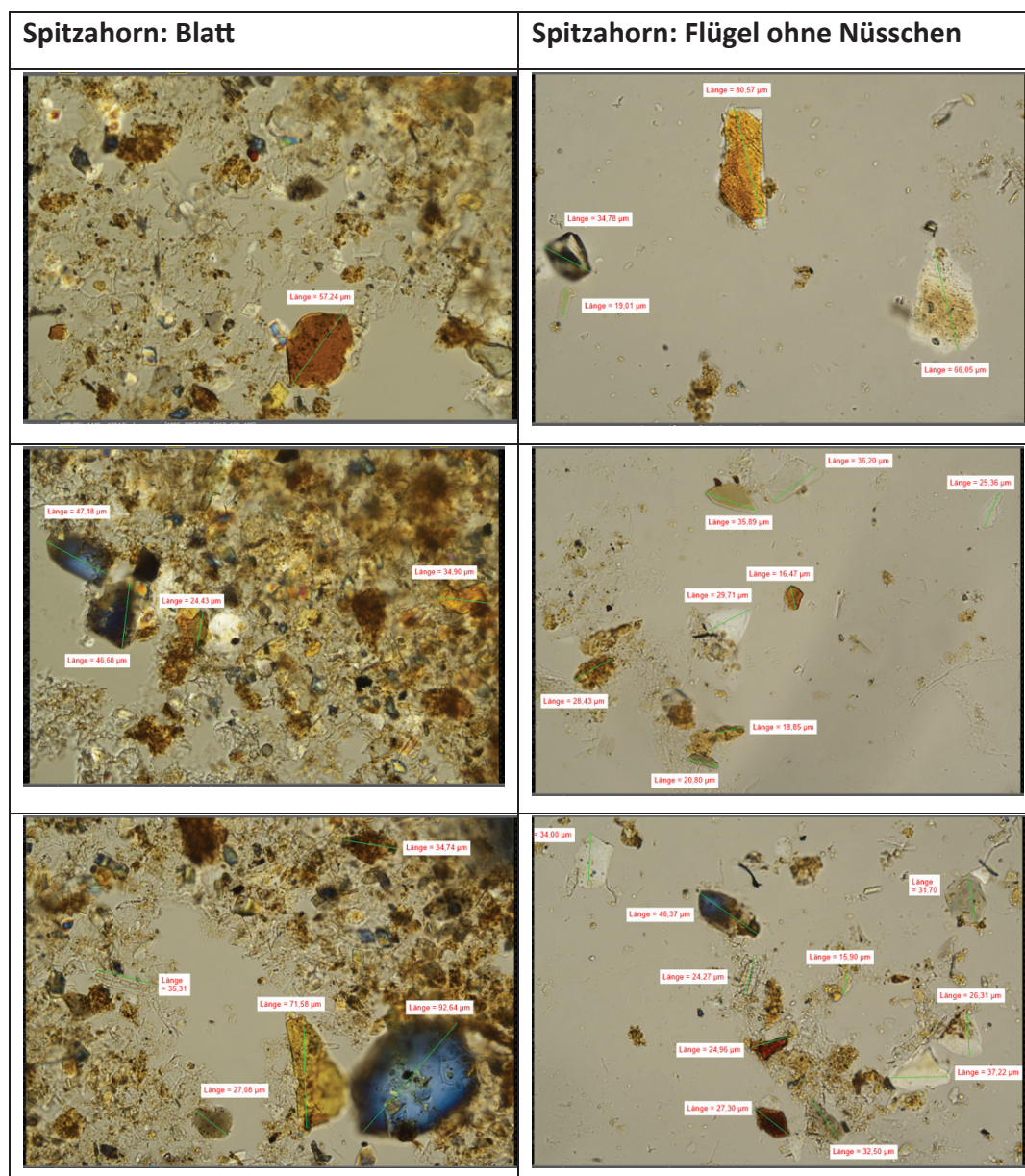


Abb 29: Feldahorn: Bildliche Gegenüberstellung der Phytolithen von Blättern und Fliegern (Quelle, eigene Fotos)

Spitzahorn:

Beschreibung der Flieger:

Die Hauptblütezeit ist April bis Mai und beginnt vor dem Austrieb der Laubblätter, im Gegensatz zum Feldahorn. Die Fruchtreife erfolgt im Oktober. Das bedeutet die Blüte einschließlich Fruchtreife dauert einige Wochen länger als beim Feldahorn. Die Flügel sind stumpfwinklig bis waagrecht abstehend. Der Fruchtknoten spaltet sich bei der reife und daher wird die Frucht Spaltfrucht genannt. (Baumkunde.de, 2004), (NaturaDB, 2025)



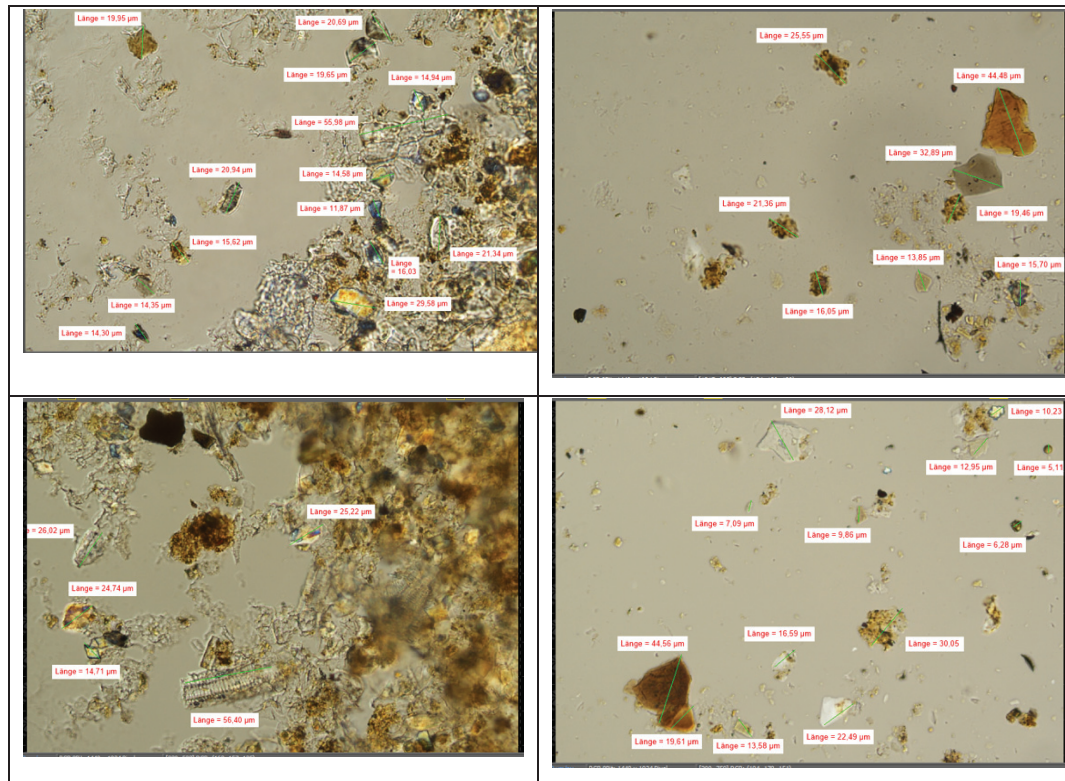


Abb 30: Spitzahorn: Bildliche Gegenüberstellung der Phytolithen von Blättern und Fliegern (Quelle, eigene Fotos)

6.4 Auswertung der Vergleiche

Bei dem Vergleich der Phytolithen von Blättern und Fliegern fällt auf, dass die Phytolithen der Flieger auch gut erkennbar sind aber weniger deutlich ausgebildet, als bei den Blättern. Besonders groß und bunt finden wir sie bei der Winterlinde und dem Spitzahorn. Es stellt sich die Frage warum das so ist. Aus den Beschreibungen heraus können wir erkennen, dass die Blüte oder auch die Fruchtbildung oft schon vor dem Laubaustrieb beginnt. Die Blüte und die Ausbildung der Flieger, dauert also länger als bei manchen anderen Bäumen. Somit hätten die Phytolithen vielleicht mehr Zeit sich auszubilden. Die Flügel sind grundsätzlich für eine gewisse Zeit auch mit Photosynthese beschäftigt, eventuell ist das eine Erklärung für schön ausgebildete Phytolithen. Es muss auch erwähnt werden, dass bei der Veraschung der Flieger nur die Flügel verascht wurden, keine Samen.

Grundsätzlich kann man beobachten, dass die Phytolithen der Flieger im Vergleich zu den Blättern nicht so schön ausgeprägt sind von der Größe her, als auch von der Farbigkeit. Ausnahme hierbei ist die Winterlinde. Bei der Auswahl

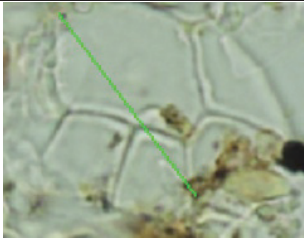
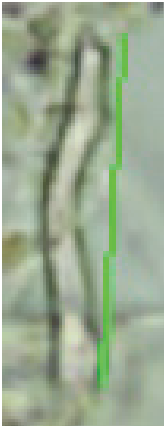
der hier vergleichenden Bilder, scheinen die Phytolithen pr채chtiger, bunter und grisser zu sein als bei den Bl채ttern. Eine Erkl채rung dafur erschliebt sich hier nicht.

7 Die eigenen Ergebnisse im Vergleich zu anderen Studien.

7.1 Untersuchung von B채umen in den Karpaten

Bei dem Vergleich der Fotos von den in den Karpaten gefundenen Phytolithen der Studie Zsuska-Liskes-Szab6 und al., welche auf den Seiten 653 und 654 abgebildet sind, wurden die Phytolithen folgender B채ume, in Mecklenburg-Vorpommern vorkommend, miteinander verglichen: Stieleiche, Haselnuss, Fichte und Kiefer. (Lizstes-Szab6, 2018: 650, n. Piperno 1988; Hodson and Sangster 1998).

7.1.1 Formentypen von Phytolithen aus Mecklenburg-Vorpommern, die mit den in den Karpaten vorgefundenen, vergleichbar sind.

Phytolithen Form	Foto	Phytolithen Form	Foto
Isodiametric epidermal cells		Bulbous rectangular	
Tracheary annulate/helical		Elongate entire	

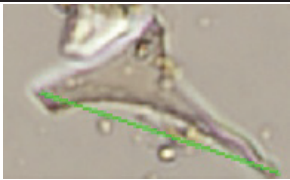
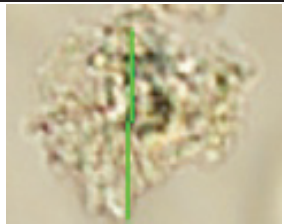
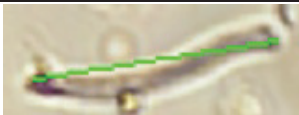
Brachiates		Spheroid	
Ellipsoid		Idioblast	
Acicular		Polyhedral	

Abb 31: Formen von Phytolithen aus Mecklenburg-Vorpommern, die vergleichbar sind mit den in den Karpaten vorgefundenen Phytolithen. (Quelle, eigene Fotos)

7.1.2 Vergleich der Formtypen der Phytolithen

Stieleiche:

Eindeutig konnten folgende Phytolithen in beiden Studien identifiziert werden: Isodiametric epidermal cells, Bulbous rectangular, Brachiates und Elongate. Dagegen konnten bei der Suche in Mecklenburg-Vorpommern keine Stomata gefunden werden, im Gegensatz zu der Studie in den Karpaten.

Gemeine Hasel:

Hier wurden in beiden Studien folgende Phytolithen identifiziert: Tracheary , Annulate/Helical, Spheroid , Acicular, Ellipsoidal und Idioblast

Fichte:

Übereinstimmung bei: Tissue of Elongate sinuate cells, Polyhedral und Rechteck.

Kiefer:

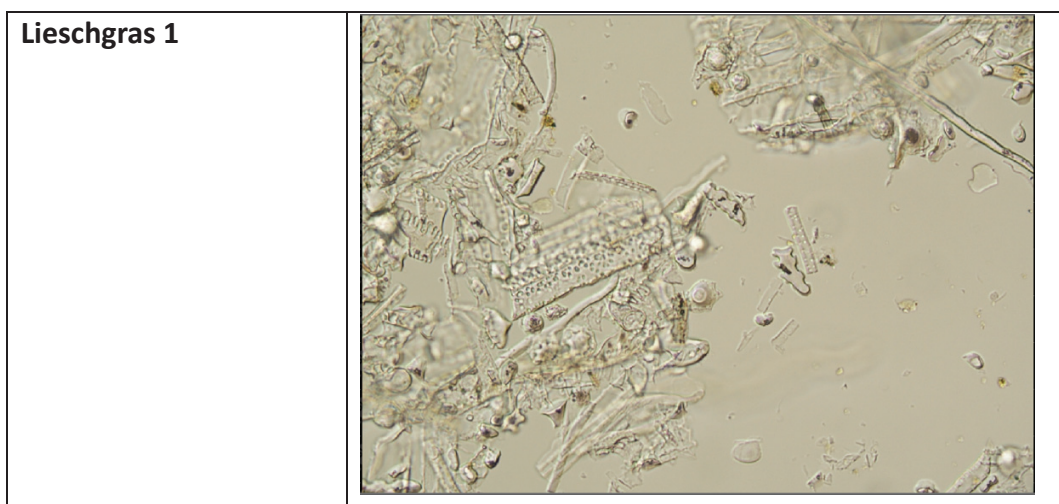
Übereinstimmung bei: Spheroid psilate und Polyhedral

Leider war die Auswahl an Fotos bei der Studie über die Karpaten nur sehr begrenzt, aber es kann zusammengefasst werden, dass sich fast alle in der Karpaten Studie abgebildeten Phytolithen, bei den jeweiligen Bäumen der beiden Studien finden lassen. Die Entdeckung von Zsuszka Lisztres-Szabó et al, 2018, dass sich bei den Untersuchungen der Fichte in den Karpaten besonders viele kastenförmige Phytolithen finden lassen, bestätigt sich bei der Untersuchung in Mecklenburg-Vorpommern nicht. Im Gegenteil, kastenartige Phytolithen lassen sich vor allem bei den Laubbäumen finden.

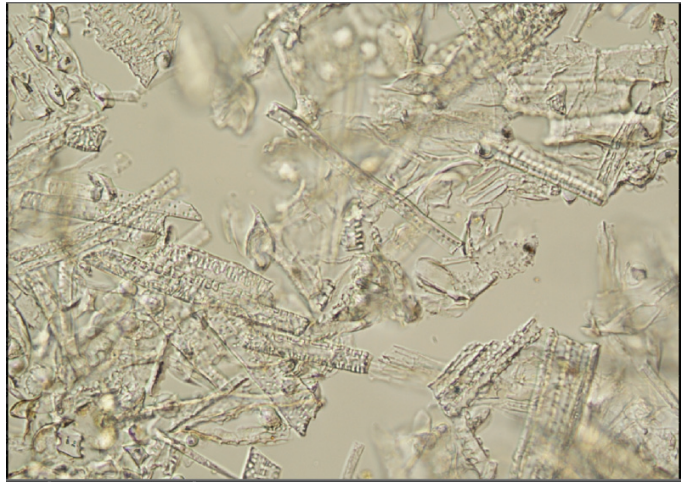
7.2 Vergleich mit in Gräsern und Getreide vorkommenden Phytolithen

T. Becker und S. Kittendorf haben 2024 angefangen die Phytolithen von Gräsern und Getreide zu untersuchen. Ihre Methode war ebenso die Veraschung bei 450°C im Muffelofen. Sie haben netterweise ihre Bilder zum Vergleich zur Verfügung gestellt.

7.2.1 Gräser und Getreide, Bilder von Phytolithen und Formtypen



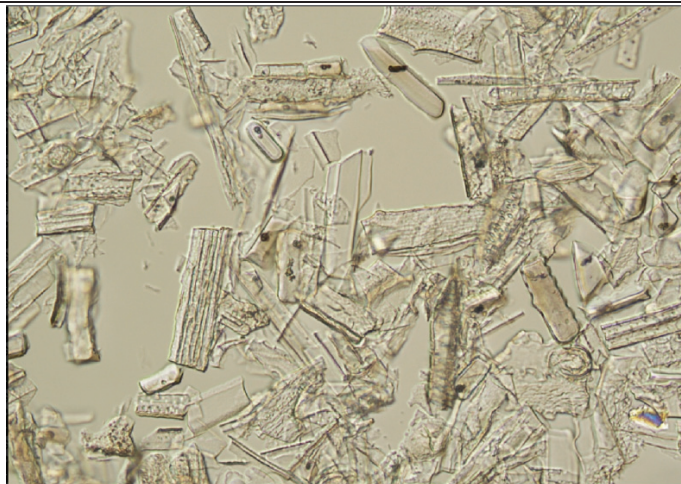
Lieschgras 2



Rohrglanzgras 1



Rohrglanzgras 2



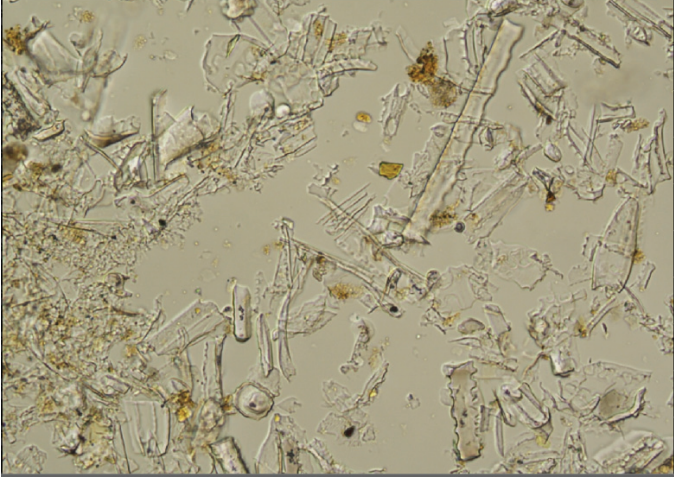
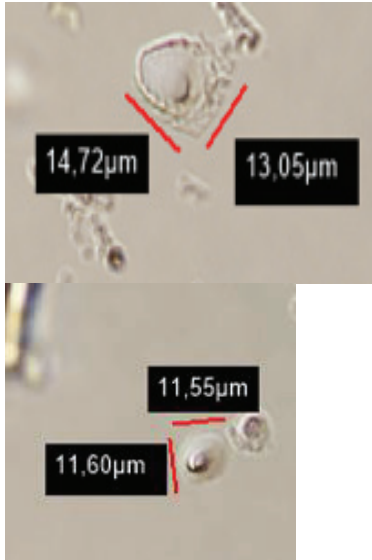
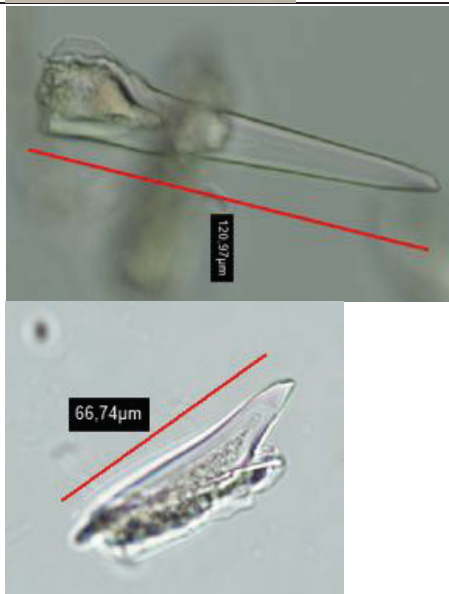
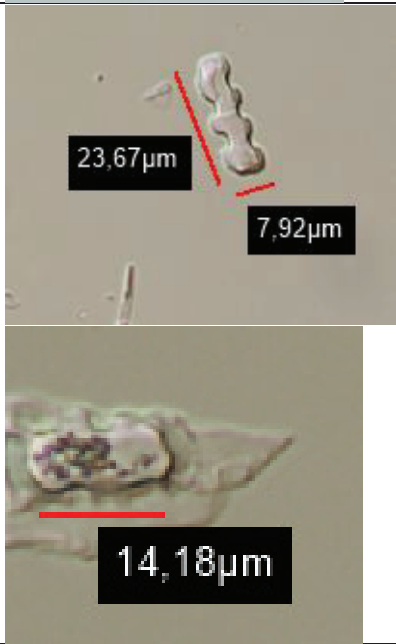
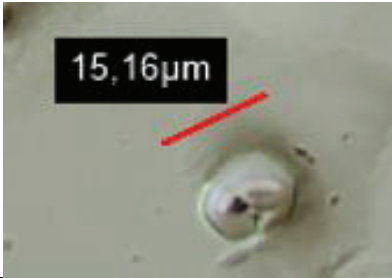
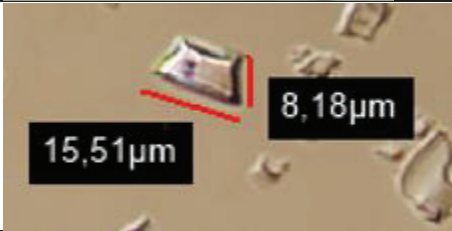
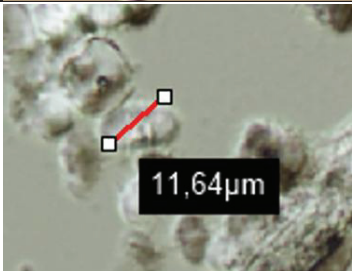
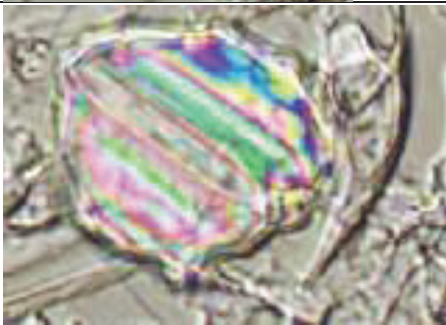
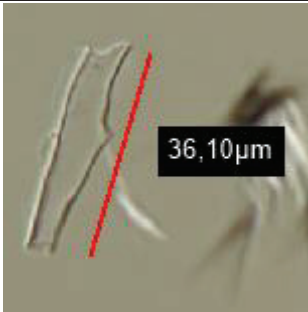
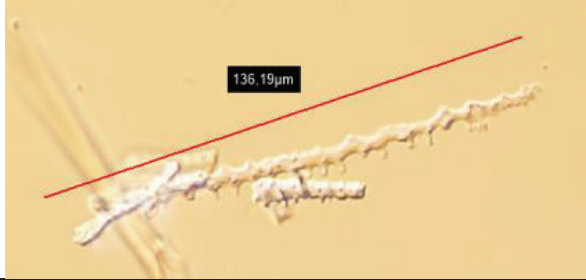
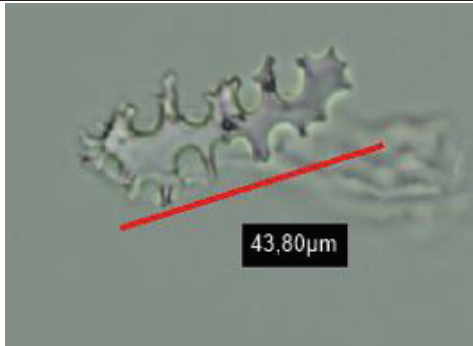
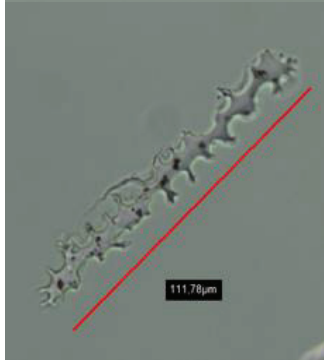
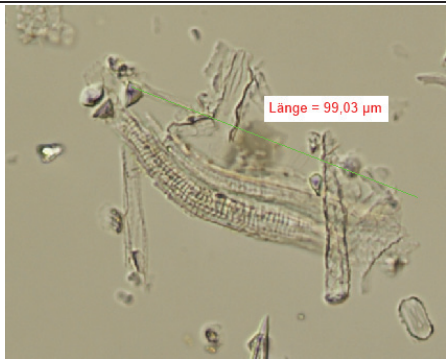
Straußgras 1	
Straußgras 2	

Abb 32: Mikroskopisch erstellte Bilder von Phytolithen verschiedener Gräser (Quelle, S. Kittendorf und T. Becker)

Formtypen	Bild
Elongate Sinuate	
Elongate Entire	 

Papillar	
Acute bulbous	
Crenate Elongate/ Crenate	

Rounded	
Trapeziform	
SAD	
Sparse	 
Elongate Velloate	

Elongate Dentate	 136.19 μm
Elongate Dendritic	 43.80 μm  111.78 μm
Helical	 Länge = 99,03 μm
Annulate	 Länge = 31,15

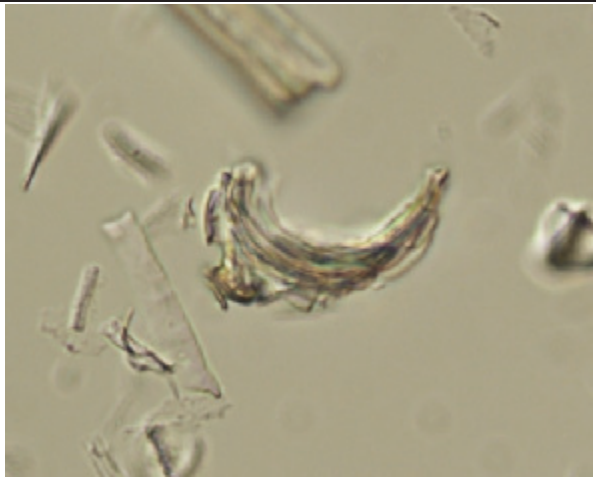
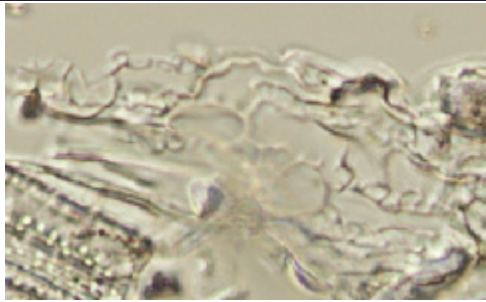
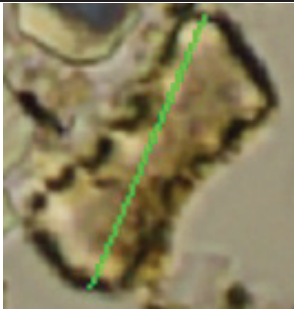
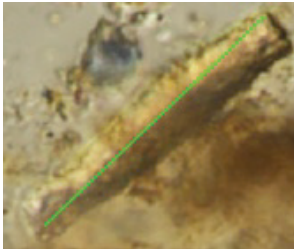
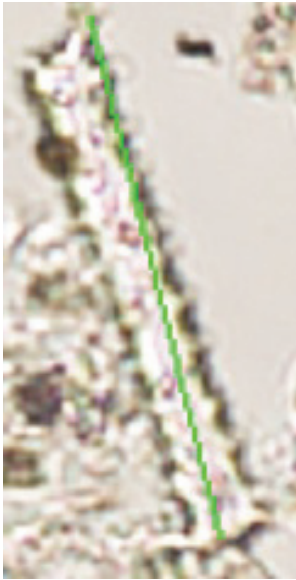
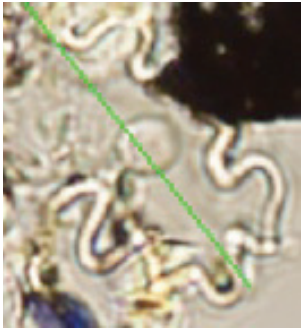
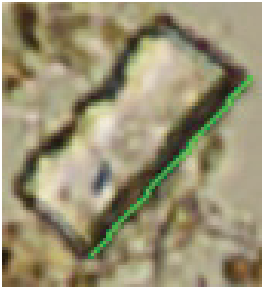
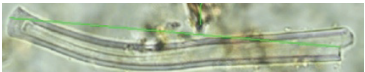
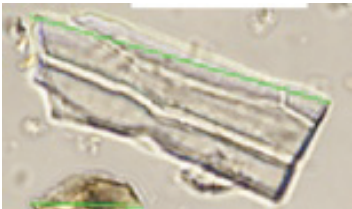
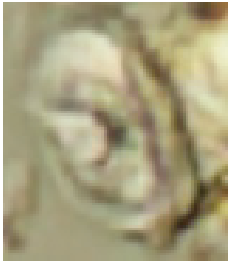
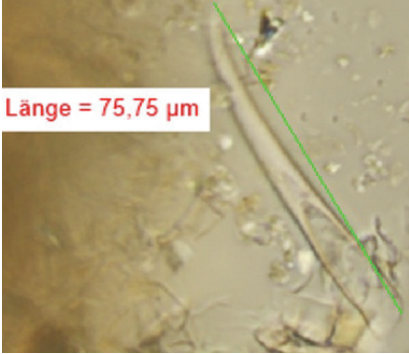
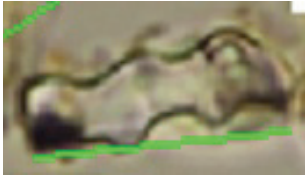
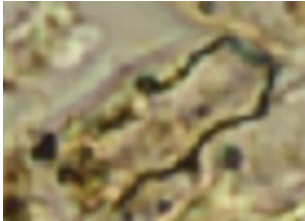
Uncinate	
Isodiametric epidermal cells	

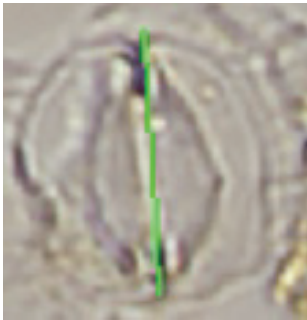
Abb 33: Fotos der Masterstudentinnen T. Becker und S. Kittendorf, Phytolithen, Formtypen von Gräsern und Getreide

7.2.2 Formtypen von Phytolithen bei Laubbäumen, die in ähnlicher Form bei Gräsern und Getreide zu finden sind.

Elongate Sinuate	 Zitterpappel  Spitzahorn	Elongate Entire	 Zitterpappel  Spitzahorn
---------------------	--	--------------------	--

	 Birnenbaum  Gemeine Buche		 Spitzhorn  Schwarzpappel  Bergulme  Bergulme
Papillar	 Spitzhorn  Moorbirke	Acute Bulbous	 Feldhorn  Feldhorn

	 Feldahorn		 Feldahorn
Crenate Elongate/ Crenate	 Zitterpappel  Spitzahorn  Moorbirke	Rounded	 Moorbirke
Trapeziform	Nicht gefunden	SAD	Nicht gefunden

Sparse		Elongate Velloate	
	Zitterpappel		Zitterpappel
			
	Schwarzerle		Sommer Linde
			
	Holzbirne		
Elongate Dentate	Nicht gefunden	Elongate Dendritic	Nicht gefunden
Annulate		Uncinate	Nicht gefunden

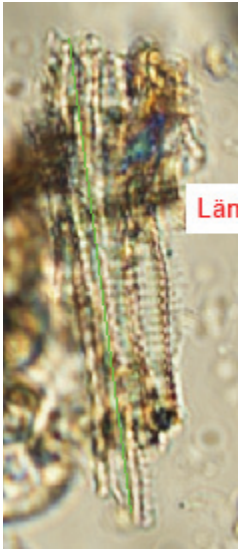
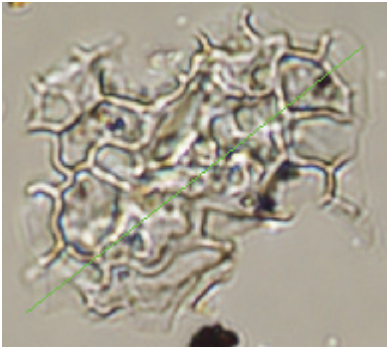
Helical		Isodiametric epidermal cells	
---------	---	------------------------------	--

Abb 34: Formtypen von Phytolithen der Laubbäume, die den Phytolithen der Gräser und dem Getreide entsprechen (Quelle, eigene Fotos)

7.2.3 Formtypen von Phytolithen bei Nadelbäumen, die in ähnlicher Form bei Gräsern und Getreide zu finden sind

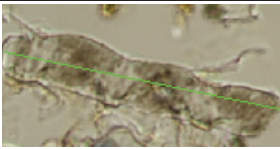
Elongate Sinuate	 Fichte	Elongate entire	 Fichte
Elongate Crenate	 Fichte	Elongate Velloate	 Fichte

Abb 35: Formtypen von Phytolithen der Nadelbäume, die in ähnlicher Form bei Getreide und Gräsern zu finden sind (Quelle, eigene Fotos)

7.2.4 Formtypen von Phytolithen bei Fliegern der Laubbäume, die in ähnlicher Form bei Gräsern und Getreide zu finden sind

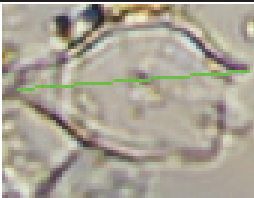
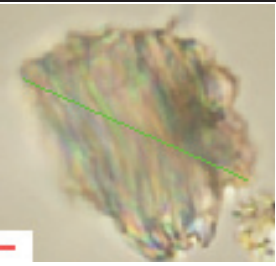
Elongate Sinuate	 Winter Linde Flieger	Elongate Entire	 Bergulme Flieger  Feldahorn Flieger
Papillar	 Bergulme Flieger	Sparse	 Spitzahorn Flieger

Abb 36: Formtypen von Phytolithen bei Fliegern der Laubbäume, die in ähnlicher Form bei Getreide und Gräsern zu finden sind (Quelle, eigene Fotos)

7.2.5 Vergleich der Formtypen von Phytolithen von Gräsern und Getreide mit den Formtypen von Phytolithen der Laub- und Nadelbäume.

Grundsätzlich konnte bei einer ersten Betrachtung der veraschten Proben von Gräsern und Getreide festgestellt werden, dass sich mehr Kohlepartikel als bei der Veraschung der Baumproben gebildet hatten. Der Reinigungsprozess der Proben war viel aufwändiger.

Die Phytolithen bei Gräsern und Getreide weisen grundsätzlich keine Farbe auf, sie sind transparent, vereinzelt findet man gelbe oder bernsteinfarbene. Ein anderer Punkt der auffällt ist, dass die Phytolithen bei Gräsern und Getreide sehr häufig eine längere, längliche Form haben, fadenartig, längliche Rechtecke und

kantig sind. Bei den Bäumen kommen sie auch vor, aber kleiner, kastenförmiger und farbiger. Die Phytolithen bei den Laubbäumen und Nadelbäumen haben die verschiedensten geometrischen Formen (Trapez, Kite, Parallelogramm, Hexagon, Octagon). Es gibt auch viele Phytolithen die bei den Bäumen die nicht bestimmt werden können, da sie häufig aneinandergeklebt sind.

Viele der häufig vorkommenden Phytolithen beim Getreide und Gräsern, konnten bei den Bäumen nicht gefunden werden. Die übereinstimmenden Phytolithen, wie z.B. Helical, Annulate Elongate Sinuate, Elongate entire, Acute bulbous, papillar, Elongate crenate, Elongate Velloate, Isodiametric epidermal cells, waren bei den Laubbäumen zu finden aber nicht bei den Nadelbäumen. Die Nadelbäume dagegen konnten Elongate Velloate, Elongate Sinuate, Elongate Crenate und Elongate Entire aufweisen, sie kamen aber grundsätzlich nur selten vor. Bei den Fliegern stimmten nur die Elongate Sinuate, Elongate Entire, Papillar und Sparse mit den Phytolithen der Gräser und Getreide überein.

8 Gesamtdiskussion

8.1 Wesentliche Beobachtungen

- **Vergleich: Der in Mecklenburg-Vorpommern heimischen Laubbäume, Flieger und Nadelbäume**

Grundsätzlich kann man bei der Betrachtung der Bilder erkennen, dass die Phytolithen der **Flieger der Laubbäume** im Vergleich zu den **Blättern** nicht so deutlich ausgeprägt sind, von der Größe her, als auch von der Farbigkeit.

Die **Laubbäume** weisen schöne, geometrische Phytolithen auf. Sie sind eindeutig identifizierbar und zu klassifizieren. Die Phytolithen der Nadelbäume weisen wenige Formtypen auf, sind häufig klein, aneinandergeklebt und bei der von uns gewählten mikroskopischen Vergrößerung nicht gut erkennbar. Es sieht aus wie eine sandige, quarzige Masse. Es ist auch nur wenig Farbigkeit zu erkennen.

- **Vergleich: Von Bäumen in Mecklenburg-Vorpommern mit Bäumen in den Karpaten**

Interessant war es herauszufinden, ob sich die Phytolithen derselben Baumart an einem anderen Standort, mit anderer Bodenqualität und Klima, sehr von den Phytolithen die in Mecklenburg-Vorpommern vorkommen, unterscheiden.

Basierend auf den eigenen Untersuchungen und dem Vergleich mit der Studie von Zsuska Liszes-Szabó et al, 2018, in den Karpaten, lässt sich feststellen, dass sich viele der Phytoliten in beiden Studien ähneln.

Das führt zu der Annahme, dass sich die Phytolithen von Blättern und Nadeln auch an anderen Standorten ähneln könnten.

- **Vergleich: Bäume mit Gräsern und Getreide**

Ganz anders sieht es bei dem Vergleich mit den Phytolithen von **Gräsern und Getreide** aus.

Parallel zu meiner Arbeit, untersuchten zwei Masterstudentinnen, T. Becker und S. Kittendorf, der Hochschule Neubrandenburg, die Gräser und Getreide nach Phytolithen. Ihre Fotos sind ein wichtiger Bestandteil dieser Arbeit, da sie zu einem Vergleich mit den Ergebnissen von den Bäumen herangezogen wurden.

Es ist interessant zu sehen, wie unterschiedlich sich die Aufnahmen der Phytolithen darstellen. Wie man auf den Bildern von T. Becker und S. Kittendorf gut erkennen kann, ergibt sich schon allein oberflächlich gesehen ein ganz anderer Eindruck. Die Phytolithen sind fast alle durchsichtig, gläsern, machen einen leichten luftigen Eindruck, während die Phytolithen bei den Bäumen wie bunte, schwere Edelsteine wirken.

Die Phytolithen bei den Gräsern und Getreide haben sehr häufig eine längere, langgezogene rechteckige Form, sind fadenartig und meistens kantig. Bei den Bäumen kommen sie auch vor, aber kleiner, kastenförmiger und farbiger.

Viele der häufig vorkommenden Phytolithen bei den Bäumen konnten nicht bei den Gräsern und Getreide gefunden werden und umgekehrt.

Das herausragendste Detail bei dem Vergleich ist, dass den Phytolithen bei Gräsern und Getreide fast vollständig die Farbigkeit fehlt, mit wenigen Ausnahmen. Diese Ausnahmen weisen auch nur eine leichte, helle Farbigkeit auf, etwas regenbogenfarben oder helles braun bis gelb.

Während sich bei den Phytolithen der Bäume oft ein intensives, farbiges Durcheinander ergibt.

8.2 Erklärungsversuche für die Entwicklung unterschiedlicher Formtypen der Phytolithen

Die Frage ist, warum sich die Phytolithen zum Teil so voneinander unterscheiden. Einige der unterschiedlichen Überlegungen dazu betreffen die Beschaffenheit der Pflanze, den Standort, das Klima, die Zusammensetzung des Bodens, natürliche oder künstliche Düngung, die Wasserzufuhr durch Regen, künstliche Bewässerung oder Grundwasser und die Wurzeltiefe.

Naheliegender ist es aber, dass Gräser, vor allem Getreide, wenn sie sogar auf ausgelaugten Böden wachsen, völlig andere Bedingungen für die Phytolithenbildung haben, als die Bäume.

• Wurzelgröße und Wurzellänge

Gräser und Getreide haben nur einen kurzen Lebenszyklus. Ihre Wurzeln bleiben kurz und reichen nicht hinunter bis in die unteren Erdschichten oder gar dem Grundwasser, wie zum Beispiel bei den tiefwurzelnenden Bäumen, u.a. die Stieleiche oder Kiefer. Bei Punkt 2.1.5, dieser Arbeit, wird auf die Zusammenhänge der von Pflanzen aufgenommenen Kieselsäuren hingewiesen, die in der Natur v.a. im Grundwasser zu finden sind, aber nur in geringer Konzentration im Trinkwasser und gar nicht im Regenwasser.

• Wasseraufnahme

Bäume, die in ihrem natürlichen Umfeld leben, werden in der Regel nicht bewässert, sie nehmen das Wasser, Regenwasser, Grundwasser und die Nährstoffe über ihr verzweigtes Wurzelwerk auf, welches manchmal flacher oder tiefer verläuft.

Bei Gräsern und Getreide muss man vielleicht bei den beiden unterscheiden. Beide haben in der Regel ein kurzes und räumlich sehr eingeschränktes Wurzelsystem. Während Gräser aber meistens in einem natürlichen Umfeld

stehen, bewässert nur durch den Regen, wird Getreide bewusst angepflanzt, häufig als Monokultur und muss gedüngt bzw. künstlich bewässert werden.

• Unterschiedliche Nährstoffaufnahme

Eine Feststellung der Untersuchung von Zsuszka Liszes-Szabo et. Al, 2018, siehe Punkt 3.2, bei ihrer Untersuchung in den Karpaten war, dass in den Blättern von Laubbäumen mehr biogene Kieselerde abgelagert war als in den Nadeln der Nadelbäume.

In der Dissertation von Caroline Braune kann man nachlesen, „Der Prozess der Silikataufnahme unterliegt lebensraumspezifischen Parametern“ Ist z.B der Aluminiumoxidgehalt des Bodens erhöht, kann die Silikataufnahme stark reduziert sein (Jones und Handreck 1965). Die Aufnahme von Silikat konkurriert mit der Phosphat-Aufnahme. Entscheidend ist der pH-Wert des Bodens:“ (Ma und Takahashi 2002). Bei einem niedrigen pH-Wert, d.h. ein saurer Boden, nehmen Pflanzen mehr Silikat als Phosphat auf. Bei einem hohen pH-Wert, d.h. der Boden wird alkalisch bzw. basisch, wird die Silikataufnahme durch Phosphat gehemmt. (Ma und Takahashi 2002). Eventuell liegt hier eine Erklärung für die Unterschiede zwischen den Phytolithen der Nadelbäume zu den Laubbäumen.

„Ein feuchter Standort kann ebenfalls durch die Morphologie von mikroanatomisch ausgewerteten Phytolithen nachgewiesen werden. Bei erhöhter Wasserzufuhr oder künstlicher Bewässerung gelangen große Mengen an Kieselsäure in die Pflanze und führen zur Entstehung von mehreren Lagen Kieselskeletten (Rosen und Weiner 1994). Weiter zeigen sich neben primär verkieselten Kurzzellen, verkieselte Langzellen, die als Indikator für eine erhöhte Wasserzufuhr dienen (Madella et al. 2009)“ (Braune 2014: 13)

Diese Erkenntnisse würden auch zu den Bildern von Gräsern und Getreide passen, denn es ist anzunehmen, dass zumindest das Getreide künstlich bewässert wird, auch wenn wir wissen, dass es in Mecklenburg-Vorpommern oft im Sommer regnet, Siehe Abschnitt 4.1.1.

Zudem ist es bekannt,“ dass eine deutlich erhöhte Phytolithbildung im Blattgewebe bei Silikatzuführung stattfindet. (Schaller et al. (2012), zit. n. Braune 2014: 61) Das wird auch von der Zalf-Studie „Amorphes Silikat, Phytolithe, verbessern die Bodenqualität“, Gliederungspunkt 2.2.3, bestätigt. Hier wird vorgeschlagen bei der Düngung von landwirtschaftlichen Flächen amorphes Silikat hinzuzufügen, da v.a. bei Getreide die Stängel und Blätter nicht zum Verrotten auf den Feldern zurückgelassen werden. So können Phytolithen nicht wieder vom Boden aufgenommen werden können, der Boden verarmt, unter anderem weil zu wenig amorphes Silikat vorhanden ist.

Bei den Gräsern sieht es aber eigentlich anders aus, hier findet normalerweise ein Verrottungsprozess statt, d.h. die Phytolithen werden innerhalb eines natürlichen Kreislaufs wieder in den Boden eingebracht, es sei denn die Gräser werden auch hier regelmäßig abgemäht und wegtransportiert.

Das führt zu der Annahme, dass sich die Phytolithen Typen zwischen Gräsern, im Vergleich zu den Getreidearten eigentlich etwas unterscheiden sollten. Eine interessante Fragestellung, leider kann innerhalb dieser Arbeit keine Antwort darauf gefunden werden.

Bei den Bäumen besteht die Annahme, dass der Boden reicher an amorphen Silikaten ist, da die Blätter, Flieger und Nadeln normalerweise auf den Boden fallen und verrotten. Dadurch werden die Phytolithen wieder in den natürlichen Kreislauf zurückgeführt.

All diese Punkte lassen die Vermutung zu, dass die Wurzeltiefe, der natürliche Kreislauf der Zersetzung von Blättern und somit genügend amorphes Silikat zu der ausgeprägten Farbigkeit der Phytolithen bei Bäumen führen könnten.

8.3 Ausblick

- **Phytolithen liefern Rückschlüsse über den Klimawandel und vergangene Vegetationen**

Die Bäume betreffend, könnte man durch tiefergehende Bodenanalysen erkennen, wie sich das Klima im Lauf der Jahre und Jahrhunderte, verändert hat.

Haben sich die Baumarten verändert? Gab es an den untersuchten Standorten früher ein Meer, einen See, Schnee und Eis und somit überhaupt keine Vegetation? Wie groß war der Forst vor 1000 Jahren oder vor hundert Jahren? Wo verliefen die Grenzen eines Waldes? Sind die Veränderungen moderat, konstant oder haben sie während der Jahre der Industrialisierung, des Bevölkerungswachstums und des Klimawandels drastisch zugenommen? Phytolithen können sicher einige der Fragen beantworten. Dennoch scheint eine lokale Untersuchung wichtig zu sein, da sich jeder Standort vom Klima und Boden her unterscheidet.

• **Phytolithen: Themen der Gegenwart und der Zukunft**

Die Arbeit an meiner Bachelorarbeit hat mir gezeigt wieviel Erklärungsbedarf noch zu diesem Thema besteht. Es wäre wichtig mehr Informationen über die chemischen Zusammenhänge zu haben, sowohl für die Blätter der Bäume als auch für die Gräser und das Getreide. Eine Analyse des Bodens, der jeweiligen Standorte wäre wichtig. Getreide, Gräser und Bäume haben grundsätzlich unterschiedliche Standortbedingungen. Eine meiner frühen Gedanken war ein Vergleich zwischen derselben Baumart. Ein Baum der im Verbund steht, im Wald, im Vergleich mit einem Baum, der mitten auf einem gedüngten Feld steht. Das führt zu dem nächsten Gedanken. Mit welchem Dünger wird v.a. Getreide gedüngt. Hier müsste man auch genaue Untersuchungen ansetzen. Würde eine Erhöhung amorphes Silikats im Dünger zu einer Veränderung der Phytolithenbildung im Getreide führen? Wir wissen inzwischen, dass sich die Phytolithenbildung erhöht, aber nicht ob sich andere Formentypen bilden oder sich die Farbigkeiten verändern würden.

• **Interessante Themen den Dünger betreffend, wenn ihm amorphes Silikat beigelegt werden würde:**

- Eventuelle Veränderung der Phytolithen: Größe, Form und Farbe
- Verbesserung der Ernte durch Erhöhung der Biomasse
- Verbesserung der Resistenzen von Pflanzen

- Abfederung der Auswirkungen des Klimawandels und des Wassermangels durch eine verbesserte Wasserverfügbarkeit des Bodens.

Das wären durchaus auch positive Effekte, die den Bäumen nutzen könnten. Es gäbe aber viele unterschiedliche Interessenslagen zu beachten. Es müssten erst einmal unterschieden werden, ob die Bäume zufällig gewachsen sind oder angepflanzt wurden. Stehen sie im Verbund, im Wald oder alleine. Handelt es sich um eine Monokultur, aufgeforstet für die Holzverarbeitung, Obstanbau oder Olivenhaine. Die Obsternte, Nussernte oder Olivenernte, Monokulturen allgemein, könnten mit Hilfe amorphen Silikats eventuell verbessert werden. Bäume wären grundsätzlich besser gerüstet um sich gegen den Klimawandel zu wehren u.a. durch eine verbesserte Wasserspeicherung des Bodens. Diese möglichen Auswirkungen auf Bäume zu überprüfen und zu messen, wäre sicher eine interessante Aufgabe.

Abbildungsverzeichnis

Abb 1: Eingesetztes Material, für die Veraschung, Reinigung der Proben und der mikroskopischen Untersuchung von Phytolithen (Quelle, eigene Fotos).	18
Abb 2: Auflistung aller Bäume, die für die Bachelorarbeit untersucht wurden	19
Abb 3: Am häufigsten vorkommende Typen von Phytolithen bei Laubbäumen (Quelle, eigene Erhebung)	24
Abb 4: Bergulme: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Ulmus_glabra/	27
Abb 5: Feldahorn: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Acer_campestre/	31
Abb 6: Spitzahorn: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Acer_platanoides/	35
Abb 7: Bergahorn: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Acer_pseudoplatanus/	39
Abb 8: Sommerlinde: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Tilia_platyphyllos	43
Abb 9: Winterlinde: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Tilia_cordata/	47
Abb 10: Haselnuss: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Corylus_avellana/	51
Abb 11: Gemeine Buche: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Fagus_sylvatica/	55
Abb 12: Hainbuche: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Carpinus_betulus/	59
Abb 13: Stieleiche: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Quercus_robur/	63
Abb 14: Traubeneiche: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Quercus_petraea/	67

Abb 15: Holzbirne: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Pyrus_pyraster/	71
Abb 16: Holzapfel: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Malus_sylvestris/	75
Abb 17: Schwarzerle: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Alnus_glutinosa/	79
Abb 18: Moorbirke: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Betula_pubescens/	83
Abb 19: Zitterpappel: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Populus_tremula/	87
Abb 20: Schwarzpappel: Steckbrief und vorkommende Typen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Populus_nigra/	91
Abb 21: Eibe: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Taxus_baccata/	95
Abb 22: Fichte: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Picea_abies/	99
Abb 23: Kiefer: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumkunde.de/Pinus_nigra/	103
Abb 24: Chinesische Wacholder: Steckbrief und vorkommende Formtypen von Phytolithen, statistische Auswertung von 100 Fotos (Quelle, eigene Erhebung), https://www.baumschule-horstmann.de/wacholder-blue-alps-22_68962.html	107
Abb 25: Vergleich der Phytolithen von Laubbäumen und Nadelbäumen (Quelle, eigene Fotos)	111
Abb 26: Bergulme: Bildliche Gegenüberstellung der Phytolithen von Blättern und Fliegern (Quelle, eigene Fotos)	114
Abb 27: Sommerlinde: Bildliche Gegenüberstellung der Phytolithen von Blättern und Fliegern (Quelle, eigene Fotos)	115
Abb 28: Winterlinde: Bildliche Gegenüberstellung der Phytolithen von Blättern und Fliegern (Quelle, eigene Fotos)	117
Abb 29: Feldahorn: Bildliche Gegenüberstellung der Phytolithen von Blättern und Fliegern (Quelle, eigene Fotos)	118

Abb 30: Spitzahorn: Bildliche Gegenüberstellung der Phytolithen von Blättern und Fliegern (Quelle, eigene Fotos)	120
Abb 31: Formen von Phytolithen aus Mecklenburg-Vorpommern, die vergleichbar sind mit den in den Karpaten vorgefundenen Phytolithen. (Quelle, eigene Fotos)	122
Abb 32: Mikroskopisch erstellte Bilder von Phytolithen verschiedener Gräser (Quelle, S. Kittendorf und T. Becker).....	125
Abb 33: Fotos der Masterstudentinnen T. Becker und S. Kittendorf, Phytolithen, Formtypen von Gräsern und Getreide.....	129
Abb 34: Formtypen von Phytolithen der Laubbäume, die den Phytolithen der Gräser und dem Getreide entsprechen (Quelle, eigene Fotos).....	133
Abb 35: Formtypen von Phytolithen der Nadelbäume, die in ähnlicher Form bei Getreide und Gräsern zu finden sind (Quelle, eigene Fotos).....	133
Abb 36: Formtypen von Phytolithen bei Fliegern der Laubbäume, die in ähnlicher Form bei Getreide und Gräsern zu finden sind (Quelle, eigene Fotos)	134

Literaturverzeichnis

Adata, M.H/ Besford,R.T., 1986: The Effects of Silicon on Cucumber Plants grown in Recirculation Nutrient Solution. *Annals of Botany* 58,343-351.

Becker, Tirza/ Kittendorf, Susan , 2025: vergleichende mikroskopische Untersuchungen der Ausstattung von Getreidearten und Gräsern mit verschiedenen Formtypen von Phytolithen – Eine umweltgeschichtliche Grundlagenstudie, Masterarbeit, Hochschule Neubrandenburg.

Blinnikov MS , 1994: Phytolith analysis and Holocene dynamics of alpine vegetation. In: Onipchenko VG, Blinnikov MS (eds) *Experimental investigations of alpine plants communities in the north-west Caucasus*. Veröffentlichungen des Geobotanischen Instituts der ETH 115. Stiftung Rübel, Zürich, pp 23-40.

Bowdery D., 1989:. *Phytolith Analysis: Introduction and Applications*. In *Plants in Australian archaeology* (Beck,W., Clark, A.&Heard, L.eds.)pp 161-196. Anthropology Museum, University of Queensland, Queensland.

Braune, Caroline, 2014: Nanoindentation an Phytolithen ausgewählter Nahrungspflanzen herbivorer Säugetiere und der potentielle Einfluss der Härte auf die Usur der Dentition, Dissertation, Hamburg.

Braune,C./ Lieberei, R./ Steinmacher,D,/ Kaiser,T.M.,2012: A simple microwave extraction method for the isolation and identification of plant opal phytoliths. *Biologia* 67, 927.930.

Bremond, L./ Alexandre, A./ Vela, E./ Guiot, J., 2004: Advantages and disadvantages of Phytolith analysis for the reconstruction of Mediterranean

vegetation: an assessment based on modern phytolith pollen and botanical data (Luberon France). Rev. Paleobot Palynol 129: 213-228.

Caenelli, AL./ Theurillat, JP./ Madella, M., 2004: Phytolith types and type-frequencies in subalpine-alpine plant species of the European Alps. Rev Paleobot Palynol 129:39-65.

Feeser Ingo / Dörfler Walter/ Rösch Manfred/ Jahns Susanne/ Wolters Steffen/ Bittman Felix, 2025: Vegetationsgeschichte der Landschaften in Deutschland, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Fritzsche, Dagmar/Langan, Carolin/Röpke, Astrid Kirsten, 2019: Geschmolzenens Stroh-Brennexperimente an Getreide und seine Bedeutung für die Interpretation von erhitzten archäologischen Sedimenten, Archäologische Berichte 30, 2019: 165-175.

Hodson, MJ./ Sangster, AG., 1998: Mineral deposition in the needles of White Spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss). Ann Bot 82: 375-385.

Jones, L.H.P./ Handreck. K.A., 1965: Studies of silica in the oat plant: III. Uptake of silica from soils by the plant. Plant soil 23, 79-96.

Kaczorek / Kaczorek, D./ Vrydaghs, L./Devos, Y./ Pett, A./ Effland, W.R., 2018: Biogenic siliceous features. In: Stoops, G./ Marcelino, V./ Mees, F. (eds.), Interpretation of micromorphological features of soil and regoliths (Amsterdam 2018) 157-176.

Latscha, Hans Peter/ Katzmaier, Uli, 2016 Chemie für Biologen, 4. Auflage, Heidelberg: Springer Spektrum.

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. Müncheberg, ZALF-Studie: Silizium-Düngung steigert Weizenerträge und Wasserverfügbarkeit, Pressemitteilung 10.05.2023.

Lisztes-Szabó, Zsuzsa/ Braun, Mihály/ Csík ,Attila/ Pető, Ákos,2019: Phytoliths of six woody species important in the Carpathians: characteristic phytoliths in Norway spruce needles, *Vegetation History and Archaeobotany* (2019) 28: 649-662, <https://doi.org/10.1007/s00334-019-00720-x>, Springer.

Ma, J.F. /Takahashi, E., 2002: *Soil, Fertilizer and Plant Silicon Research in Japan*, Elsevier.

Madella, M./Jones, M.K./ Echlin, P./Powers-Jones, A./Moore, M., 2009: Plant water availability and analytical microscopy of phytoliths: Implications for ancient irrigation in arid zones. *Quaternary International* 193, 32-40.

Piperno DR, 1988: *Phytolith analysis: an archeological and geological perspective*. Academic Press London.

Piperno, D.R.,2006: *Phytoliths. A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists*, Altamira Press. A Division of Rowman & Littlefield Publishers, Inc., Lanham.

Richter, D.,1992: *Allgemeine Geologie*, de Gruyter, Berlin.

Rosen, A./M. & Weiner, S. 1994: Identifying Ancient Irrigation: a New Method Using Opaline Phytoliths from Emmer Wheat. *Journal of Archaeological Science* 21, 125-132.

Runge, F., 2000: *Opal-Phytolithe in den Tropen Afrikas und ihre Verwendung bei der Rekonstruktion paläoökologischer Umweltverhältnisse*, Books on Demand GmbH, Paderborn.

Seitz Bernd-Jürgen, 2017: *Das Gesicht Deutschlands, Unsere Landschaften und ihre Geschichte*. Verlag Konrad Theiss-Verlag, Freiburg.

Internetseiten:

Baumkunde.de, (2004), Die häufigsten Bäume und Sträucher Deutschlands,
Verfügbar unter:

- <https://www.baumkunde.de/haeufigste-baeume-deutschland.php>
(Abgerufen am 20.12.2024).

Ebbecke, Verfahrenstechnik, (2023), Technikexperte für Schüttgut und
Schüttgutverarbeitung, Verfügbar unter:

- <https://www.ebbecke-verfahrenstechnik.de/unternehmen/lexikon/kieselsaeure.html>
(Abgerufen am 10.11.2024).

European Commission, CORDIS-EU research results, (2015), Methodological
development of phytolith analysis for studying non-dietary crop products in
prehistoric agricultural societies, Verfügbar unter:

- <https://cordis.europa.eu/article/id/151552-studying-cereal-crops>
(Abgerufen am 10.09.2024).

Laenderdaten.info, (2025), Klima in Mecklenburg-Vorpommern (Deutschland),
Verfügbar unter:

- <https://www.laenderdaten.info/Europa/Deutschland/Klima-Mecklenburg-Vorpommern.php> (Abgerufen am 11.12.2024).

Lenntech Wasseraufbereitung, (1998), Verfügbar unter

- <https://www.lenntech.de/pse/wasser/silizium/silizium-und-wasser.htm>
(Abgerufen am 09.09.2024).

Mineralienatlas-Fossilienatlas (2025), Lexikon, Quarz, Silizium und Siliziumoxid,
Verfügbar unter:

- <https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Mineralienportrait/Quarz/Silizium%20und%20Siliziumdioxid> (Abgerufen am 09.10.2024).

NaturaDB, (2025), Verfügbar unter:

- <https://www.naturadb.de>, (Abgerufen am 20.12.2024).

Polymer Service GmbH Merseburg, (2025), Veraschungsmethode, Verfügbar unter:

- <https://wiki.polymerservice-merseburg.de/index.php/Veraschungsmethode>
(Abgerufen am 25.11.2024).

Zalf-Studie, (2023), Silizium-Düngung steigert Weizenerträge und Wasserverfügbarkeit, Verfügbar unter:

- <https://www.zalf.de/de/aktuelles/Seiten/Pressemitteilungen/silizium-steigert-weizenertraege.aspx>, (Abgerufen am 10.05.2023).

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die Bachelorarbeit mit dem Titel

„Vergleichende mikroskopische Untersuchung der Ausstattung von Blättern und Nadeln mitteleuropäischer Baumarten mit verschiedenen Formtypen von Phytolithen – Eine umweltgeschichtliche Grundlagenstudie“,

eigenständig erbracht, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommen Gedanken als solche kenntlich gemacht habe.

Die Arbeit wurde nicht, auch nicht in Teilen, unter Verwendung eines textbasierten Dialogsystems (wie ChatGT) oder auf andere Weise mit Hilfe einer künstlichen Intelligenz von mir verfasst.

Die Arbeit habe ich in gleicher oder ähnlicher Form oder auszugsweise noch keiner Prüfungsbehörde zu Prüfungszwecken vorgelegt. Des Weiteren bestätige ich, dass die schriftliche und die elektronische Version der Arbeit identisch sind. Mir ist bekannt, dass Zuwiderhandlungen gegen den Inhalt dieser Erklärung einen Täuschungsversuch darstellen, der grundsätzlich das Nichtbestehen der Prüfung zur Folge hat.

Ort, Datum

Unterschrift