

Facharbeit im Bereich Biologie

**Bilderatlas zur Holzartenbestimmung
mittels Auflichtmikroskopie**

In Zusammenarbeit mit
dem Greifenberger Institut für Musikinstrumentenkunde

Betreuende Dozenten: Bettina Beaury

INHALT

I. EINLEITUNG	4
II. ZIELSETZUNG	4
III. ARBEIT DES GREIFENBERGER INSTITUTES	5
IV. GRUNDLAGEN	6
1. HOLZBESTIMMUNG	6
1.1 Methoden	6
1.2 Betrachtungsebenen	7
2. AUFLICHTMIKROSKOPIE	8
3. VERWENDETE MIKROSKOPE	8
3.1 Digitalmikroskop Emspira 3.....	8
3.2 3D-Mikroskop Keyence	8
3.3 Mikroskop Panthera C2 Binocular	9
3.4 Lichtmikroskop Axioscop 2	9
4. DATENBANK	9
V. PRAKTISCHER TEIL	10
1. HÖLZER	10
1.1 Hölzer Auswahl	10
1.2 Präparation	12
1.2.1 Auflicht-Präparate.....	12
1.2.2 Durchlicht-Präparate.....	13
2. AUFNAHMEN.....	14
2.1 Aufnahme der durchlichtmikroskopischen Bilder	14
2.2 Aufnahme der auflichtmikroskopischen Bilder	16
3. ERSTELLUNG DER DATENBANK.....	19
4. TESTUNG AUF ANWENDBARKEIT	22

4.1	Objekt	22
4.2	Durchführung	22
4.2.1	Querschnitt	23
4.2.2	Tangentialschnitt	24
4.2.3	Radialschnitt	25
4.2.4	Vergleich	26
4.3	Ergebnis	28
4.4	Anwendung bei transparenten Oberflächen	30
4.4.1	Querschnitt	30
4.4.2	Tangentialschnitt	31
4.4.3	Radialschnitt	32
4.4.4	Ergebnis	33
4.5	Anwendung bei nicht planen Oberflächen	35
VI.	FAZIT	36
VII.	DANKSAGUNG	37
VIII.	ANHANG	38
1.	ZUSAMMENFASSUNG	38
2.	SUMMARY	39
3.	GLOSSAR	40
4.	VERZEICHNISSE	42
4.1	Literatur	42
4.2	Internetdokumente	43
4.3	Abbildungen	44
4.4	Abbildungsnachweise	45
5.	EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	46

I. EINLEITUNG

Die Restaurierung ist eine Arbeit, die sich nicht nur mit den auszuführenden restauratorischen und konservierenden Maßnahmen befasst, sondern auch mit den darunter zwangsläufig notwendigen Untersuchungen von Zusammenhängen historischer Hintergründe und naturwissenschaftlicher Analysen zur Gewinnung materialkundlicher Informationen. Innerhalb dieses Untersuchungskomplexes ist der Holzbestimmung, gerade im Bereich des Mobiliars, ein wesentlicher Platz einzuräumen. Es ist ein Material, dem der Mensch seit Beginn an begegnet und sich zunutze macht. Somit ist es nicht verwunderlich, dass Schäden, in unterschiedlichen Ausmaßen, entstehen und das Objekt sowohl in seiner ästhetischen Gesamtheit wie auch Stabilität beeinträchtigen können. Die Bedeutung der Unterscheidung verschiedener Holzarten wird erst dann umfassend ersichtlich, wenn der Forscher ein Bewusstsein über „Holzstruktur und physikalische, mechanische und chemische Eigenschaften“¹ erlangt hat.

II. ZIELSETZUNG

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der mikrophotographischen Holzbestimmung mit Fokussierung auf die Methode der Auflichtmikroskopie und die Erstellung eines funktionalen, digitalen Bilderatlas.

In der Konservierung und Restaurierung bestimmen historische, kulturelle, wie ethische Prinzipien die Arbeitsmethoden der Werkstätten.² Restauratoren sind einem stetigen Wandel unterworfen und es ist eine Pflicht, die eigenen Methoden zu hinterfragen und durchweg zu verbessern. Die wissenschaftliche Identifizierung von Holz erfolgt in den meisten Fällen durch Betrachtung einer entnommenen Probe unter dem Durchlichtmikroskop. Durch immer präzisiert werdende mikroskopische Möglichkeiten erscheint ein solches Verfahren nicht mehr zwangsläufig notwendig zu sein. Die zerstörungsfreie Auflichtmikroskopie könnte sich als eine Alternative herausstellen und unterstützt werden durch mikrofotografische Aufnahmen. Diese Arbeit fühlt sich dazu verpflichtet, dieses Verfahren nicht nur auszutesten und seine Grenzen zu formulieren, sondern auch einen funktionalen Lehratlas zu erstellen, der die wissenschaftlich fundierte Holzbestimmung unterstützen soll.

¹ WAGENFÜHR 1966, S. 5.

² MATTEINI, MOLES 1990, S. 15.

III. ARBEIT DES GREIFENBERGER INSTITUTES

Das Greifenberger Institut für Musikinstrumentenkunde GmbH beschäftigt sich mit der Forschung von Musikinstrumenten und deren Historie.

Es folgt der ethischen Auffassung und den Grundprinzipien der Konservierung. Bedeutet, dass nach Möglichkeit ein Eingriff in das Kulturgut vermieden werden soll und nur notwendige Maßnahmen, wie Sicherungs- und schadensvorbeugende Maßnahmen, durchgeführt werden. Das ist selbstverständlich nicht immer der Fall, jedoch werden die Arbeiten des Instituts transparent gehalten und fokussieren sich auf das Erfassen und Rekonstruieren der Instrumente. Ihr hoher Wissensstand in Kombination mit ihren innovativen und einzigartigen Herangehensweisen, macht es möglich, den Klang alter Epochen dem Menschen wieder zu schenken.

Das Institut strebt ebenfalls die Optimierung und Weiterentwicklung der Analysen von Materialien an, worunter auch die Holzidentifizierung fällt. Der Einsatz der Auflichtmikroskopie findet in dem Institut bereits statt, jedoch sind die meisten bestehenden Bildatlanten für die Durchlichtmikroskopie ausgelegt.³ Eine Probeentnahme würde den ethischen Vorstellungen widersprechen. Somit entwickelte sich die Überlegung eigene Aufnahmen zu erstellen. Mit dieser Anregung trat das Greifenberger Institut an das Goering Institut heran. Daraus entstand die Idee eine Facharbeit zu gestalten, die für ihre Zwecke angepasst ist. Sie stellten Wissen und technisches Equipment zur Verfügung und hatten somit einen wesentlichen Einfluss auf dieser Arbeit.

³ SCHWEINGRUBER o. J. und GROSSER 1977.

IV. GRUNDLAGEN

1. Holzbestimmung

1.1 Methoden

Es existieren viele unterschiedliche und doch im Kern gleiche Methoden der Holzbestimmung. In der Regel beginnt man mit der makroskopischen Betrachtung. Es ist dem Menschen möglich, durch seine physiologische Wahrnehmung, bereits feine visuelle, olfaktorische oder haptische Unterschiede wahrzunehmen.⁴ Je auffallender bzw. markanter, desto eindeutiger fällt die Bestimmung aus. Mit Erfahrung wächst das Wissen und erleichtert dieses Verfahren. Jedoch ist diese Betrachtungsweise keine wissenschaftlich fundierte Arbeit und findet schnell seine Grenzen.⁵

Eine Lupe kann als unterstützendes Werkzeug helfen und ist bereits eine Stufe weiter. Sie vergrößert unsere Betrachtung und ist der Vorläufer zum Mikroskop.⁶

Das Mikroskop, mit entsprechender Vergrößerung, ermöglicht uns den Einblick in die anatomische Grundstruktur des Holzes. Die Analyse der Zellen und der für jede Art spezifischen Merkmale lassen ein eindeutiges Ergebnis zu. Wichtig ist dabei zu beachten, dass sich die Gesamtvergrößerung aus dem Produkt aus Objektivmaßstabszahl und der Okularvergrößerung ergibt.⁷ Diese Methode findet hauptsächlich ihre Anwendung beim Durchlichtmikroskopieren.⁸

Besonders beeindruckend sind die Ergebnisse bei dem Einsatz von Elektronenstrahlen. Das Rasterelektronenmikroskop besitzt eine Tiefenschärfe, die die Bilder plastisch wirken lässt und uns die Anatomie vollends präsentiert.⁹ Diese Methode ist für das Verständnis der Holz eigenen Architektur und der physiologischen Eigenschaften unabdingbar. Für eine realistische Anwendung im Bereich der Holzidentifizierung für Restauratoren ist dies jedoch nicht nötig und aus wirtschaftlicher Sicht betrachtet nicht tragbar.

⁴ Vgl. SCHWEINGRUBER 1978, S. 12.

⁵ Vgl. BOSSHARD 1974, S. 77.

⁶ Vgl. GROSSER 1977, S. 61.

⁷ MATTEINI, MOLES 1990, S. 27.

⁸ Vgl. SCHWEINGRUBER 1978, S. 34.

⁹ Vgl. BRAMWELL 1976, S. 20.

1.2 Betrachtungsebenen

Als Holz wird das sekundäre Dauergewebe von Stämmen, Wurzeln und Ästen der Bäume und Sträuchern bezeichnet.¹⁰ „Der Holzkörper selbst besteht aus Millionen von Zellen unterschiedlicher Art, Größe, Form, Anzahl und Verteilung [und gleichartige Zellen, die gruppenweise als größere Verbände auftreten, werden als Gewebe bezeichnet].“¹¹ „Aufbau, Anordnung, Form und Größe der Gewebe bzw. die aus den verschiedenen Zellarten resultierenden Strukturen, [bilden das unverkennbare Holzbild einer jeden Baumart].“¹²

„Da Holz in verschiedenen Richtungen des Raumes charakteristische Unterschiede im anatomischen Bau aufweist, ist das Erscheinungsbild ein und desselben Holzes je nach Orientierung der betrachteten Schnittebene sehr unterschiedlich.“¹³

Aus diesem Grund ist es für die Beschreibung und Erkennung der Merkmale wichtig sich „auf Schnittebenen mit genau bestimmter räumlicher Lage [zu] einigen. Wir bedienen uns dreier solcher Betrachtungsebenen:“¹⁴ Querschnitt | Radialschnitt | Tangentialschnitt¹⁵

Der Querschnitt verläuft axial zur Stammachse.

Der Radialschnitt verläuft waagrecht zur Stammachse durch einen Radius der Querschnittsfläche.

Der Tangentialschnitt verläuft parallel zur Stammachse und durch eine gedachte Tangente an einem Jahrring.

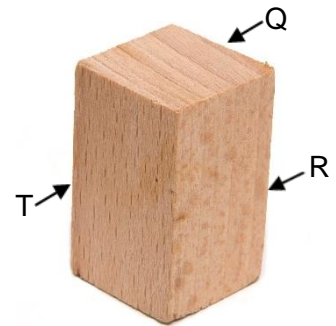


Abbildung 1: Holzkörper
Rotbuche

Jede Baumart hat einen unverkennbaren Fingerabdruck, in dem sie bestimmte Merkmale in bestimmten Verhältnissen aufweist. Die Kunst der Holzartenbestimmung liegt in der Auseinandersetzung mit jenen Bestimmungspunkten und ihrer Lokalisierung. Die Bildanalyse findet an besagten drei Betrachtungsebenen statt und offenbart somit einen allumfassenden Blick in die anatomische Struktur und Gewebearten des Holzes.

¹⁰ WAGENFÜHR 1966, S. 11.

¹¹ Vgl. GROSSER 1977, S. 3.

¹² Vgl. GROSSER 1977, S. 3.

¹³ SACHSSE 1984, S. 9.

¹⁴ Ibid.

¹⁵ Die verwendeten holzanatomischen Begriffe entsprechen weitgehend den Definitionen der Nomenklatur der International Association of Wood Anatomists (IAWA). GROSSER 1977, Vorwort VII.

Im Weiteren werden die Begriffe in Abbildungen wie folgt abgekürzt: Q = Querschnitt; T = Tangentialschnitt; R = Radialschnitt

2. Auflichtmikroskopie

Die Auflichtmikroskopie ist eine Methode der Mikroskopie, bei der das zu betrachtende Präparat „durch halbdurchlässige Spiegel oder Prismen, die sich zwischen Objektiv und Okular befinden oder mit dem Objektiv verbunden sind“¹⁶, seitlich beleuchtet wird. „Das Licht wird dabei von [dem Objekt] reflektiert“¹⁷ und somit können undurchsichtige Körper untersucht werden. Die Grundprinzipien der Auflichtmikroskopie wurden bereits im 19. Jahrhundert erforscht und angewendet.¹⁸ Seitdem hat sich die Technologie kontinuierlich weiterentwickelt und verbessert, um höhere Auflösung und bessere Bildqualitäten zu ermöglichen. Heutzutage ist die Auflichtmikroskopie eine weit verbreitete und etablierte Methode in verschiedenen wissenschaftlichen Bereichen, besonders in der Dermatologie. Ein wesentlicher Aspekt dieses Verfahrens ist die Analyse ohne zwangsläufige Entnahme einer Probe.

3. Verwendete Mikroskope

Es folgen die in dieser Arbeit verwendeten Mikroskope. Ihre Einsatzzwecke werden in dem praktischen Teil genauer erläutert.

3.1 Digitalmikroskop Emspira 3

Das Emspira 3 Digitalmikroskop von der Firma Leica Microsystems ist in der Lage zusammen mit dem PlanApo 2.0x Objektiv hochauflösende Bilder bis zu einer 144-fachen Vergrößerung¹⁹ aufzunehmen. „Es erlaubt dem Besitzer eine komfortablere Inspektion dank der Betrachtung schneller Live-Bilder (zu 60 fps) in 4K-Auflösung auf einem Monitor.“²⁰ Die Aufnahmen können als jpg- und tif-Datei abgespeichert werden.

3.2 3D-Mikroskop Keyence

Bei dem sogenannten „3D-Mikroskop“ handelt es sich um das digitale Mikroskop VHX-970F von der Firma Keyence mit dem kleinen Hochleistungszoomobjektiv VH-Z20R/VH-Z20T. Dieses Objektiv leistet eine 20- bis 200-fache Vergrößerung. Mittels D.F.D.-Verfahren (Depth Form Defocus)²¹ ist das digitale Mikroskop in der Lage hochpräzise 2D- als auch 3D-Aufnahmen zu erzeugen. Die 2D-Aufnahmen werden als jpg- oder tif-Dateien gespeichert. Durch die integrierte Tiefenschärfefunktion werden verschiedene Schärfepunkte kombiniert und somit ein Bild, das über alle Ebenen einheitlich scharf ist, erstellt. Diese Funktion erweist sich bei besonders unruhigen Oberflächen als nützliches Werkzeug.

¹⁶ BLUM, BAUER, GARBE, KREUSCH 2023.

¹⁷ MATTEINI, MOLES 1990, S. 30.

¹⁸ Vgl. STOLZ, BRAUN-FALCO, BILEK, et al 2004, S. 3.

¹⁹ Vergrößerung und Schärfentiefe gemäß ISO 18221 bei Zoom-Stellung 6,0. Vgl. EMSPIRA 2023. S. 66.

²⁰ EMSPIRA 2024.

²¹ Vgl. KEYENCE o. J.

3.3 Mikroskop Panthera C2 Binocular

Das Durchlichtmikroskop Panthera C2 Binocular von Motic ist in der Lage mit Infinity CCIS® US-Plan Achromatic-Objektiven und dem UC-Weitfeld-Okular 10x/22mm eine 40-, 100- und 400fache Vergrößerung zu erzielen²². Es ist als optisches Instrument für die Untersuchung von transparenten Proben konzipiert. Durch die direkte HDMI-Verbindung zu einem Bildschirm, oder Video-Projektor können Live-Bilder betrachtet werden. Gemachte Aufnahmen werden als jpg-Dateien gespeichert und können auf einen USB-Stick gesichert werden.

3.4 Lichtmikroskop Axioscop 2

Das Lichtmikroskop Axioscop 2 von dem Unternehmen ZEISS findet hauptsächlich seine Anwendung in der Materialforschung und Metallografie.²³ Die visuelle Gesamtvergrößerung beträgt dank der Fluor Objektive und dem PL 10x/23 Okular 50-, 100- und 200fach. Neben der Halogenlampe verwendet das Axioscop die Fluoreszenzlampe HBO 100, um Fluoreszenzfarbstoffe anzuregen und zu visualisieren. Die Daten können als jpg- oder tif-Datei gespeichert werden und darüber hinaus verfügt es über die Kommandozentrale Zen core für automatisierte Imaging- und Analysefunktionen.²⁴

4. Datenbank

Seit Beginn wissenschaftlicher Forschungen wurden Lehratlanten zur Sammlung von Informationen konzipiert und didaktisch ausgerichtet.²⁵ Diese Inhalte werden meist in Buchform vermittelt. Ein Anliegen, das dem heutigen Informationsfluss geschuldet ist, ist die digitalisierte Darlegung jener Atlanten, um eine zeitgemäße, wie auch produktive Arbeit mit den Inhalten zu schaffen.

Neben der Einsicht von Informationen der einzelnen Hölzer, die sowohl die Durch- als auch Auflichtaufnahmen beinhalten, soll in der Datenbank die Funktion des Ausschlussverfahrens zum Einsatz kommen. Dabei werden alle in der Datenbank gesammelten Hölzer durch Auswählen von Merkmalen nach und nach rausgefiltert, bis das zu bestimmende Holz übrigbleibt. Dieses Verfahren vereinfacht die Identifizierung und unterstützt weniger erfahrene, oder nicht fachkundige Personen enorm. Zudem wäre es wünschenswert eine Möglichkeit zu entwickeln, bei der ein falsches Filtern minimiert wird. Das bedeutet, dass falsch eingegebene Merkmale nicht dazu führen, dass das zu bestimmende Holz automatisch ausgeschlossen wird. Eine prozentuale Übereinstimmung wäre eine mögliche Lösung und soll in der Datenbank ausprobiert werden.

²²Vgl. MOTIC o. J.

²³ ZEISS o.J.

²⁴ ZEISS 1998, S. 1 ff.

²⁵ Vgl. SCHWEINGRUBER 1978, S. 7.

V. PRAKTISCHER TEIL

1. Hölzer

1.1 Hölzer Auswahl

Die Hölzerauswahl erfolgte zusammen mit dem Greifenberger Institut. Dabei wurden alle wichtigen Aspekte, wie häufige Verbauung in den Konstruktionskörpern, Furnierarbeiten (darunter laufen auch Einlegearbeiten) und allgemein in unseren Breitengraden historisch verarbeitete Hölzer, berücksichtigt. Um einen überschaubaren und für diese Facharbeit angemessenen Arbeitsaufwand zu schaffen, wurden 23 Holzarten ausgewählt. Bei diesen Holzarten wurde sich darauf geeinigt, die Gängigsten in die Datenbank aufzunehmen. Dabei wurde im Beispiel der Kiefer lediglich die gemeine Kiefer in das Repertoire aufgenommen und auf die Zirbelkiefer verzichtet, die sowohl derselben Gattung als auch Familie angehört. An dieser Stelle sollte jedoch Erwähnung finden, dass diese Ansammlung der Hölzer nur einen Bruchteil der Vielfalt und Menge an existierenden Bäumen darstellen. Sie reicht nicht aus, um in voller Gänze eine Holzanalyse durchzuführen zu können und bedarf einer stetigen Erweiterung.

Die Unterteilung erfolgt in Laub-, Nadel- und Tropenhölzer.

Laubholz

Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*)

Apfelbaum (*Malus sylvestris*)

Weißbirke (*Betula pendula*)

Birnbaum (*Pyrus communis*)

Rotbuche (*Fagus sylvatica*)

Buchsbaum (*Buxus sempervirens*)

Weißeiche (*Quercus robur*)

Schwarzerle (*Alnus glutinosa*)

Kirschbaum (*Prunus avium*)

Linde (*Tilia* spp.)

Nussbaum (*Juglans regia*)

Pappel (*Populus tremula*)

Weide (*Salix alba*)

Zwetschge (*Prunus domestica*)

Nadelholz

Eibe (*Taxus baccata*)

Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*)

Gemeine Fichte (*Picea abies*)

Gemeine Kiefer (*Pinus sylvestris*)

Lärche (*Larix decidua*)

Tanne (*Abies alba*)

Tropenholz

Ebenholz (*Diospyros crassiflora*)

Amerikanischer Mahagoni (*Swietenia macrophylla*)

Wenge (*Millettia laurentii*)

Ein Großteil der Hölzer stammt aus dem Fundus des Goering Institutes. Durch das Greifenberger Institut entstand der Kontakt zu dem Geigenbauer Paul Lijzen. Er stellte die fehlenden Hölzer zur Verfügung.

Folgende Hölzer stammen von Herrn Lijzen: Ebenholz, Douglasie, Lärche, Pappel, Schwarzerle, Weide.

1.2 Präparation

1.2.1 Auflicht-Präparate

Wie in „III. 1.2 Betrachtungsebenen“ bereits ausgiebig beschrieben, sind drei Schnittrichtungen nötig, um einen allumfassenden Einblick in die anatomische Beschaffenheit der einzelnen Holzarten zu bekommen. Dementsprechend mussten die Holzkörper diese Schnittrichtungen aufweisen. Durch genaue Betrachtung und immer wieder prüfenden Blick durch 5facher Luppen-Vergrößerung, konnten alle Körper, mittels scharfen Stemmeisens und gegebenenfalls Skalpell, geschnitten werden.



Abbildung 2: Auflicht-Präparate

1.2.2 Durchlicht-Präparate

Auch für die Durchlichtmikroskopie sind drei Einsichtsflächen von Nöten. Zur Herstellung von präzisen und hauchdünnen Schnitten wurde ein Schlittenmikrotom* verwendet, das eine Schnittdicke zwischen 0,5 und 50 µm erzielen kann.²⁶ Ausgetrocknetes Holz musste vorbehandelt werden, indem es in reinem Wasser gekocht wurde. Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Rohdichte²⁷ des zu behandelnden Holzes. Diese gibt einen ungefähren Richtwert der Dauer des Kochens an.²⁸ Nachdem alle notwendigen Schnittrichtungen mit dem Mikrotom vorgenommen wurden, wurden diesen, durch prozentual aufsteigendes Ethanol, Wasser entzogen (50%/ 75% / absoluter Alkohol%).²⁹ Anschließend wurden die Schnitte auf einem Objektträger platziert, mit einem Eindeckmittel³⁰ überzogen und mit einem Deckglas versiegelt. Nach einer Aushärtezeit in dem Memmert Trockenschrank UN110 bei einer konstanten Wärme von 50 C°, sind die Präparate nach einer Woche für den langlebigen Gebrauch fertiggestellt.



Abbildung 3: Objekträgerkasten mit Präparationsmaterial

²⁶ Vgl. WAGENFÜHR 1966, S. 149 fff.

²⁷ Vgl. HOLZHANDEL 2024.

²⁸ Trockenes Weichholz ein bis zwei Stunden, trockenes Hartholz bis zu mehreren Tagen oder Wochen. Vgl. WAGENFÜHR 1966, S. 157.

²⁹ Vgl. WAGENFÜHR 1966, S. 160 ff.

³⁰ In diesem Fall wurde Euprural Art.-Nr. 7356.1 Roth verwendet.

2. Aufnahmen

2.1 Aufnahme der durchlichtmikroskopischen Bilder

Die Aufnahmen erfolgten an dem Mikroskop Panthera C2 von Motic im Goering Institut München. Bei der Auswahl der Bildbereiche musste darauf geachtet werden, dass sie möglichst die zur Holzidentifikation nötigen Merkmale aufweisen und in wenigen Aufnahmen repräsentativ sind. Die Vergrößerung wurde je nach Schnittrichtung und Aussagekraft gewählt und folgt demnach keiner strengen Regelung.

Die Aufnahmen der Querschnitte sollten im besten Fall eine gesamte Wachstumszone beinhalten, um einen schroffen Übergang bei den Nadelhölzern, oder die Porigkeit der Laub- und Tropenhölzern identifizieren zu können. Die tangentielle Betrachtungsebene ist besonders für die Holzstrahlbreite wichtig, wie auch der Typ in Hinsicht auf Homogenität und Heterogenität. Bei den Nadelhölzern ist das Aussehen der Kreuzungsfeldtüpfel³¹ ein wichtiges Bestimmungskriterium. Der Typ der Gefäßdurchbrechungen, wie auch spiralförmige Verdickungen der Wände können in beiden Schnittebenen gesichtet werden. Neben diesen allgemeinen Merkmalen wurden, wenn nötig, von speziellen Identifizierungspunkten eigene Aufnahmen gemacht.

Als Beispiel wurden die Typen der Gefäßdurchbrechungen der **Rotbuche (*Fagus sylvatica*)** gewählt. Das Holz dieser Baumart weist zum einen einfache als auch leiterförmige Durchbrechungen auf.³² Das Festhalten dieses Bestimmungskriteriums sollte möglichst in einem Bild stattfinden. Nach längerer Suche fand sich eine repräsentative Stelle und wurde separat zu den Aufnahmen der Rotbuche hinzugefügt (siehe Abbildung 4).

Bei der **Pappel (*Populus tremula*)** standen besonders die Kantenzellen* im Vordergrund, die gegen die Gefäße auffallend grob getüpfelt sind und somit schnell als fälschlich heterogene Holzstrahlen gehalten werden können.³³ Es ist ein wesentliches Bestimmungsmerkmal und der Ausschnitt der radialen Betrachtungsebene orientierte sich an der klaren Wiedergabe dieses Punktes (siehe Abbildung 5).

³¹ Aufgrund der Verwendung mehrerer Fachbegriffe wurde ein Glossar erstellt. Die betroffenen Begriffe wurden mit einem Stern (*) markiert.

³²Vgl. GROSSER, 1977, S.127.

³³Vgl. GROSSER, 1977, S.172.

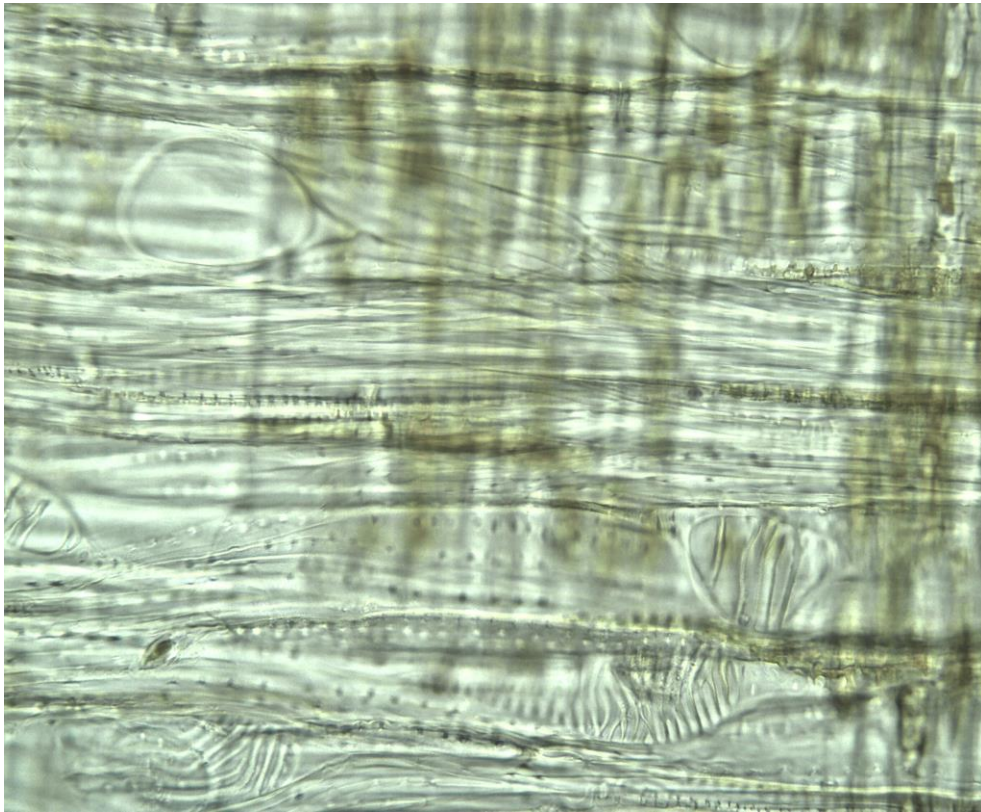


Abbildung 4: Pappel, R., 400x

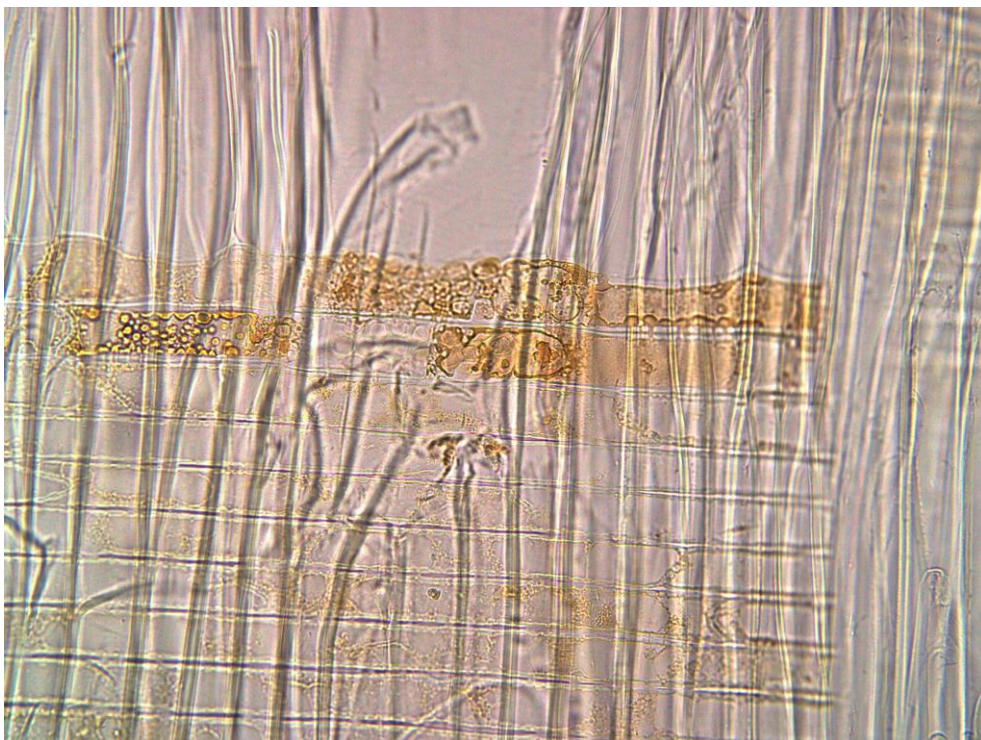


Abbildung 5: Buche, T., 400x

2.2 Aufnahme der auflichtmikroskopischen Bilder

Die Aufnahmen erfolgten an dem Digitalmikroskop Emspira 3 im Greifenberger Institut. Durch die handliche Größe und Beweglichkeit war es möglich flexibel und ohne erheblichen Aufwand einen angenehmen Arbeitsplatz zu schaffen.

In dem Kapitel „IV. 3.1 Aufnahmen der durchlichtmikroskopischen Bilder“ wurde bereits erläutert, auf welche Kriterien zu achten ist. Die Herangehensweise unterscheidet sich bei den Aufnahmen unter dem Auflicht nicht.

Bei der Betrachtung fiel sofort der starke Unterschied zu den Durchlichtfotografien auf. Der Bezug zu dem Material Holz, ist im Auflicht deutlich erkennbar und die Fotogenität der einzelnen Hölzer unterscheiden sich immens. Die Farbigkeit, bei unbehandeltem Holz, kann bereits als erster Anhaltspunkt fungieren. Markante Holzbilder, wie die der Wenge und dem Buchsbaum sind bereits in der Makroskopie klar voneinander unterscheidbar.

Die meisten Merkmale sind klar erkennbar. Zum Beispiel kann der Typ der Durchbrechungen der Gefäße eindeutig identifiziert werden (siehe Abbildung 6 und 7).

Teilweise können Merkmale von vereinzelt Arten nur spärlich ausgemacht werden und gestalten die Aufnahme der Bilder als fast unmöglich. Dementsprechend sind die erkennbaren Merkmale ausschlaggebend für die Anzahl der Aufnahmen. Es wurde entschieden, Einzelaufnahmen von essenziellen Bestimmungskriterien zu machen und Wichtigkeiten hervorzuheben.

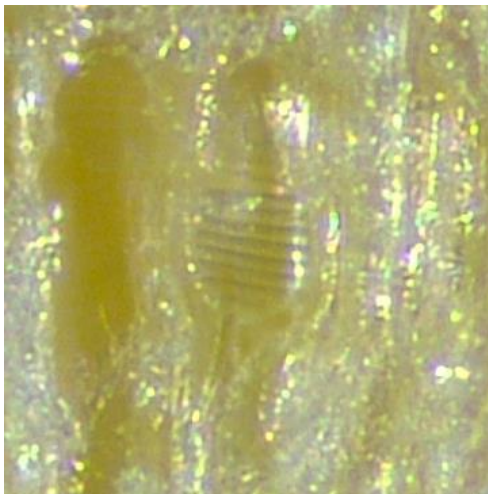


Abbildung 4: Buchsbaum, R., 154x,
leiterförmige Durchbrechung

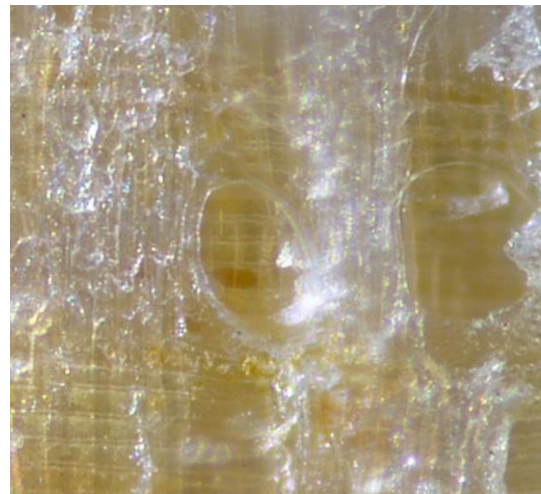


Abbildung 5: Weide, R., 120x,
einfache Durchbrechung

Es ergaben sich kaum Schwierigkeiten bei den Aufnahmen und besonders die tangential Schnittenebene erzielte in beinahe jedem Holz gute Ergebnisse. Enttäuschenderweise gestaltete sich allein die Lokalisierung der Längsparenchymzellen* im Querschnitt problematisch. Bis auf Eiche, Ebenholz, Mahagoni und Wenge konnten keine zufriedenstellenden Aufnahmen der Zellen gemacht werden, geschweige denn eine Aussage über ihre Häufung und

bevorzugte Positionierung getroffen werden. Sie formulieren nicht unerhebliche Unterscheidungen zwischen Holzarten, wie zwischen Ahorn und Linde. Eine strenge Trennung durch Merkmale, wie Vielfachporen, oder die Holzstrahlbreite, kann die Holzartenbestimmung mittels Auflicht, trotz der fehlenden Informationen über die Längsparenchymzellen gemacht werden. Ein weiteres Merkmal, das durch das Emspira 3 nicht sichtbar gemacht werden konnte, sind die Kreuzungsfeldtüpfel der Nadelhölzer (siehe Abbildung 8). Nach mehreren Fehlversuchen der Visualisierung der halbbehöfteten Tüpfel* wurde entschieden ein weiteres Mikroskop hinzuzufügen, nämlich das Lichtmikroskop Axioscop 2. Mit einer 200fachen Vergrößerung konnten nicht nur die Tüpfel abgebildet werden, sondern auch die spiraligen Verdickungsleisten der Douglasie und Eibe (siehe Abbildung 9).³⁴ Es ist wichtig zu erwähnen, dass dieses Mikroskop die Farbigkeit stark ins grün-bläuliche gehen lässt und in Gimp bestmöglich angepasst wurde, ohne die Aufnahme gänzlich zu verändern.

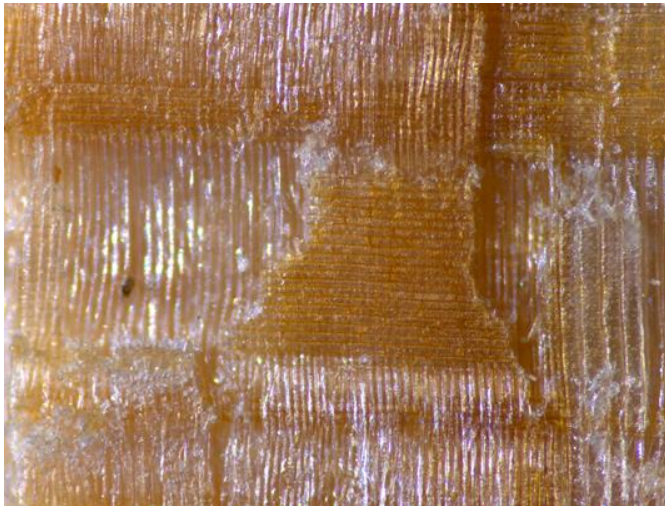


Abbildung 6: Douglasie, R., 144x

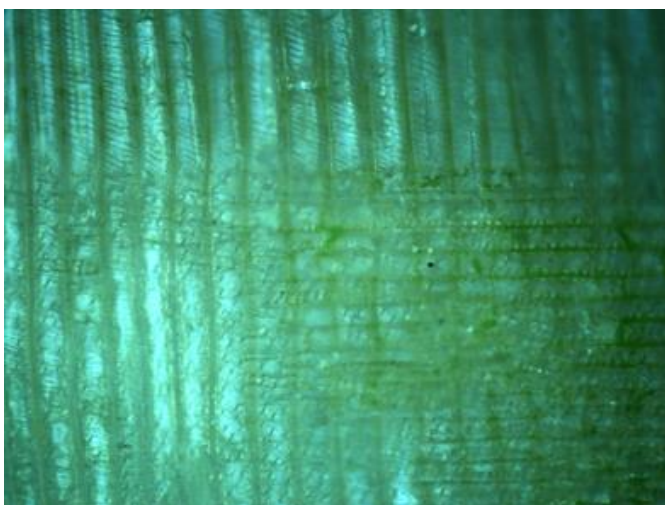


Abbildung 7: Douglasie, R., 200x, piceoide Tüpfel

³⁴ Vgl. GROSSER, 1977, S. 17.

Bei der Fotografie der Auflichtbilder fiel auf, dass es sich bei der makroskopisch fälschlich gedachten Tanne tatsächlich um eine Kiefer handelt. Besonders klar durch die sichtbaren Fenstertüpfel* statt der taxodioide Tüpfel*.³⁵ Nach diesem Irrtum wurde eine Tanne nachträglich im Goering Institut unter dem 3D-Mikroskop aufgenommen (siehe Abbildung 10). In diesem Zuge wurden zusätzlich wenige Bilder verschiedener Hölzer (siehe Abbildung 11), mit deren Aufnahmen sich keine Zufriedenheit bot, noch einmal fotografiert.

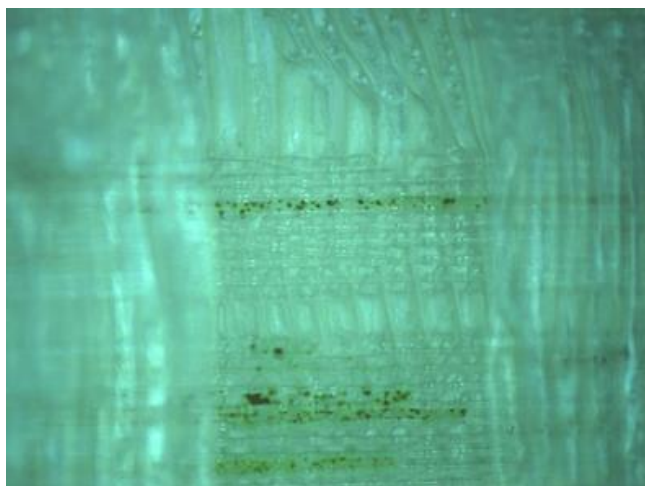


Abbildung 10: Tanne, R., 200x, taxodioide Tüpfel

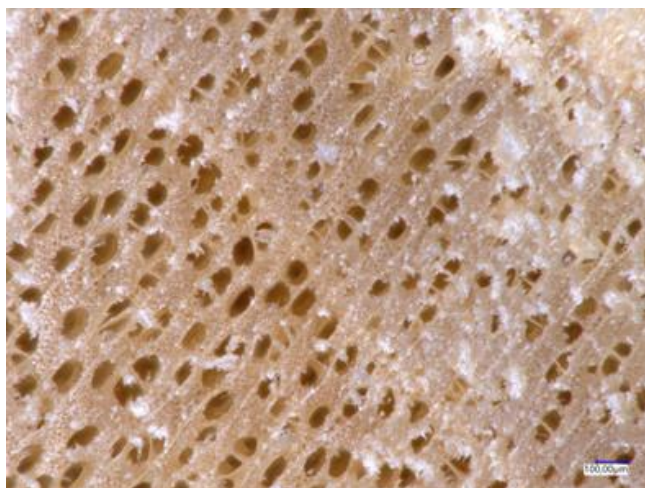


Abbildung 8: Pappel, Q., 150x

³⁵ Vgl. GROSSER, 1977, S. 21 ff.

3. Erstellung der Datenbank

Die Datenbank ist eine standardisierte SQL-Datenbank*, die dendrologische* Merkmale, wie auch die Auflicht- und Durchlichtbilder enthält. Innerhalb der Datenbank sind die Datensätze so verknüpft, dass bestimmte Merkmale sofort einer bestimmten Art zugeordnet werden können. Für eine benutzerfreundliche Aufbereitung wurde eine Web-Applikation entwickelt, welche es Nutzern ermöglicht, die in der Datenbank angelegten Datensätze zu filtern und zu durchsuchen. Auf diese Weise wird bei der Bestimmung der Merkmale an Zeit gespart, denn eine manuelle Abgleichung mit Hilfe eines Buches ist nicht mehr notwendig. Ein wünschenswertes Ziel, das bereits in Punkt „III. 5. Datenbank“ Erwähnung fand und einwandfrei umgesetzt wurde.

Als Gedankenbeispiel könnte ein Nutzer die Merkmale Halbringporigkeit, Homogenität des Holzstrahls und Kreuzungsfeldtüpfel auswählen. Es würde zu einer 66,6%ige Übereinstimmung mit Nussbaum, Eibe und Tanne kommen. Ahorn, Apfel etc. liegen bereits nur noch bei 33,3%iger Übereinstimmung. Kreuzungsfeldtüpfel sind charakteristisch für Nadelhölzer und dienen als wichtige Spezifizierung der Arten. Eine Porigkeit existiert ausschließlich bei den Laub- und Tropenhölzern. Somit würden sich diese Merkmale widersprechen. Mit der intelligenten prozentualen Übereinstimmung kann der Nutzer sein Holz bestimmen, ohne die Befürchtung haben zu müssen, dass das zu identifizierende Holz unbeabsichtigt herausgefiltert wird. Selbstverständlich geht die Präzision der Bestimmung mit der genauen und sicheren Auswahl der gesehenen Merkmale, wie auch dem Wissenstand des Nutzers einher und die Datenbank dient lediglich als unterstützendes Instrument. Neben der Filterung ist es möglich, die einzelnen Holzarten durch Anklicken genauer zu betrachten. In dem Fenster können sowohl die Merkmale, die dem Holz zu geschrieben werden, die mikrophotographischen Auflicht- und Durchlichtbilder, als auch die Familien- und Gattungszugehörigkeit eingesehen werden.

In Zukunft will die Autorin, die von der Passion der Datenerweiterung und Umsetzung von innovativen Ideen gefangen ist, eine KI unterstützte Bildanalyse ermöglichen. Nutzer sollen mikrofotografische Bilder hochladen können und diese mit den in der Datenbank hinterlegten Aufnahmen abgeglichen. Somit soll eine prozentuale Trefferquote es ermöglichen, sein Holz möglichst exakt bestimmt zu bekommen.

Die Erstellung und technische Entwicklung entstanden in enger Zusammenarbeit mit dem Software-Ingenieur Ivan Jovanovic.

[LINK: https://www.logdeser-baumdatenbank.de/](https://www.logdeser-baumdatenbank.de/)

Filteroptionen
Suche deinen Baum nach Merkmalen.

Merkmale

ringporig

halbringporig

zerstreutporig

einzelgefäße

halbringporig
rein parenchym (homogen)
kreuzungsfeldtüpfel

Name	Spez. Name	Lat. Name	Familie	Gattung	Art	Typ	Holzstrahlbreite	Übereinstimmung
eibe	gemeine eibe	taxus baccata	taxaceae	taxus	baccata	nadelholz	1	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, black, gray);"></div>
nussbaum	echte walnuss	juglans regia	juglandaceae	juglans	regia	laubholz	5	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, black, gray);"></div>
tanne	weißtanne	abies alba	pinaceae	abies	alba	nadelholz	1	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, black, gray);"></div>
ahorn	berghorn	acer pseudoplatanus	aceraceae	acer	pseudoplatanus	laubholz	8	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, black, gray);"></div>
apfel	apfel	malus sylvestris	rosaceae	malus	sylvestris	laubholz	3	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, black, gray);"></div>
birke	weißbirke	betula pendula	betulaceae	betula	pendula	laubholz	4	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, black, gray);"></div>
birne	birne	pyrus communis	rosaceae	pyrus	communis	laubholz	3	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, black, gray);"></div>
buche	rotbuche	fagus sylvatica	fagaceae	fagus	sylvatica	laubholz	25	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, black, gray);"></div>
douglasie	douglasie	pseudotsuga menziesii	pinaceae	pseudotsuga	menziesii	nadelholz	1	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, black, gray);"></div>
eiche	weißeiche	quercus robur	fagaceae	quercus	robur	laubholz	25	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, black, gray);"></div>
erle	schwarzerle	alnus glutinosa	betulaceae	alnus	glutinosa	laubholz	3	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, black, gray);"></div>
fichte	gemeine fichte	pinea abies	pinaceae	pinea	abies	nadelholz	1	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, black, gray);"></div>
kiefer	gemeine kiefer	pinus sylvestris	pinaceae	pinus	sylvestris	nadelholz	1	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, black, gray);"></div>
kirsche	vogelkirsche	prunus avium	rosaceae	prunus	avium	laubholz	5	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, black, gray);"></div>
lärche	europäische lärche	larix decidua	pinaceae	larix	decidua	nadelholz	1	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, black, gray);"></div>
linde	sommerlinde	tilia platyphyllos	tiliaceae	tilia	platyphyllos	laubholz	6	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, black, gray);"></div>
mahagoni	amerikanischer mahagoni	swietenia macrophylla	miliaceae	swietenia	macrophylla	tropenholz	5	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, black, gray);"></div>
pappel	zitterpappel	populus tremula	salicaceae	populus	tremula	laubholz	1	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, black, gray);"></div>

Abbildung 9: Screenshot aus der Datenbank, Filterfunktion, stand 09.03.2024

weißtanne

abies alba

Name	Spez. Name	Lat. Name	Familie	Gattung	Art	Typ	Holzstrahlbreite
tanne	weißtanne	abies alba	pinaceae	abies	alba	nadelholz	1

rein parenchym (homogen)
 kreuzungsfeldtüpfel
 hoftüpfel
 nicht rhombisch (kristalle)
 taxodioid (Kreuzungsfeldtüpfel)

Abbildung 10: Screenshot aus der Datenbank, Weißtanne, stand 09.03.2024

echte walnuss

juglans regia

Name	Spez. Name	Lat. Name	Familie	Gattung	Art	Typ	Holzstrahlbreite
nussbaum	echte walnuss	juglans regia	juglandaceae	juglans	regia	laubholz	5

halbringporig
 durchbrechungen (einfach)
 thyllen
 fasertracheiden
 rein parenchym (homogen)
 mit quertracheiden (heterogen)
 marginal (längsparenchym)
 apotracheal (längsparenchym)
 diffus gehäuft (längsparenchym)
 spärlich (längsparenchym)
 gebändert (längsparenchym)
 kernfärbung

Abbildung 11: Screenshot aus der Datenbank, Echte Walnuss, stand 09.03.2024

4. Testung auf Anwendbarkeit

4.1 Objekt

Um zu prüfen, ob die Methode der Auflichtmikroskopie als Holzidentifizierung praktische Anwendbarkeit finden kann, wurde ein Objekt aus dem Fundus des Goering Institutes gewählt. Dabei handelt es sich um eine Walzenspieluhr, die aus der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts stammt und sich in Familienbesitz in Baden-Baden befindet.



Abbildung 12: Walzenspieluhr, Schrägansicht



Abbildung 13: Walzenspieluhr, Schrägansicht mit offenem Deckel

4.2 Durchführung

Die Oberflächen des Korpus sind durchweg bearbeitet worden und zeigen Spuren von Beize, Wachs und Lack. Um eine Holzbestimmung durchführen zu können, müssen zunächst geeignete Stellen lokalisiert werden, die im besten Fall alle drei Schnittrichtungen preisgeben. Praktischerweise existiert in dem Korpus ein Trennbrett zwischen Walze und Drehelement, das herausnehmbar ist und an dem bereits makroskopisch alle drei Einsichtsebenen ausfindig gemacht werden konnten. Dieses Bauteil wurde unter dem 3D-Mikroskop von Keyence in dem Goering Institut betrachtet.



Abbildung 14: Walzenspieluhr, Trennbrett

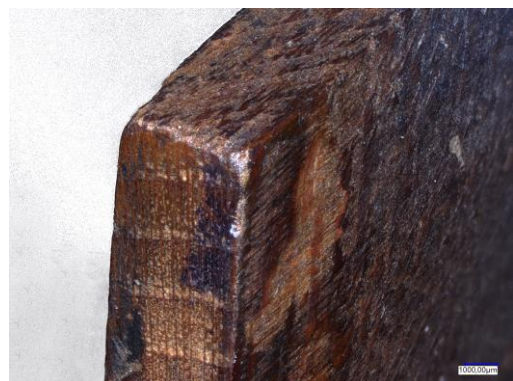


Abbildung 15: Walzenspieluhr, Trennbrett-Ecke

4.2.1 Querschnitt

Der Querschnitt offenbart die Halbring-Porigkeit des Holzes und schließt nicht nur die Nadelhölzer aus, sondern grenzt die Anzahl der Möglichkeiten immens ein. Ein nicht unerhebliches Merkmal zur Holzbestimmung ist das Längsparenchym. Wie in „IV. 3.2 Aufnahme der auflichtmikroskopischen Bilder“ bereits erwähnt, ist das Erkennen und Bestimmen ihrer präferierten Positionierung zu den Gefäßen kaum ersichtlich und kann auch hier nicht benannt werden.

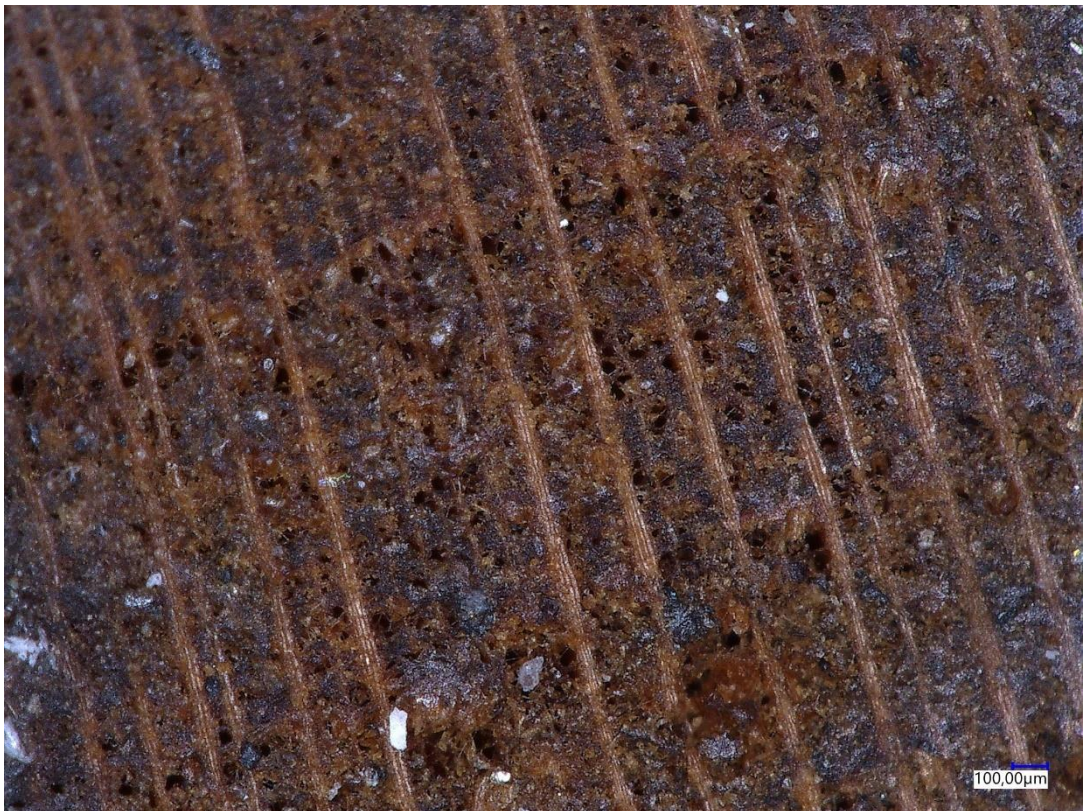


Abbildung 16: Walzenspieluhr, Q., 50x

4.2.2 Tangentialschnitt

Als zweites wurde der Tangentialschnitt begutachtet.

Die Holzstrahlen präsentieren sich deutlich und in einer Vielzahl, dass es eine Leichtigkeit ist die durchschnittliche Zellenanzahl der Holzstrahlbreite zu erfassen. Bei diesem Holz sind hauptsächlich bis zu fünf Zellen, vereinzelt auch einreihig, in der Strahlenbreite zu erkennen. An den Enden der Holzstrahlen befinden sich aufrechte oder quadratische Kantenzellen und somit kann das Holzgewebe als heterogen bezeichnet werden.



Abbildung 17: Walzenspieluhr, T., 200x

4.2.3 Radialschnitt

Der Radialschnitt bestätigt die Heterogenität und zeigt zwei wesentliche Merkmale: Zum einen befinden sich zarte, dennoch klar sichtbare spiralige Verdickungen an den Innenwänden der Gefäße, zum anderen existieren rotbraune Inhaltsstoffe. Zwei weiterer Identifizierungspunkte stellen den Typus der Durchbrechungen der Gefäße dar und die deutlich behöften Fasern, sogenannte Fasertracheiden*. Unter dem Mikroskop konnten einfache Durchbrechungen und Fasertracheiden ausgemacht werden. Jedoch konnten diese in einem Bild kaum aussagekräftig visualisiert werden.

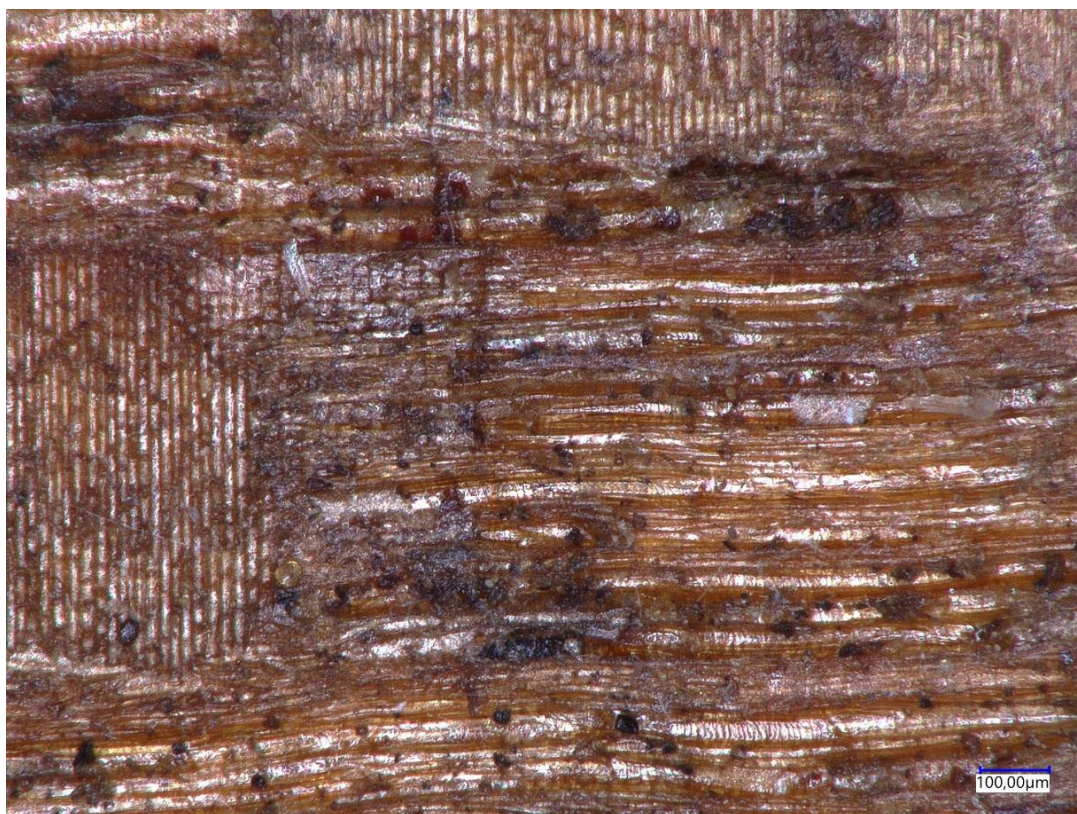


Abbildung 18: Walzenspieluhr, R., 200x

4.2.4 Vergleich

Alle sichtbaren Identifizierungsmerkmale wurden in die Filterfunktion eingegeben und ergaben eine 100%ige Übereinstimmung mit den Merkmalen des **Kirschbaumes (*Prunus avium*)** und der **Zwetschge (*Prunus domestica*)**.

Sie gehören sowohl der gleichen Familie als auch Gattung an und weisen beinahe dieselben Merkmale auf. Eine Unterscheidung kann anhand der Holzstrahlbreite festgemacht werden. Die Kirsche zählt bis zu fünf und die Zwetschge bis zu sieben Zellen. In dem Fall der Walzenspieluhr trifft ersteres zu. Darauf basierend wurden die Aufnahmen der Walzenspieluhr denen der Kirsche aus der Datenbank gegenübergestellt.

Name	Spez. Name	Lat. Name	Familie	Gattung	Art	Typ	Holzstrahlbreite	Übereinstimmung
kirsche	vogelkirsche	prunus avium	rosaceae	prunus	avium	laubholz	5	██████████
zwetschge	pflaume	prunus domestica	rosaceae	prunus	domestica	laubholz	7	██████████
apfel	apfel	malus sylvestris	rosaceae	malus	sylvestris	laubholz	3	██████

Abbildung 19: Screenshot, Filterfunktion, Merkmale der Walzenspieluhr

Auflichtaufnahme
Korpus Walzenspieluhr

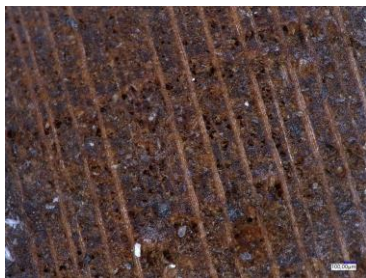


Abbildung 20: Q. 50x

Auflichtaufnahme
Kirschbaum, *Prunus avium*



Abbildung 21: Q. 30x

Durchlichtaufnahme
Kirschbaum, *Prunus avium*



Abbildung 22: Q. 40x



Abbildung 23: T. 200x



Abbildung 24: T. 96x



Abbildung 25: T. 100x

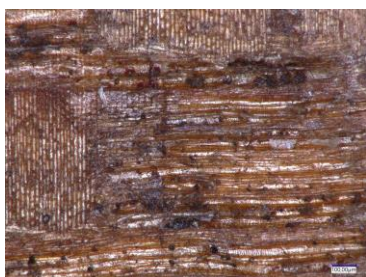


Abbildung 26: R. 200x



Abbildung 27: R. 96x



Abbildung 28: R. 100x

4.3 Ergebnis

Das Konstruktionsholz der Walzenspieluhr konnte durch Auflichtmikroskopie als **Kirschbaum (*Prunus avium*)** identifiziert werden. Die Merkmale, die anhand der Aufnahmen und Betrachtung unter dem 3D-Mikroskop von Keyence ausfindig gemacht worden sind, reichen aus, um eine Identifizierung für den geübten Fachmann zu ermöglichen. Um dieses Ergebnis zu bestätigen, wurden zusätzlich Proben an den Stellen, an denen auch die Auflichtanalyse stattgefunden hat, genommen und im Durchlicht betrachtet. Die sichtbaren Merkmale beider Beobachtungen wurden in der untenstehenden Tabelle eingetragen und denen der Kirsche gegenübergestellt.

	Halbringporig	Vielfachporen	In Nestern	Durchbrechungen einfach	Spiralige Verdickungen	Inhaltsstoffe	Deutlich hofgetüpfelt	Holzstrahlbreite	Heterogen	Diffus	Kristalle rhombisch	Kristalle nicht rhombisch	Mit Markflecken
Kirschbaum	X	(X)	(X)	X	X	X	X	Bis 5	X	(X)	X	X	X
Auflicht	X			X	X	X	X	Bis 5	X				
Durchlicht	X	X		X	X	X	X	Bis 5	X	(X)		X	

X = ja; (X) = nicht immer deutlich³⁶

Es kann abgelesen werden, dass alle im Auflicht gesehene Merkmale ebenfalls in der Probe erkannt wurden und über diese hinausgehen. Die Anordnung der Längsparenchymzellen konnte nur durch wenige sichtbare Zellen bestimmt werden, was jedoch für die Kirsche sprechen würde, da diese ebenfalls im Durchschnitt wenige aufweist. Zudem konnten Vielfachporen und schwach erkennbare nicht rhombische Kristalle* ausfindig gemacht werden.

Diese Merkmale konnten in der Auflichtmikroskopie nicht entdeckt werden, jedoch waren alle wichtigen Identifizierungspunkte, die durch das Ausschlussverfahren eine Holzbestimmung möglich machen, vorhanden. Somit kann in diesem Fall behauptet werden, dass die Methode der Auflichtmikroskopie in Kombination mit den Vergleichsbildern ausreicht, um eine Holzbestimmung durchzuführen.

³⁶ Die Gestaltung und der Informationsgehalt, in Bezug auf die Kirsche, orientieren sich an der Tabelle des Buches GROSSER 1977, S. 54.

Wichtig zu erwähnen ist, dass in beiden Methoden drei Merkmale (Nester, Kristalle rhombisch, Markflecken) nicht auffindig gemacht werden konnten. Dies ist keine Seltenheit und ist den Gegebenheiten geschuldet. Die Flächen sind begrenzt und selbstverständlich beinhalten die Einsichtsflächen nicht immer alle Merkmale. In der Literatur und Forschung der Holzanatomie werden öfter Merkmale als *unausgeprägt*, *nicht immer deutlich* oder *als kann mitunter fehlen* beschrieben und zeugen von Uneindeutigkeit, die sich in den begrenzten Einsichtsflächen widerspiegeln.³⁷

Zusätzlich wurden die Einlegearbeiten auf dem Deckel der Walzenspieluhr unter dem 3D-Mikroskop betrachtet. Die Oberfläche weist einen Überzug auf, bei dem es sich nach dem Erscheinungsbild und der Haptik wahrscheinlich um eine Lackschicht, mit einem zusätzlichen Wachsüberzug handelt. Es war nicht möglich, einen Blick in die Holzstruktur zu erlangen und somit konnte keine oberflächliche Analyse erfolgen. Eine punktuelle Abnahme wäre zuerst erforderlich gewesen.



Abbildung 29: Walzenspieluhr, Marketerie, 50x

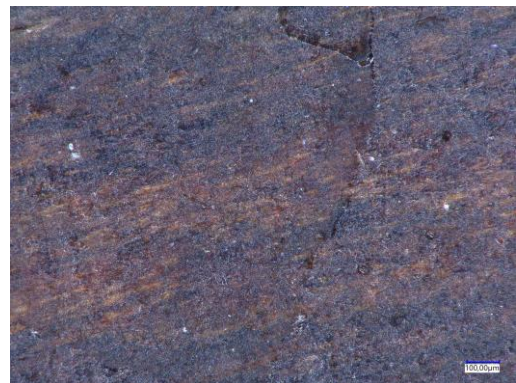


Abbildung 30: Marketerie, 150x,
dunkel-braunes Holz



Abbildung 31: Marketerie, 150x,
braun-beiges Holz



Abbildung 32: Marketerie, 150x,
orange-braunes Holz

³⁷ GROSSER 1977, S.56.

4.4 Anwendung bei transparenten Oberflächen

Nach der offensichtlichen, dennoch ernüchternden Erkenntnis, dass opake* Oberflächen eine Holzartenbestimmung nicht zulassen, war das Interesse auf Hinblick transparenter Überzüge geweckt. Aus diesem Grund wurde die Holzidentifizierung an einem furnierten Brett mit Schellackpolitur durchgeführt. Auch bei dieser Untersuchung wurde das 3D-Mikroskop verwendet. Es konnten ein Radial- und Tangentialschnitt in der Lackierung ausfindig gemacht werden.

4.4.1 Querschnitt

Der Querschnitt wurde lediglich fein geschliffen und weist keinen Oberflächenüberzug auf. Bei dem Querschnitt konnte eine Abnahme der Gefäßhäufung innerhalb einer Wachstumszone erkannt und in jenen Gefäßen Thyllen identifiziert werden. Darüberhinaus sind Längsparenchymzellen in Strängen erahnbar. Nachträglich wurde die axiale Schnittebene mit Wasser benetzt, um die Parenchymzellen deutlicher zu machen.



Abbildung 33: Poliertes Brett, Q., 50x

4.4.2 Tangentialschnitt

Der tangentielle Schnitt zeigt deutlich, dass ein transparenter Überzug die Holzstrahlen nicht unkenntlich macht und die Zellen in der Breite gut lesbar sind. Ihre Anzahl beträgt bis zu fünf Zellen und die Kanten scheinen homogen zu sein.

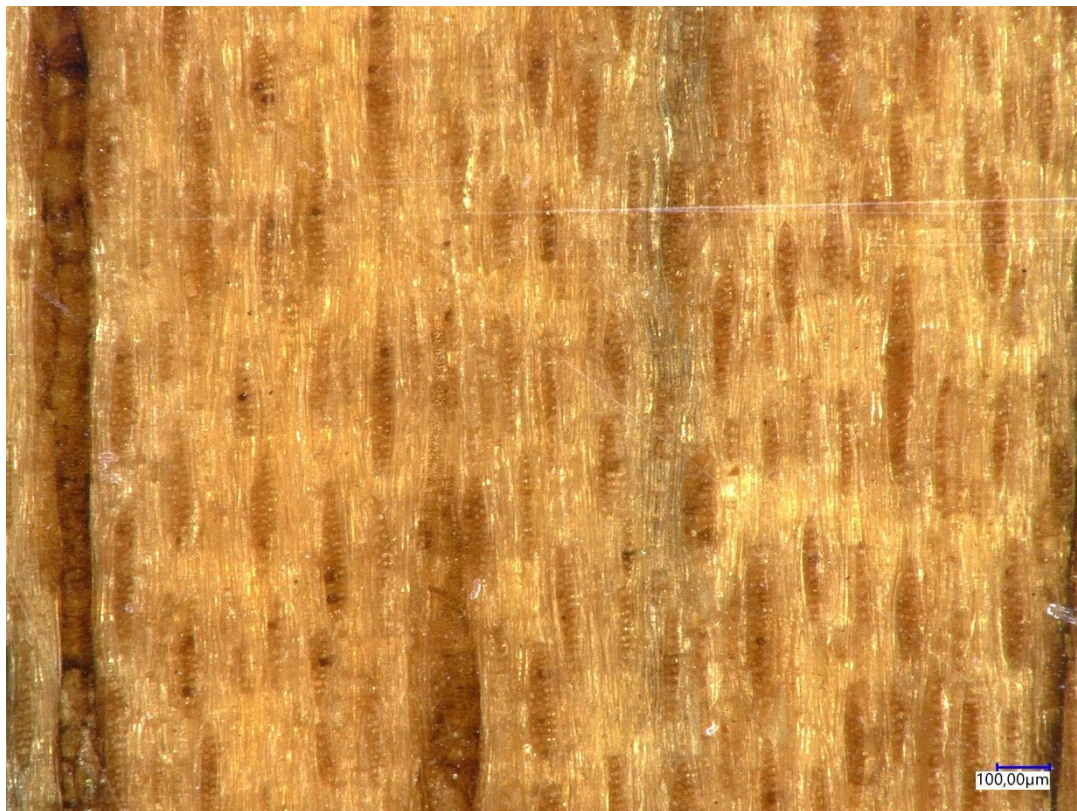


Abbildung 34: Poliertes Brett, T., 150x

4.4.3 Radialschnitt

Der Radialschnitt gibt den besten Einblick in die Welt der Holzarchitektur. Die in dem tangentialen Schnitt gemachte Vermutung der Homogenität, kann überwiegend bestätigt werden. So wurden vereinzelt heterogene Kantenzellen gesehen, allerdings in einer Schwäche, die sie als kaum erwähnenswert gestalten. Die einfachen Durchbrechungen der Gefäße sind trotz, oder gerade wegen der Schellackpolitur besonders deutlich erkennbar.

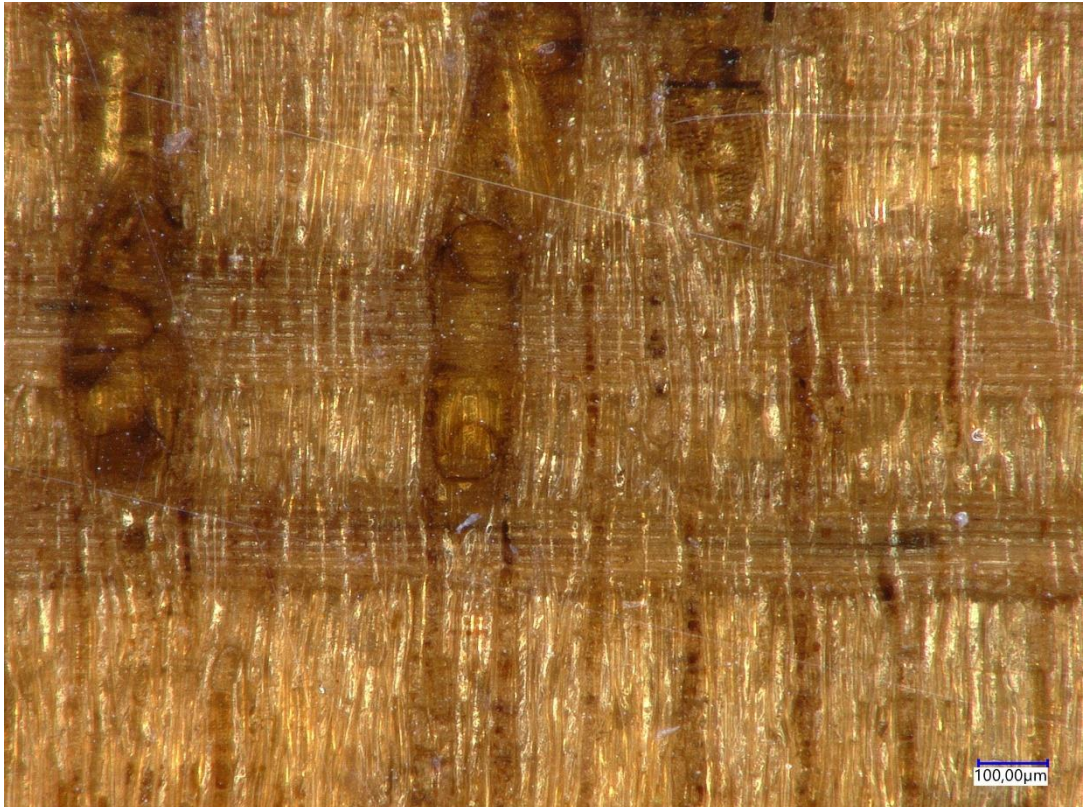


Abbildung 35: Poliertes Brett, R., 200x

4.4.4 Ergebnis

Die zusammengetragenen Merkmale lassen das Holz sich als **Nussbaum (*Juglans regia*)** identifizieren.

Eine 100%ige Übereinstimmung erfolgte nur mit Nussbaum und die Übereinstimmungsquote weitere Hölzer nimmt kontinuierlich ab. Auch hier wurden die Aufnahmen des polierten Brettes denen des Nussbaumes gegenübergestellt.

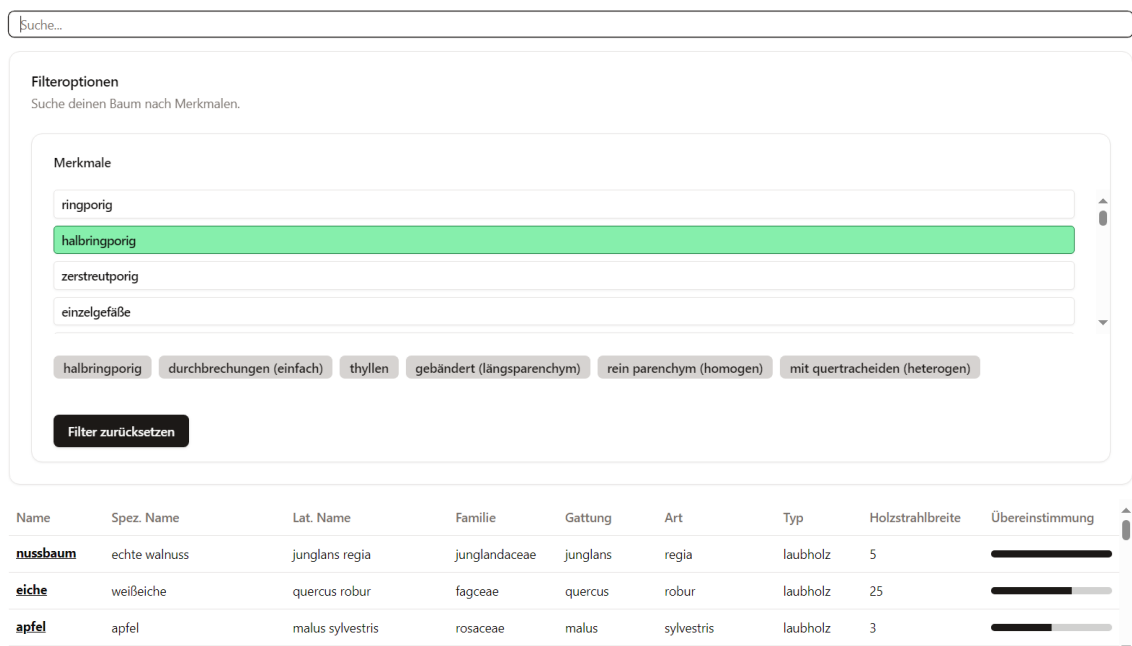


Abbildung 36: Screenshot, Filterfunktion, poliertes Brett

	Halbringporig	Durchbrechungen einfach	Thyllen	Fasertracheiden	Holzstrahlbreite	Homogen	Heterogen	Marginal	Überwiegend apotracheal	Diffus gehäuft	Spärlich-apotracheal	gebändert	Mit Kernfärgung
Nussbaum	X	X	X	X	Bis 5	X	X _s	X	X	X	X	X	X
Auflicht	X	X	X		Bis 5	X	X _s					X	

X = ja; X_s = schwach³⁸

³⁸ Die Gestaltung und der Informationsgehalt, in Bezug auf den Nussbaum, orientieren sich an der Tabelle des Buches GROSSER 1977, S. 54.

Auflichtaufnahme
Brett mit transparentem Lack

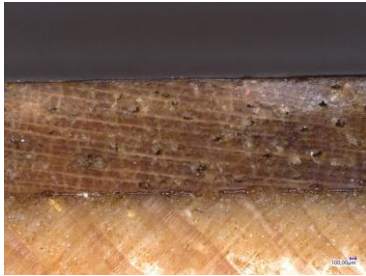


Abbildung 37: Q., 50x

Auflichtaufnahme
Nussbaum, *Juglans regia*



Abbildung 38: Q., 18x

Durchlichtaufnahme
Nussbaum, *Juglans regia*

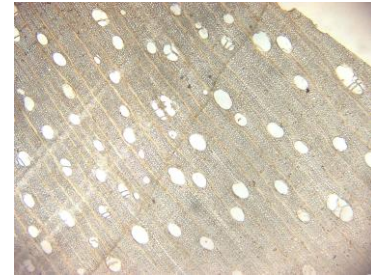


Abbildung 39: Q., 40x



Abbildung 40: T., 100x



Abbildung 41: T., 144x

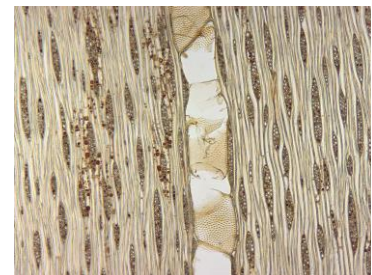


Abbildung 42: T., 100x



Abbildung 43: R., 200x



Abbildung 44: R., 120x



Abbildung 45: R., 100x

4.5 Anwendung bei nicht planen Oberflächen

Um die Anwendung der Auflichtmikroskopie an dem 3D-Mikroskop auch an konvexen und konkaven Stellen zu demonstrieren, wurde die Profilleiste an dem polierten Brett, die ebenfalls mit Schellack überstrichen wurde, fotografiert. Durch die integrierte Tiefenschärfefunktion konnten Bilder aufgenommen werden, die über alle Ebenen einheitlich scharf sind.

Auch in diesem Fall konnten wichtige Merkmale erkennbar visualisiert werden. Um den Rahmen der Arbeit nicht zu überschreiten, wurde auf eine ausgiebige Holzartenbestimmung verzichtet. Zumindest sollten die sichtbar gewordenen spiraligen Verdickungsleisten Erwähnung finden. Sie dienen als ein wichtiges Identifizierungsmerkmal. Dank der Aufnahmen der Leiste kann die Aussage getroffen werden, dass spiralige Verdickungsleisten auch bei transparent lackierten Holzoberflächen sichtbar sein können.



Abbildung 46: Leiste, Q., 20x



Abbildung 48: Leiste, Q., 75x



Abbildung 47: Leiste, T., 200x



Abbildung 49: Leiste, R., 100x

VI. FAZIT

Die Methode der Auflichtmikroskopie zur Holzartenbestimmung ist erfolgreich anwendbar und kann ohne die Entnahme einer Probe durchgeführt werden. Natürlich ist die Qualität des verwendeten Equipments und das Verständnis der Holzanatomie der analysierenden Person, wie auch der Zustand der Einsichtsflächen ausschlaggebend für die Ergebnisse. Die Auflichtaufnahmen als Vergleich heranzuziehen erweisen sich als äußerst hilfreich, insbesondere wenn zwei oder mehr Hölzer den sichtbaren Merkmalen des zu bestimmenden Holzes entsprechen.

Die Erstellung des Bilderatlas war das Hauptziel dieser Arbeit und die dazu aufgenommenen Auflichtbilder erwiesen sich als Erfolg. Sowohl die Präparation als auch der Umgang mit dem Equipment lief reibungslos und ermöglichte repräsentative Aufnahmen.

An dieser Stelle sollte erwähnt werden, dass die Methode der Holzartenbestimmung mittels Auflichtmikroskopie keine neue Erfindung ist und schon seit längerer Zeit Anwendung findet. Ebenso wurde für diese Facharbeit das Wissen von Biologen verwendet, die respektable Arbeit in der Holzforschung machten. Besonders das Buch von Dietger Grosser „Die Hölzer Mitteleuropas“, aus dem Jahr 1977 hatte einen großen Einfluss auf diese Arbeit und diente hauptsächlich als Quelle für die Merkmalbestimmungen. Ein Anliegen war diese Informationen nicht nur zu digitalisieren und eine optimierte Analyse zu schaffen, sondern auch die auflichtmikroskopische Methode voranzubringen und für die Restauratorenwelt praktisch anwendbarer zu gestalten. Die Funktion der Filterung mit prozentualer Trefferquote bietet eine elegante Arbeitsweise zur Holzartenbestimmung. Die in dieser Arbeit aufgenommenen 23 Hölzer präsentieren jedoch nur die Spitze der Vielfalt der Holzarten und eine Weiterentwicklung und Ausarbeitung der Datenbank ist unablässig. Eine derartige Weiterentwicklung in Form einer Website, die nach höherer Effizienz strebt, ist bereits im Gange. Die Mikroskopie unter Auflicht erweist sich als ein fähiges Mittel der Holzartenbestimmung und dennoch sind ihre Möglichkeiten ausbaufähig.

Die Auflichtmikroskopie, wie sie hier angewendet wurde, ist nicht in der Lage, jedes Merkmal erkennbar zu machen bzw. damit zufriedenstellende Aussagen formulieren zu können. Das Längsparenchym ist so gut wie bei jedem Holz im Auflicht nicht erkennbar und es kann erst recht nicht mit gutem Gewissen ein Urteil über seine bevorzugte Position gemacht werden. Ähnlich verhält es sich mit den Kreuzungsfeldtüpfeln der Nadelhölzer, die jedoch durch extreme Vergrößerung schließlich doch in Aufnahmen visualisiert werden konnten. Hier sollte dennoch beachtet werden, dass der Blick durch das Mikroskop und die praktische Analyse mit dem Spiel der Tiefenschärfe sich von reiner Bildbetrachtung unterscheidet. Im Abschnitt „IV. 5.2.3. Radialschnitt“ konnten beispielsweise einfache Durchbrechungen der Gefäße unter dem 3D-Mikroskop erkannt werden, die jedoch in Aufnahmen kaum sichtbar gewesen wären, weshalb darauf verzichtet wurde. In den Aufnahmen, die für die Datenbank

erstellt wurden, konnten solche Durchbrechungen in voller Gänze und repräsentativ fotografiert werden. Eine Visualisierung ist durchführbar.

Die Methode findet bei beschichteten Oberflächen schnell ihre Grenzen und in den meisten Fällen ist eine Abnahme nötig, was der zerstörungsfreien Ethik der Konservierung nicht entspräche. Dennoch sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass bei der Durchlichtmikroskopie immer in die Oberfläche eingegriffen wird.

Darüber hinaus konnte bei Testung der Anwendbarkeit, die Holzart, trotz transparenter Lackierung, erfolgreich bestimmt werden. Die Methode der Auflichtmikroskopie bewährt sich auch in diesem Bereich. Ein weiterer positiver Aspekt ist die weniger starke Eingrenzung der Flächen, die in der Durchlichtmikroskopie auf die Probengröße beschränkt ist. Außerdem ist erwähnenswert, dass die Verwendung des 3D-Mikroskops bei unebenen und gewölbten Oberflächengestaltungen eine Holzartenidentifizierung unter dem Auflicht problemlos bewerkstelligen kann.

VII. DANKSAGUNG

Diese Arbeit wäre ohne die Unterstützung folgender Personen nicht möglich gewesen und bedarf einer gesonderten Danksagung an:

Ivan Jovanovic

Helmut Balk und das Team des Greifenberger Instituts

Paul Lijzen

Bettina Beaury

VIII. ANHANG

1. Zusammenfassung

Die Arbeit „Bilderatlas zur Holzartenbestimmung mittels Auflichtmikroskopie“ von Janine Logdeser, beschäftigt sich mit der Methode der Holzartenbestimmung mittels Mikroskopie unter Auflicht. Die Untersuchungen dienen zur Bestätigung der praktischen Anwendbarkeit in der Holzidentifizierung und dem Ausformulieren seiner Möglichkeiten und Grenzen. Auf dieser Basis aufbauend wird ein digitalisierter und funktionaler Bildatlas angestrebt, der die wissenschaftlich fundierte Analyse unterstützen soll.

Neben der Erklärung der Betrachtungsebenen und der Auflichtmikroskopie, wird auf das verwendete Equipment und im Besonderen auf das Greifenberger Institut für Musikinstrumentenkunde eingegangen. Das Institut war eine wichtige Instanz zur Formulierung der Thematik und ohne seine Unterstützung wäre die Realisierung der gestellten Aufgabe nicht möglich gewesen.

Der erstellte Bildatlas umfasst 23 Holzarten, die sowohl im Auflicht als auch im Durchlicht mikrophotographisch festgehalten wurden. Dabei wurde besonders auf die Repräsentativität der für die Holzartenbestimmung ausschlaggebenden Merkmale geachtet.

Daran anschließend finden sich in dieser Arbeit Testungen zur Anwendbarkeit bei opaken, transparenten und plastisch gestalteten Oberflächen. Die Ergebnisse wurden mit den Informationen der sichtbaren Merkmale durch Auflichtmikroskopie und der vergleichenden Aufnahmen der Datenbank erarbeitet.

Dieses Projekt bildet lediglich die Basis zur Ausarbeitung der auflichtmikroskopischen Methode. Der Bildatlas soll in Zukunft in einer ähnlichen Form von der Erstellerin und Autorin dieser Arbeit weiter ausgebaut und mit weiteren Hölzern ergänzt werden. Ein Ausblick ist das Bestreben, diese Weiterentwicklung einem breiteren Publikum, via digitaler Medien zugänglich zu machen.

2. Summary

The paper "Image atlas for wood species identification using incident light microscopy" by Janine Logdeser, deals with the method of wood species identification using incident light microscopy. The examinations serve to confirm the practical applicability in wood identification and to formulate its capabilities and limitations. Building on this basis, a digitalized and operational image atlas will be developed to support the scientifically sound analysis.

In addition to explaining the viewing levels and incident light microscopy, the equipment used and, in particular, the Greifenberger Institute for Musical Instrument Research will be discussed. The Institute was an important instance for the formulation of the topic and without its support the realization of the task set would not have been possible.

The image atlas comprises 23 types of wood, which were photographed both in incident and transmitted light. Particular attention was paid to the representativeness of the characteristics that are decisive for the determination of the wood species.

Subsequently, this paper contains tests on the applicability of opaque, transparent and sculptural surfaces. The results were compiled with the information of the visible features by incident light microscopy and the comparative images of the database.

This project is merely the basis for the development of the reflected light microscopy method. The image atlas is to be expanded in a similar form in the future by the creator and author of this paper and supplemented with further woods. One outlook is the endeavor to make this further development accessible to a broader public via digital media.³⁹

³⁹ Als Übersetzungshilfe wurde das Lexikon LANGENSCHIEDTS TWB 1970, verwendet.

3. Glossar

Begriff	Definition	Quelle
Dendrologie	Die Dendrologie ist die wissenschaftliche Erforschung der Bäume und Gehölze.	Vgl. DUDEN 1994, S. 315.
Eindeckmittel	Klare Mittel, die nach kurzer Zeit erstarren und für die Dauerpräparat-Herstellung verwendet werden, werden Eindeckmittel genannt.	
Fenstertüpfel	Fenstertüpfel sind großflächige Tüpfel, die die gesamten Kreuzungsfelderflächen ausfüllen.	Vgl. GROSSER 1977, S 21.
Fasertracheiden	Fasertracheiden dienen im Holz als Festigungselemente und ihre Tüpfel sind behöft.	Vgl. GROSSER 1977, S. 45.
Gimp	Gimp ist ein graphisches Bearbeitungsprogramm.	
Halbbehöfte Tüpfel	Halbbehöfte Tüpfel sind Verbindungen zwischen Tracheiden und Parenchymzellen, die nur eine Tüpfelkammer haben.	Vgl. GROSSER 1977, S. 14.
Kantenzellen	Kantenzellen sind die sich am Ende eines Holzstrahls befindenden Zellen.	Vgl. GROSSER 1977, S. 21.
Kreuzungsfeldtüpfel	Kreuzungsfeldtüpfel sind Tüpfel, die sich in den Kreuzungsfeldern (Radialwandflächen zwischen Strahlparenchymzellen und Längstracheiden) befinden.	Vgl. GROSSER 1977, S. 21.
Längsparenchym	Längsparenchym bezeichnet Zellen, die vornehmlich der Stoffspeicherung dienen.	Vgl. GROSSER 1977, S. 23.
Opak	Ein lichtundurchlässiger Stoff oder Körper wird als opak bezeichnet.	

Rhombische Kristalle	Die Kristalle sind rhombische (rautenförmig) geformt.	Vgl. WAGENFÜHR 1966, S. 116.
Rohdichte	Die Rohdichte eines Holzes wird durch das Verhältnis Masse zu Volumen (g/cm^3) berechnet.	Vgl. HOLZHANDEL 2024.
Schlittenmikrotom	Das Schlittenmikrotom ist ein Schneidegerät, das zur Herstellung von dünnen Schnittpräparaten verwendet wird.	
SQL	Structured Query Language ist eine Standardsprache für die Erstellung und Bearbeitung von Datenbanken.	
Taxodioide Tüpfel	Taxodioide Tüpfel sind Tüpfel mit großen Mündungen, die sich in den Kreuzungsfeldern befinden.	Vgl. GROSSER 1977, S. 23.

4. Verzeichnisse

4.1 Literatur

BILEK, BRAUN-FALCO, STOLZ 2004

Bilek, Peter; Braun-Falco, Otto; Stolz, Wilhelm; et al.: Farbatlas der Dermatoskopie. Stuttgart 2004.

BOSSHARD 1974

Bosshard, Hans Heinrich: Holzkunde. Mikroskopie und Makroskopie des Holzes. Band 1. Basel, Stuttgart 1974.

BRAMWELL 1976

Bramwell, Martyn: Das Grosse Buch vom Holz. München 1976.

DUDEN 1994

Duden: Duden. Das große Fremdwörterbuch. Leipzig, Wien, Zürich 1994.

EMSPIRA 2023

Emspira: Emspira 3 Benutzerhandbuch. Heerbrugg 2023.

GROSSER 1977

Grosser, Dietger: Die Hölzer Mitteleuropas. Ein mikrophotographischer Lehratlas. Berlin, Heidelberg, New York 1977.

LANGENSCHIEDTS TWB 1970

Langenscheidts Taschenwörterbuch: Englisch – Deutsch, Deutsch -Englisch. Berlin, München, Wien, Zürich 1970.

MATTEINI, MOLES 1990

Matteini, Mauro; Moles, Arcangelo: Naturwissenschaftliche Untersuchungsmethoden in der Restaurierung. München 1990.

SACHSSE 1984

Sachsse, Hanno: Einheimische Nutzhölzer und ihre Bestimmung nach makroskopischen Merkmalen. Hamburg, Berlin 1984.

SCHWEINGRUBER o. J.

Schweingruber, Fritz Hans: Anatomie europäischer Hölzer. Remagen-Oberwinter o. J.

SCHWEINGRUBER 1978

Schweingruber, Fritz Hans: Mikroskopische Holzanatomie. Zug 1978.

WAGENFÜHR 1966

Wagenführ, Rudi: Anatomie des Holzes. Leipzig 1966.

4.2 Internetdokumente

BLUM, BAUER, GARBE, KREUSCH 2023

Blum, Andreas; Bauer, Jürgen; Garbe, Claus; Kreusch, Jürgen: Auflichtmikroskopie. 2023
Aus dem Buch: Dermatoskopie von Hauttumoren. Heidelberg 1999.

<<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/auflichtmikroskopie/6050>>. (08.03.2024)

HOLZHANDEL 2024

Gesamtverband Deutscher Holzhandel e. V.: Rohdichte des Holzes. 2024.

<<https://www.holzvomfach.de/fachwissen-holz/wissenswertes/holzwissen/die-rohdichte-des-holzes/>>. (08.03.2024)

EMSPIRA 2024

Emspira: Emspira 3 Digitalmikroskop. 2024. <<https://www.leica-microsystems.com/de/produkte/digitalmikroskope/p/emspira-3/>>. (08.03.2024)

KEYENCE o. J.

Keyence: 3D-Darstellung <https://www.keyence.eu/dede/ss/products/microscope/microscope_glossary/observation/3d_display.jsp>. (04.03.2024)

MOTIC o. J.

Motic: Panthera C2 Binocular. O.J. <<https://moticeurope.com/en/panthera-c2-binocular-without-100x.html>>. (27.02.2024)

ZEISS 1998

Zeiss: Axioskop 2 routine Microscope. 1998. <<https://www.zeiss.com/content/dam/Microscopy/us/download/pdf/end-of-service/upright/upright-axioskop-2.pdf>>.

(08.03.2024)

ZEISS o. J.

Zeiss: Zeiss Axioscope für die Materialforschung. Mikroskop für Forschung und Routine im Materiallabor. O. J. <<https://www.zeiss.com/microscopy/de/produkte/lichtmikroskope/weitfeldmikroskope/axioscope-fuer-die-materialforschung.html#null>>. (08.03.2024)

4.3 Abbildungen

Abbildung 1: Holzkörper Rotbuche	7
Abbildung 2: Auflicht-Präparate	12
Abbildung 3: Objektträgerkasten.....	13
Abbildung 4: Buche, T., 400x	15
Abbildung 5: Pappel, R., 400x	15
Abbildung 6: Buchsbaum, R., 154x,.....	16
Abbildung 7: Weide, R., 120x,	16
Abbildung 8: Douglasie, R., 144x,.....	17
Abbildung 9: Douglasie, R., 200x,.....	17
Abbildung 10: Tanne, R., 200x,	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 11: Pappel, Q., 150x	18
Abbildung 12: Screenshot aus der Datenbank, Filterfunktion.....	20
Abbildung 13: Screenshot aus der Datenbank, Weißtanne	21
Abbildung 14: Screenshot aus der Datenbank, Echte Walnuss	21
Abbildung 15: Walzenspieluhr, Frontalansicht.....	22
Abbildung 16: Walzenspieluhr, Frontalansicht.....	22
Abbildung 17: Walzenspieluhr, Trennbrett.....	22
Abbildung 18: Walzenspieluhr, Trennbrett-Ecke	22
Abbildung 19: Walzenspieluhr, Q., 50x.....	23
Abbildung 20: Walzenspieluhr, T., 200x	24
Abbildung 21: Walzenspieluhr, R., 200x	25
Abbildung 22: Screenshot, Filterfunktion, Merkmale der Walzenspieluhr	26
Abbildung 23: Q. 50x.....	27
Abbildung 24: Q. 30x.....	27
Abbildung 25: Q. 40x.....	27
Abbildung 26: T. 200x	27
Abbildung 27: T. 96x	27
Abbildung 28: T. 100x	27
Abbildung 29: R. 200x.....	27
Abbildung 30: R. 96x.....	27
Abbildung 31: R. 100x.....	27
Abbildung 32: Walzenspieluhr, Marketerie, 50x	29
Abbildung 33: Marketerie, 150x,	29
Abbildung 34: Marketerie, 150x,	29
Abbildung 35: Marketerie, 150x,	29
Abbildung 36: Poliertes Brett, Q., 50x.....	30
Abbildung 37: Poliertes Brett, T., 150x	31
Abbildung 38: Poliertes Brett, R., 200x	32
Abbildung 39: Screenshot, Filterfunktion, poliertes Brett.....	33

Abbildung 40: Q., 50x.....	34
Abbildung 41: Q., 18x.....	34
Abbildung 42: Q., 40x.....	34
Abbildung 43: T., 100x	34
Abbildung 44: T., 144x	34
Abbildung 45: T., 100x	34
Abbildung 46: R., 200x.....	34
Abbildung 47: R., 120x.....	34
Abbildung 48: R., 100x.....	34
Abbildung 49: Leiste, Q., 20x.....	35
Abbildung 50: Leiste, T., 200x	35
Abbildung 51: Leiste, Q., 75x.....	35
Abbildung 52: Leiste, R., 100x	35

4.4 Abbildungsnachweise

Folgende Abbildungen entstanden am

03.03.2024 im Goering Institut, von Janine Logdeser: 1 – 3

25.01.2024 im Goering Institut von Janine Logdeser: 4; 5; 25; 28; 31; 42;45; 48

06.12.2023 im Greifenberger Institut von Janine Logdeser: 6 – 8; 24; 27; 30; 41; 44; 47

20.02.2024 im Goering Institut von Janine Logdeser: 9 – 11

30.01.2024 im Goering Institut von Cornelia Hörner: 15; 16

28.02.2024 im Goering Institut von Janine Logdeser: 12 – 14; 17 - 23; 26; 29; 32 - 40; 43;
46; 49 - 52

5. Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.



Janine Logdeser, München, 11.03.2024