

Auf den Spuren von Torres und Stradivari

Hamburger Thünen-Institut untersucht historische Musikinstrumente mit neuen zerstörungsfreien Prüfmethode

Von Volker Haag¹, Sebastian Kirsch²,
Valentina Zemke³, Sergej Kaschuro¹
und Gerald Koch¹

Wissenschaftler des Thünen-Instituts in Hamburg wenden neue zerstörungsfreie Methoden an, um Hölzer und Materialeigenschaften von historischen Musikinstrumenten in berühmten Museen wie dem „Museu de la Musica“ in Barcelona (Spanien) und dem Germanischen Nationalmuseum in Nürnberg zu analysieren.

Seit Jahrhunderten ranken sich Mythen und Legenden um das besondere Wissen historischer Musikinstrumentenbauer. Jede Instrumentengattung hat dabei ihre eigenen Meister, deren berühmte Namen wie Stradivari (für den Geigenbau), Antonio de Torres (Erfinder der klassischen „spanischen“ Gitarre) oder des Hamburger Klavierherstellers Steinway and Sons auf der ganzen Welt bekannt sind. Dabei werden den historischen Instrumentenbauern oftmals etwa „geheime Rezepturen“, mit denen sie ihre Klanghölzer behandelt haben sollen oder verloren gegangenes Wissen um Konstruktionstechniken nachgesagt. Fest steht, dass es solange es Mythen gibt, auch immer Menschen geben wird, die auf den Spuren der alten Meister den Wahrheitsgehalt dieser Legenden zu erforschen suchen.

Eine Kernfrage beim Entwurf eines neuen Instruments ist immer, welche Hölzer für welches Bauteil zum Einsatz kommen sollen. Beim „Design“ des Instruments werden hierfür bereits jeder traditionell verwendeten Holzart, abseits des ästhetischen Anspruchs, ganz charakteristische Resonanzeigenschaften zugesprochen, die später das gewünschte Klangverhalten erzeugen sollen. Für die Resonanzdecken von Streich- und Zupfinstrumenten, die zum überwiegenden Teil aus feinjährigen Nadelhölzern gebaut werden, gilt beispielsweise, dass eine „Zederndecke“ aus Nordamerika einen eher kräftigen, voluminöseren Klang unterstützt, während eine Hochgebirgsfichte aus den Alpen einen eher feineren und differenzierteren Klang erzeugt. In diesem Zusammenhang werden auch für alle wei-



Abbildung 1 Ausschnitt einer Gitarre von 1650 bis 1700 mit Intarsienarbeiten auf Griffbrett und Resonanzdecke
Foto: Museu de la Musica, MDMB 639

teren Komponenten, beispielsweise der Streich- und Zupfinstrumente (u.a. Zarge, Boden, Hals oder Griffbrett), bestimmte Hölzer für die gewünschten Klangeigenschaften eingesetzt.

Mahagoni ist nicht gleich Mahagoni

Die historische Evidenz dieser sehr spezifischen Materialkunde beruht meistens auf den Erfahrungen, die die zeitgenössischen Meister über die Dekaden an ihre Lehrlinge weitergaben, oder den seltenen schriftlichen Überlieferungen, die aus der Zeit der Altmeister, wie zum Beispiel von Antonio de Torres, stammen. Leider sind die überlieferten Schriften sehr unpräzise und die heutigen Gitarrenbauer können oft nur vermuten, welche Holzarten tatsächlich verbaut wurden. Klassischerweise wurde zum Beispiel für den Hals einer spanischen Gitarre neben Ahorn oder Zypresse häufig „Mahagoni“ verwendet, wie es auch in der Literatur dokumentiert ist. Mikroskopische Untersuchungen an einzelnen ausgewählten Instrumenten zeigen jedoch, dass neben dem sogenannten „Cuba Mahagoni“ (*Swietenia mahagoni*) häufig auch andere sehr eng verwandte Arten mit Namen wie Honduras- oder Tobasco-Mahagoni (*Swietenia* spp.) aus dem mittel- bis südamerikanischen Raum oder später entfernter verwandte Arten aus dem zentralafrikanischem Raum wie Khaya, Sipo oder Sapeli unter dem Namen Mahagoni verarbeitet wurden. Ähnlich ver-

hält es sich bei Hölzern mit der Bezeichnung Rosenhölzer (Rosewood), zu denen im Allgemeinen die Palisander der Gattung *Dalbergia* spp. gezählt werden, regional jedoch auch andere Gattungen wie *Pterocarpus* spp. („African Rosewood“) oder *Guibourtia* spp. (Bubinga oder auch „African Rosewood“) unter dem Namen Rosenhölzer gehandelt werden.

Eine zweifelsfreie Auskunft über die verwendeten Holzarten auf Basis der Holzstruktur ist nur durch mikroskopische Untersuchungen der Zellstruktur, des sogenannten „anatomischen Fingerabdrucks“, möglich.

Bei der Holzartenbestimmung auf Basis von Strukturmerkmalen werden grundsätzlich zwei Ansätze, die makroskopische und die mikroskopische Holzartenidentifizierung unterschieden. Bei der makroskopischen Holzartenidentifizierung werden die drei Hauptrichtungen des Holzes (transversal, radial- und tangential) mithilfe einer Handlupe untersucht. Vorteil dieser Untersuchung ist, dass die Methode völlig zerstörungsfrei ist und in der Regel mit sehr geringem Aufwand zu ersten Ergebnissen führt, häufig bereits auf Gattungsebene der Hölzer.

Nachteil dieser Methode ist die relativ geringe Anzahl an auswertbaren anatomischen Strukturmerkmalen (etwa 25 Merkmale), die häufig weiter dadurch reduziert wird, dass bestimmte Hauptebenen (Holzquerschnitt) einzelner Komponenten oder Bauteile wie beispielsweise eingefassten Griffbret-



Abbildung 2 Gitarre von Joachim Tielke, Hamburg (Baujahr um 1685), mit aufwendigen Intarsienarbeiten
Fotos: Günther Kühnel, Germanisches Nationalmuseum Nürnberg, Inv. Nr. MI 57

tern oder bei Intarsien- bzw. Marketerarbeiten (Abbildungen 1 und 2) nicht zugänglich sind.

Zur Bewertung der anatomischen Struktur auf mikroskopischer Basis werden in der Regel Dünnschnitte an einem Mikrotom hergestellt, die später an einem (Durch-)Lichtmikroskop untersucht werden können. Hierbei stehen dem Wissenschaftler bis zu 90 Strukturmerkmale zur Verfügung. Da für die lichtmikroskopischen Analysen kleine „Späne“ entnommen werden müssen, ist diese – wenn auch minimalinvasive Methode – für die Holzartenbestimmung von sehr wertvollen (historischen) Instrumenten ungeeignet.

Holzartenidentifizierung mit 3D-Auflichtmikroskopie

Für die Bestimmung von Hölzern an historischen Instrumenten wird am Thünen-Institut für Holzforschung seit zwei Jahren eine spezielle 3D-Auflichtmikroskopie-Technik verwendet, um die charakteristischen anatomischen Strukturmerkmale der verarbeiteten Hölzer zerstörungsfrei darstellen zu können. Im Vergleich zu den beschriebenen konventionellen Untersuchungen werden die ausgewählten Oberflächenbereiche der Instrumente hochauflösend gescannt (Abbildung 3) und dreidimensionale Aufnahmen erstellt. Die Bilddateien können zusätzlich in

ein zweidimensionales Bild konvertiert werden, um die anatomischen Strukturmerkmale – vergleichbar den Ebenen eines Mikrotomschnittes – analysieren zu können.

Während einer umfangreichen Untersuchung im Rahmen eines wissenschaftlichen Austausches mit dem Museu de la Musica in Barcelona, untersuchten Wissenschaftler des Thünen-Instituts und der Universität Hamburg im April 2017 vor Ort zahlreiche historische Instrumente mit der 3D-Auflichtmikroskopie. Schwerpunkt der Untersuchungen waren historische Gitarren (im Mutterland des klassischen Gitarrenbaus), aber auch einzelne Streichinstrumente wie Geigen und Bratschen. Während Streichinstrumente klassischerweise aus einer geringen Anzahl „traditioneller“ Holzarten (Ahornkorpus, Ahornhals, Ebenholzgriffbrett und Fichtendecke) gefertigt werden, ist die Variationsbreite der in historischen Gitarren verbauten Hölzer weitaus höher. Dies lässt sich zum einem auf die Experimentierfreudigkeit zeitgenössischer Gitarrenbauer (Luthier) wie Antonio de Torres, Hermann Hauser und Francisco Simplicio zurückführen, die auch „regionale“ Hölzer wie beispielsweise spanische Zypresse (*Cupressus* sp.) als Ersatzholz für Palisander und Mahagoni für Zargen und Böden von Gitarren verwendet haben.

Insgesamt wurden im Museu de la Musica 120 Bauteile von elf historischen Gitarren mit Hilfe der speziellen 3D-Auflichtmikroskopie begutachtet. Dabei wurden die maßgeblich für die Klangentwicklung verantwortlichen Komponenten wie Resonanzdecke, Zarge und Boden bis hin zur kleinsten Marketerie eines Schallochtrings (Abbildung 4 rechts/links) oder einer Randverzierung untersucht. So konnte zum Beispiel zweifelsfrei festgestellt werden, dass Antonio de Torres (der „Erfinder“ der heute bekannten „Gitarrenform“) für seine Intarsienarbeiten einer Gitarre von 1859 ausschließlich natürlich gefärbte Hölzer wie Palisander, Mahagoni und Ahorn verwendet hat, während

¹ Thünen-Institut für Holzforschung, Hamburg
² Germanisches Nationalmuseum, Nürnberg
³ Department Holzbiologie, Zentrum Holzwirtschaft, Universität Hamburg



Abbildung 3 Untersuchung eines Gitarrenhalses (links) und 3D-Auflichtmikroskopie der Intarsien in den Randeinlagen einer historischen Gitarre (Beau, Baujahr 1844, MDMB 456) aus der Ausstellung des „Museu de la Musica“ in Barcelona (rechts).



Abbildung 4 Untersuchung der einzelnen Intarsienkomponenten eines Schallochtrings auf makroskopischer Ebene (links) und in der Vergrößerung (rechts) einer Gitarre von Francisco Simplicio, Barcelona, Baujahr 1924.

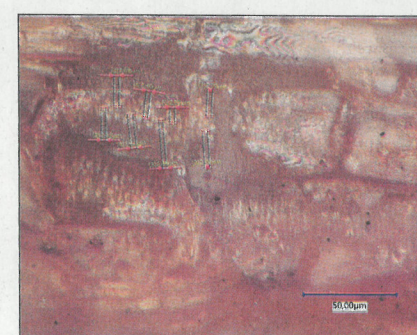


Abbildung 5 Messungen des durchschnittlichen vertikalen Gefäßtupfelfurchendurchmessers an einem Gitarrenhals einer Gitarre von Iganzio Fleta aus dem Jahre 1953.

Auf den Spuren von Torres und Stradivari

Fortsetzung von Seite 454

Francisco Simplicio bei einer Gitarre aus dem Jahre 1924 (s.o.) lediglich, gelb-, grün-, schwarz- und rotgefärbtes Ahornholz verbaute.

Die Ergebnisse der umfangreichen Analysen zeigen, dass es mithilfe der hohen Auflösung der 3D-Auflichtmikroskopie möglich ist, feinste zelluläre Strukturen zu untersuchen bzw. zu bestimmen. Beispielsweise werden für eine sichere Differenzierung der eng verwandten und äußerst ähnlichen Holzarten Cedro (*Cedrela odorata*) und Mahagoni (*Swietenia* spp.), beide aus der Familie der Meliaceae, die sog. vertikalen Gefäßtupfeldurchmesser vermessen (= kleinste Verbindungskanäle in den Gefäßen, siehe Abbildung 5). Mit diesem Bestimmungsmerkmal konnte für eine Gitarre von Ingazio Fleta aus dem Jahr 1953 eindeutig Mahagoni und für drei Gitarren von Antonio de Torres aus den Jahren 1859, 1862 und 1889 eindeutig Cedro identifiziert werden.

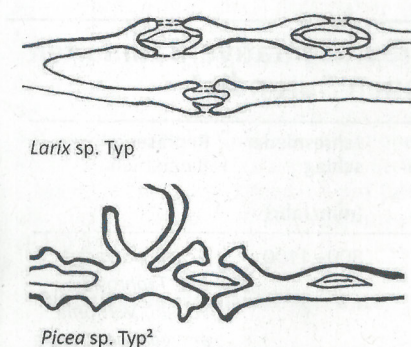


Abbildung 8 Vereinfachte schematische Darstellung der Tüpfelkanäle in den Quertracheiden von *Larix* sp. (oben) und *Picea* spp. (unten). In Anlehnung an Bartholin, 1979.

Diese spezifischen Merkmale können bisher nur mittels Elektronenmikroskopie oder hochauflösender Lichtmikroskopie diagnostiziert werden. Für beide Methoden müssen Proben entnommen und für die Untersuchung präpariert werden. Abbildung 7 (rechts) zeigt deutlich, dass die mithilfe der zerstörungsfreien 3D-Auflichtmikroskopie erstellten Bilder eine Unterscheidung der Tüpfelstrukturen von Fichte und Lärche ermöglichen. Im abgebildeten Beispiel kann die Holzprobe aufgrund der langgestreckten Kontur der Tüpfel sicher der Gattung *Larix* sp. zugeordnet werden.

Industrielle Computertomografie

Derzeit prüfen die Wissenschaftler des Thünen-Instituts in Kooperation mit der Universität Hamburg und dem Germanischen Nationalmuseum in Nürnberg, inwieweit hochauflösende Computertomografie (CT) als zusätzliche Methode für die zerstörungsfreie Identifizierung von Hölzern in Kombination mit dendrochronologischen Untersuchungen eingesetzt werden kann.

In dem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekt „Musices“ (Musik-Instrumenten-Computertomografie-Examinierungs-Standard) wurden in den vergangenen drei Jahren mehr als 100 Musikinstrumente mittels industrieller Computertomografie untersucht. Das Team aus Wissenschaftlern und Restauratoren des Germanischen Nationalmuseums und des Fraunhofer Entwicklungszentrums Röntgentechnik entwickelten hierbei Richtlinien zur Durchführung von CT-Scans und für die Archivierung der Primär- und Metadaten. Bei der 3D-Computertomografie werden von einem Objekt zahlreiche Röntgenbilder aus verschiedenen Winkeln aufgenommen und anschließend zu einem 3D-Datensatz zusammengefügt. In der medizinischen Diagnostik kommt diese Technik schon lange zum Einsatz, während sie in der industriellen Produktion beispielsweise zur zerstörungsfreien Prüfung von Bauteilen Anwendung findet. Im Unterschied zur medizinischen CT, bei der die Anlagen auf die Untersuchung von Menschen ausgelegt sind, können bei dem hier verwendeten, industriellen Verfahren die CT-Anlagen auf die Größe und Geometrie des Objekts eingestellt und so höhere Auflösungen erzielt werden.

3D-Röntgenbilder erlauben Einblicke in die klanglich relevanten, konstruktiven Details im Innern der Objekte. So können auch Schäden beurteilt oder Maße an jeder beliebigen Stelle genommen werden. Für diese Anwendungen ist in den meisten Fällen eine Ortsauflösung von etwa 100 µm oder besser notwendig (medizinische Verfahren erreichen eine Auflösung von ~400 µm). Mit dieser Auflösung lassen sich einzelne Strukturen der hölzernen Bauteile sichtbar machen. Deshalb war die Frage nach der Aussagekraft der CT-Bilder zur Bestimmung der Holzarten bzw. zur Altersbestimmung durch Dendrochronologie ein Teil des Forschungsprojek-

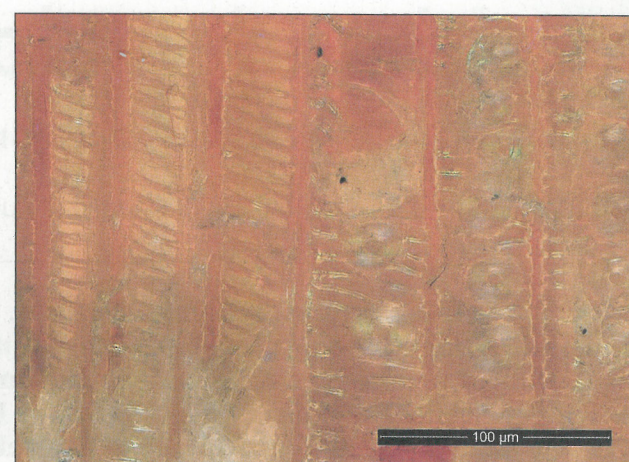
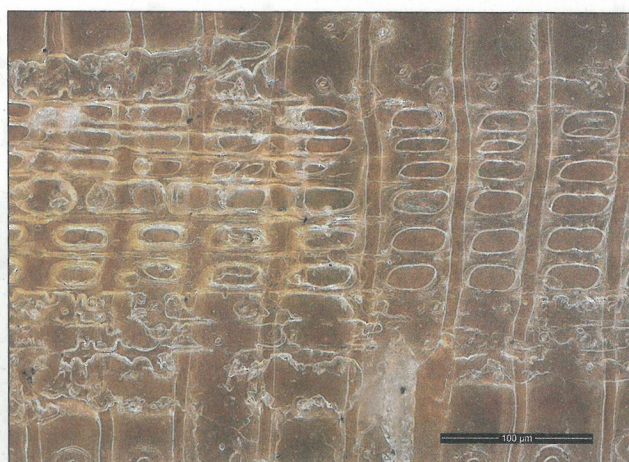


Abbildung 6 Links „Fenster-Tüpfel“ bei Kiefer (*Pinus sylvestris*) und rechts Spiralige Tracheidverdickungen bei Douglasie bzw. Oregon Pine (*Pseudotsuga menziesii*)
Fotos: Thünen-Institut

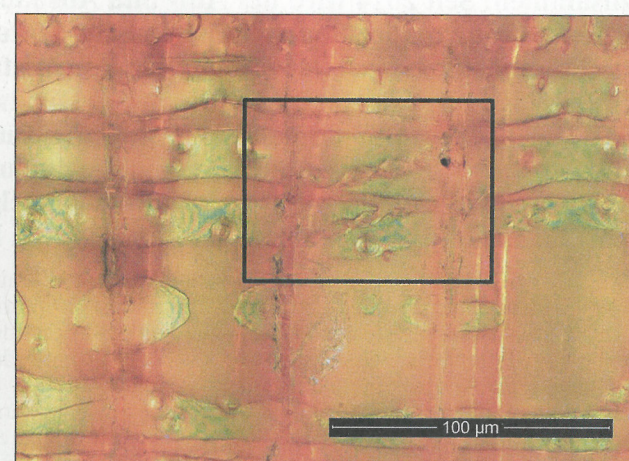
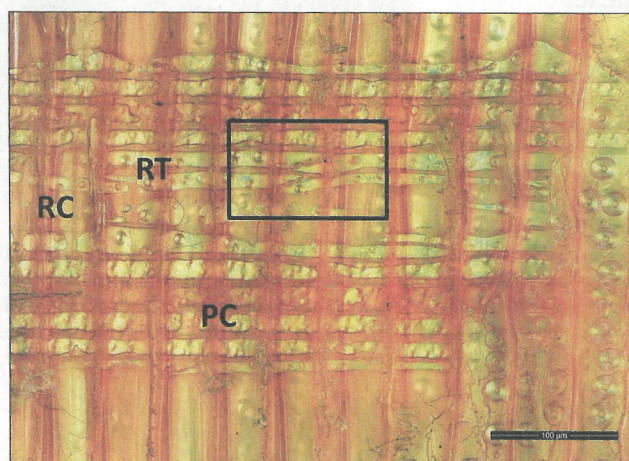


Abbildung 7 Mittels 3D-Auflichtmikroskopie „gescannte“ Aufnahmen eines Bereiches im Radialschnitt einer Lärche mit Tüpfeln in einer Quertracheide (QT) eines heterogenen Holzstrahls mit Parenchymzellen (Speichergewebe hier PZ).

tes. Für die Analyse der Resonanzdecken von Streich- und Zupfinstrumenten wird in der Regel der Radialschnitt ausgewählt. Anhand eines Schnittbildes des 3D-Röntgenvolumens (Abbildung 9) können die Jahrringabstände exakt vermessen und für die Auswertung im Rahmen einer dendrochronologischen Altersbestimmung verwendet werden.

Da für Resonanzdecken feinjähriges Nadelholz verwendet bzw. gefordert wird, muss die Auflösung so hoch sein, dass die einzelnen Jahrringe deutlich voneinander abgegrenzt werden können. Diese Anforderungen an die Auflösung lassen aber nur wenige Aussagen über die anatomischen Strukturmerkmale für eine Holzartenbestimmung zu. Nadelholz lässt sich jedoch eindeutig von Laubholz unterscheiden.

Die eindeutige Differenzierung von ringporigem, zerstreutporigem oder halbringporigem Laubholz gelingt bisher nur in bestimmten Fällen. Der Erfolg der Untersuchungen ist derzeit aufgrund zu geringer Auflösung von der individuellen Struktur bestimmter Hölzer abhängig. Abbildung 10 (rechts/links) zeigt den Querschnitt einer Probe Walnussholzes. Walnussholz ist aufgrund seiner halbringporigen Struktur und dem gut erkennbaren diffus-zonierten Speichergewebes (erkennbar durch feine, leicht gekräuselte Linien parallel zu den Jahrringgrenzen) leicht von anderen heimischen Holzarten zu unterscheiden.

Anders verhält es sich bei der Differenzierung eng verwandter oder tropischer Holzarten, deren Strukturmerkmale sich häufig sehr ähneln. Auch hier kann eine genauere Differenzierung nur

durch die Bewertung feinstruktureller anatomischer Merkmale (siehe oben) vorgenommen werden. Um genauere Aussagen treffen zu können sind deshalb höhere Auflösungen notwendig. Dies kann entweder bei sehr kleinen Objekten (durch eine große geometrische Vergrößerung) oder durch entsprechende Aufnahmeverfahren erreicht werden.

Anhand von hochauflösenden computertomografischen Aufnahmen wurde an einer Geige von Matthias Hummel (MI419) aus der Sammlung des Germanischen Nationalmuseums eine jahrringanalytische Untersuchung durchgeführt¹.

Das Instrument besteht aus einer „gespiegelten“, d.h. zweiseitigen Decke, weshalb die Jahrringbreitenmessungen der Bass- und Diskantseite ähnlich zueinander waren. Folglich wurden sie daher zu einer gemeinsamen Mittelkurve zusammengefasst. Die Auswertung der Mittelkurve von 107 Jahrringen (plus mindestens ein Jahrring) zeigt mit der an der Universität für Bodenkultur Wien vorhandenen Vergleichskurve „Dachstein Schwarzensee“ (SWsPA) eine hohe Übereinstimmung² und somit die Datierung des jüngsten Jahrrings 1636 (plus mindestens ein Jahrring).

Da bei Resonanzdecken keine Waldkante erhalten bleibt, die Aufschluss

über das genaue Fälldatum gibt, ist die Datierung des jüngsten Jahrringes „terminus post quem“, d.h. der Baum, aus dem das Holz stammt, wurde nach dem nachgewiesenen Datum gefällt. Unter Berücksichtigung von Trockenzeit und Lagerdauer des Fichtenholzes muss eine individuelle Abschätzung erfolgen, die näherungsweise eine Datierung zum Herstellungszeitpunkt erlaubt.

Die Geige von Matthias Hummel ist über den im Instrument befindlichen Herstellerzettel auf das Jahr 1681 datiert. Herstellungsdatum und dendrochronologische Datierung legen also nahe, dass die Decke original ist und nicht später auf das Instrument gebracht wurde.

Referenzen:

- [1] Bartholin, T. 1979. The Picea-Larix problem. In IAWA Bulletin 1979/1, pp. 7-10.
- [2] Heinz, I. 2004. Systematische Erfassung und Dokumentation der mikroanatomischen Merkmale der Nadelhölzer aus der Klasse der Pinatae. München: Univ., 209 p., München, Techn Univ Diss, 2004.
- [3] Huber, B. 1970. Lichtmikroskopische Untersuchung von Hölzern, besonders die Bestimmung ihrer systematischen Zugehörigkeit. In: Handbuch der Mikroskopie in der Technik (ed. H. Freund): 5(1): 37-108. Frankfurt a. M.
- [4] Petersen, O. G. 1901. Diagnostisk Vednatomi af N. V. Europas Træer og Buske. Copenhagen.

¹ Dendrochronologische Untersuchungen von M. Sc. Valentina Zemke von der Universität Hamburg (UHH), Leuschnerstraße 91, 21031 Hamburg, Deutschland zusammen mit Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Michael Grabner und B.Sc. Elisabeth Wächter von der Universität für Bodenkultur Wien (Boku), Konrad-Lorenz-Straße 24, 3430 Tulln an der Donau, Österreich

² Statistische Ähnlichkeitswerte der Mittelkurve von MIN419 mit der Dachstein-Schwarzensee-Chronologie (SWsPA): Glk = 70, GSL = 99,9, TVH = 8,4.

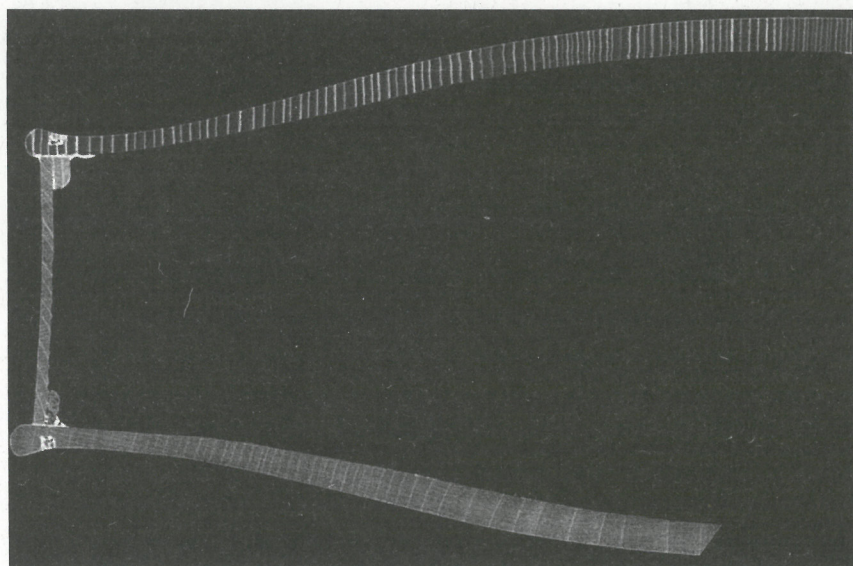


Abbildung 9 Querschnitt einer Violine (Teilbereich): Decke aus Fichte, Boden und Zargen aus Ahorn
Foto: Germanisches Nationalmuseum, Nürnberg/Fraunhofer EZRT

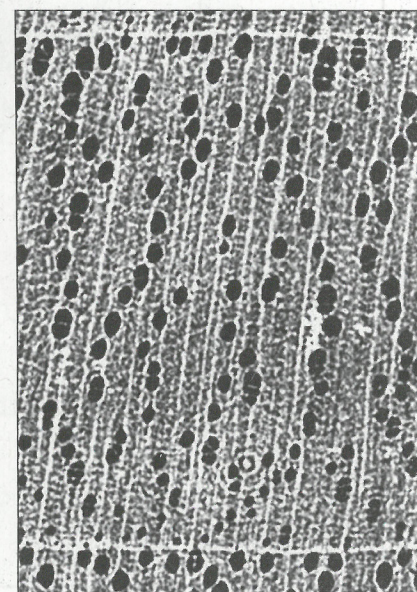
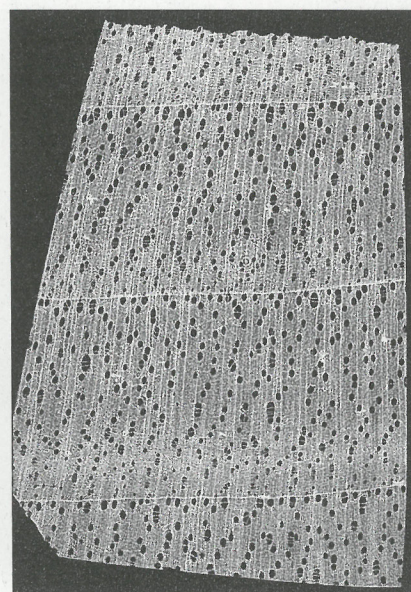


Abbildung 10 Zu sehen ist der Ausschnitt eines 3D-CT-Scans aus dem Querschnitt einer Probe von Walnussholz (*Juglans regia*).