

«Pilzgeige» lässt Stradivari links liegen!

Prof. Dr. Francis W.M.R. Schwarze
Empa, Head Bio-engineered Wood
St. Gallen, Schweiz



«Pilzgeige» lässt Stradivari links liegen!

1. Zusammenfassung

Musikinstrumente, die während des späten 17. und frühen 18. Jahrhunderts gebaut wurden, weisen im Vergleich zu zeitgenössischen Instrumenten auf Grund besserer Holzeigenschaften vielfach eine bessere Klangqualität auf. Dendrochronologische Studien zeigen, dass der berühmte Geigenbauer Antonio Stradivari in den letzten Dekaden seines Schaffens (der sogenannten «goldenen Ära») vorwiegend Fichtenholz von Bäumen verwendete, die während einer kleinen Eiszeit («Maunder-Minimum») gewachsen waren. Das Klima führte zu einer langsameren und gleichmässigeren Holzbildung, schmalen Jahrringen und geringer Dichte. Empa Studien zeigen, dass durch den gezielten Einsatz von holzzeretzenden Pilzen, die Rohdichte von Holz deutlich vermindert, der Dämpfungsfaktor erhöht und die Biegesteifigkeit dagegen nicht nennenswert herabgesetzt werden. Das mit einem solchen Holzabbauprozess erzielte grössere Schallgeschwindigkeit-Rohdichte-Verhältnis führt zu einer ähnlichen Materialqualität des Klangholzes wie von Holz aus Bäumen, die während des «Maunder-Minimums» gewachsen sind. Die industrielle Umsetzung dieser Art der Holzmodifikation könnte Lieferengpässe von immer knapper werdendem, hervorragendem Klangholz durch die Vergütung von gutem zu hochwertigem Klangholz schliessen und den traditionellen Musikinstrumentenbau in Europa fördern. Die erfolgreiche Umsetzung und Weiterentwicklung der biotechnologischen Methode der Klangholzbehandlung könnte es zukünftigen Nachwuchstalenten ermöglichen, eine Geige mit der Klangqualität einer teuren und für die meisten unbezahlbaren Stradivari zu spielen.

2. Einleitung

Auf der Suche nach «Stradivaris Geheimnis» haben unzählige akustische und chemische Untersuchungen, einschliesslich Analysen der Grundierung, des Lacks und der Pigmente, das Verständnis von der Herstellung und dem Spiel von Geigen vertieft. In den letzten 100 Jahren haben die Kenntnisse über die akustische Basis der Klangerzeugung bei Geigen stark zugenommen. Dem «Geheimnis» der Stradivari ist man dabei durch physikalische Messungen und chemische Untersuchungen zwar etwas näher gekommen, gelüftet wurde es jedoch höchstens ansatzweise. Vermutlich kamen viele günstige Faktoren zusammen: erlesenes Holz, hochwertige Grundierungen und Lacke, perfekte Handwerkskunst in Kombination mit Sorgfalt und Liebe zum Detail.

Die Qualität von Holz für den Bau von Musikinstrumenten wird massgeblich durch seine physikalischen und mechanischen Eigenschaften bestimmt. Sehr gutes Klangholz besitzt eine geringe Dichte, eine hohe Schallgeschwindigkeit und eine hohe Biegesteifigkeit (Bond, 1976; Bucur, 2006), denn dadurch verbessern sich die Resonanzeigenschaften des Musikinstruments und die Klangabstrahlung steigt. Musikinstrumente, die während des späten 17. und frühen 18. Jahrhunderts gebaut wurden, weisen im Vergleich zu zeitgenössischen Instrumenten auf Grund besserer Holzeigenschaften vielfach eine bessere Klangqualität auf. Zur Erklärung dieses Qualitätsunterschiedes wurden bereits viele Hypothesen aufgestellt; eine davon führt die besondere Klangqualität dieser Instrumente auf die als «Maunder-Minimum» bezeichnete Klimasituation zurück in der die längeren Winter und kühleren Sommer offenbar eine langsamere und gleichmässige Holzbildung bewirkten und damit einen geringen Spätholzanteil im Fichtenholz gebildet wurde. Das «Maunder-Minimum» beschreibt eine Zeit zwischen 1645 und 1715 in der auf der Sonne nahezu keine Sonnenflecken zu sehen waren, die Sonne also praktisch inaktiv gewesen sein muss (Abb. 1).

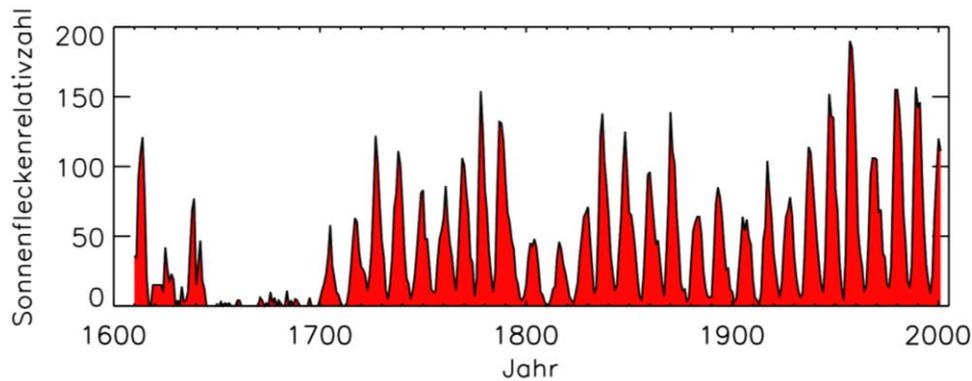


Abbildung 1: Sonnenaktivität gemessen an der Anzahl der Sonnenflecken im Jahr.

Die Zeit stimmt mit einer Periode auf der Erde überein, in der es (zumindest in Europa) relativ kalt war und die auch «kleine Eiszeit» genannt wird (Esper et al., 2002; Burckle & Grissino-Mayer, 2003). Die Sonnenfleckenanomalie wurde zuerst von Edward Walter Maunder Ende des 19. Jahrhunderts bemerkt, der alte Beobachtungsberichte ausgewertet hatte. Lange Zeit schenkte man seinen Arbeiten allerdings wenig Beachtung, bis auch moderne Methoden seine Entdeckung bestätigten. Wie es genau zu dieser solaren Ruhephase kam, ist bis heute noch unklar. Der berühmte Geigenbauer Antonio Stradivari verwendete in den letzten Dekaden seines Schaffens (der sogenannten «goldenen Ära») vorwiegend Fichtenholz von Bäumen, die während des «Maunder-Minimums» gewachsen waren (Barlow et al., 1988; Topham & McCormick, 2000).

Diese Instrumente gelten seit langem als ein nur ganz selten wieder erreichtes Klangideal und führen zu Verkaufspreisen einzelner Instrumente in Millionenhöhe (Tab. 1). Dies erweckt den Eindruck, dass nur italienische Geigenbauer des 17. und 18. Jahrhunderts gute Geigen bauen konnten. Das ist falsch! Auch die Geigenbauer des 19. und 20. Jahrhunderts stellten und stellen hervorragende Instrumente her (Roth, 2009). Davon unbeeindruckt schwören fast alle internationalen Geigenvirtuosen auf ihre Stradivari und haben zu ihr eine fast emotionale Bindung entwickelt. Ihr Klang wird als «sehr lebhaft» bezeichnet, sie «flackert» und «der Ton bewegt sich wie ein Kerzenlicht». Anne-Sophie Mutter liebt an ihrer Stradivari «*Lord Dunn Raven*» (Roth, 2009) «den Klang, die Schönheit sowie die schier endlose Ausdruckstiefe» und entdeckt «auch nach über 20 Jahren immer noch neue Züge in diesem herrlichen Instrument» (Roth, 2009). Kurzum, das Verhältnis zu Ihrer Stradivari ist eine «endlose Love-Story» (Roth, 2009).

3. Beurteilung der Klangqualität

Im Rahmen eines von der Europäischen Union geförderten Forschungsprojektes wurde durch das Meisteratelier für Geigenbau ein Meinungsprofil darüber erstellt, welche subjektiven Kriterien für die Beurteilung einer Geige massgeblich sind.

Tabelle 1: Jüngste Auktionsergebnisse von Stradivari-Geigen (Roth, 2009)

Jahr	Stradivari	Baujahr	Preis
1998	«Kreutzer»	1727	€ 1,5 Mio
2005	«Lady Tennant»	1699	€ 1,5 Mio
2006	«Hammer»	1707	€ 2,8 Mio
2007	«Solomon»	1729	€ 2,0 Mio
2007	«Joseph Joachim»	1715	€ 6,8 Mio
2008	«Barrow»	1715	€ 7,2 Mio
	Eigentlich «de Barrau»		
2011	Lady Blunt		€ 11,0 Mio

Mit Hilfe eines Fragebogens wurden dazu 120 vorwiegend professionelle Geiger (Solisten, Kammermusik-Ensembles, verschiedene deutsche Orchester) befragt:

«Welche Kriterien würden Sie anführen, um eine Geige hinsichtlich Klang und Spielbarkeit zu beurteilen? Bitte ordnen Sie die von Ihnen angegebenen Eigenschaften nach der Bedeutung, die Sie ihnen beimessen (persönliche Rangliste).»

Insgesamt wurden fast 80 verschiedene Attribute genannt. Entsprechend der Häufigkeit des jeweils genannten Attributes und der individuellen Priorität wurden die Attribute sortiert und gewichtet. Es zeigte sich, dass die genannten Attribute sechs generellen Merkmalsgruppen zugeordnet werden können. Die nachfolgende Abbildung 2 zeigt die Merkmalsgruppen mit deren prozentualen Anteil an der Gesamtbewertung. [Die Zahlen in eckigen Klammern zeigen die Anzahl der unterschiedlichen Attribute je Merkmalsgruppe].

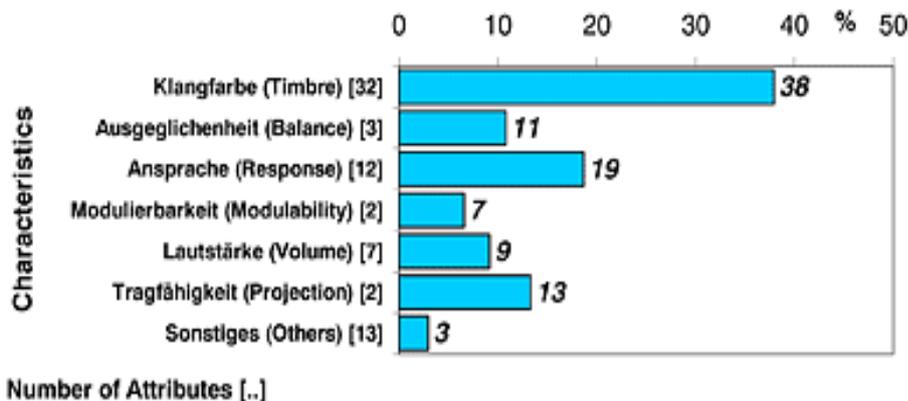


Abbildung 2: Beurteilungskriterien von Geigen. Ergebnis einer Befragung von 120 Geigern. Die Balkenlängen zeigen wie stark die Merkmalsgruppe («Klangfarbe», «Ansprache», etc.) bei der Beurteilung einer Geige ins Gewicht fallen (Schleske pers. Mitteilung).

Es fällt auf, dass mit 38 Prozent die Merkmalsgruppe «Klangfarbe» bei der Beurteilung einer Geige eindeutig dominiert. Gleichzeitig wird dieses Merkmal sehr vielfältig und individuell beschrieben: Es wurden insgesamt 32 verschiedene Attribute zur Beschreibung der Klangfarbe genannt. Demgegenüber wurde das Merkmal «Tragfähigkeit», das mit einem Anteil von 13 Prozent in die Beurteilung einging, lediglich mit zwei verschiedenen Attributen beschrieben. Mit einem 19-prozentigen Anteil liegt das Beurteilungskriterium «Ansprache» auf Platz zwei, wobei diese Eigenschaft mit zwölf verschiedenen Attributen beschrieben wurde.

4. Stand des Wissens auf dem Gebiet

Der Resonanzkörper einer Geige besteht ausschließlich aus Holz: die Decke aus Fichtenholz, die Zargen, der Steg, der Boden, der Bassbalken und der Stimmstock aus Ahornholz und so sehen viele Fachleute in der herausragenden Qualität des von Stradivari verwendeten Holzes das eigentliche Geheimnis. Klangholz für Musikinstrumente soll möglichst leicht sein, gleichzeitig aber einen hohen Elastizitätsmodul (Biegesteifigkeit) und eine hohe Schallgeschwindigkeit besitzen (Meyer, 1995; Müller, 1986). Es soll ferner astfrei sein und schmale, homogene Jahrringe sowie einen geringen Spätholzanteil (<20%) aufweisen. Nur wenige, sorgfältig ausgewählte Holzsortimente erfüllen diese strengen Qualitätskriterien (Holz, 1966; Gug, 1991). Die (akustische) Materialqualität M_q von Klangholz wird allgemein durch den Quotienten c/ρ definiert, wobei c die Schallgeschwindigkeit und ρ die Rohdichte des Klangholzes bedeuten (Ono & Norimoto, 1983; 1984; Spycher, 2008; Spycher et al., 2008). Die Schallgeschwindigkeit entspricht der Quadratwurzel aus dem Verhältnis von E-Modul (für Biegung längs zur Faser) zu Dichte. Der E-Modul ist ein von der Geometrie unabhängiger Materialwert; das Produkt aus E-Modul und Flächenmoment ergibt die Biegesteifigkeit des Werkstücks (Ono & Norimoto, 1983; 1984; Spycher, 2008; Spycher et al., 2008). Die Schallgeschwindigkeit z.B. von Fichtenholz beträgt in Längsrichtung 4800 bis 6200 m/s, die Rohdichte 320 bis 420 kg/m³.

Von besonderem Interesse bei allen Maßnahmen zur Verbesserung der Materialqualität M_q ist der Einfluss, den relative Änderungen von E-Modul und Rohdichte auf die Schallgeschwindigkeit haben: Verändert sich bei einer bestimmten Maßnahme der E-Modul (in %) etwa proportional zur Veränderung der Rohdichte (in %), so bleibt die Schallgeschwindigkeit annähernd gleich (die Materialqualität erhöht sich dann etwa umgekehrt proportional zu einer Verringerung der Rohdichte); ein solches Verhältnis relativer Änderungen von E-Modul und Rohdichte wird als «eng» bezeichnet (Tab. 3; Ono & Norimoto, 1983; 1984; Spycher, 2008; Spycher et al., 2008). Verringert sich dagegen bei einer bestimmten Massnahme der E-Modul (in %) wesentlich weniger als die Rohdichte (in %), so wird die Schallgeschwindigkeit erhöht (die Materialqualität steigt dann mehr als umgekehrt proportional zu einer Verringerung der Rohdichte); ein solches Verhältnis relativer Änderungen von E-Modul und Rohdichte wird als «weit» oder «groß» bezeichnet und ist zur Erzielung einer hohen Materialqualität M_q von Klangholz sehr erwünscht (Schleske, 1998; Wegst, 2006). Klangholz mit einem weiten E-Modul-Rohdichte-Verhältnis ist jedoch in der Natur selten und folglich teuer.

Aus chemischer Sicht ist Holz ein aus drei Polymeren Cellulose, Hemizellulose und Lignin aufgebauter Verbundwerkstoff mit innerer Wabenstruktur), dessen mechanische Eigenschaften (Elastizität, Festigkeit etc.) nicht nur von der Baumart, sondern von den klimatischen Bedingungen während der Wachstumsphase abhängen. Stradivari verwendete alpenländische Fichte für die Decke und Ahorn aus Bosnien für Zargen und Boden (Abb. 3). Er achtete sehr auf die Holzqualität und hatte dabei das Glück des Tüchtigen, dass die von ihm verwendeten Hölzer von Bäumen stammten, die während einer längeren Periode (1650–1715) mit geringen sommerlichen Durchschnittstemperaturen aufwuchsen («Maunder-Minimum»; Burckle & Grissino-Mayer, 2003). Das nur geringe Wachstum des Spätholzes führte zu schmalen Jahresringen (Stoel und Borman, 2008) und das Holz war ausserordentlich elastisch und gleichzeitig leicht, beides Voraussetzungen für exzellente Schwingungseigenschaften.



Abbildung 3: Links: Die Geigendecke aus Fichtenholz ist verantwortlich für die Klangabstrahlung, Lautstärke, Farbe und Klang des Streichinstruments. Rechts: Der Geigenbogen aus Ahornholz dient der Dämpfung und verleiht der Geige die notwendige mechanische Stabilität. Durch den welligen Faserverlauf werden ästhetische Anforderungen erfüllt.

5. Der Lack des Antonio Stradivari

Dem Lack einer Stradivari wird eine fast übernatürliche Bedeutung beigemessen und da damalige Rezepturen immer Familiengeheimnisse waren, vermuteten viele gerade im Lack das wahre «Geheimnis» einer Stradivari. Angetrieben wurde die Suche nach der «richtigen» Rezeptur durch die Londoner Geigenhändlerfamilie Hill, die 1902 in ihrem Buch «Antonio Stradivari, His Life and Work» (Roth, 2009) drei Faktoren für die Klangqualität einer Geige identifizierten: 1. Material, 2. Dimension und Konstruktion und 3. Lack. Dabei führten sie wortreich aus, dass der Lack die grösste und die Holzqualität die geringste Bedeutung hat.

Heute sehen Experten darin eine übertriebene Betonung der Lackqualität, denn jede Lackierung führt zu einer Gewichtszunahme mit einer damit verbundenen Schwingungsdämpfung (Schleske, 2002a, b). Vielleicht war dies der Grund, dass mittelalterliche Lautenmacher ihre Instrumente nur teilweise lackierten. Eine messbare und zuverlässige Verbesserung der Materialqualität des Klangholzes lässt sich daher mit diesen Methoden im Allgemeinen nicht erreichen (Schleske, 2002a, b).

In einer kürzlich erschienen Studie von Echard et al. (2009) an Holz- und Lackproben von fünf Stradivari-Geigen aus der Sammlung des Museums wurde die chemische Zusammensetzung des Lacks untersucht. Es handelt sich dabei um die Geigen «Davidoff» von 1708, «Tua» aus dem gleichen Jahr, «Longuet» (um 1692), «Provigny» (1716) und «Sarasate» (1724). Die Holz- und Lackproben waren von der Grösse eines Griesskorns. Grösser durften sie nicht sein: Der Wert der Instrumente liegt bei gut drei Millionen Franken – pro Geige. Die winzigen Proben liess Jean-Philippe Echard von französischen und deutschen Forschern untersuchen – unter anderem auch im Infrarotlicht des leistungsfähigen französischen Soleil-Synchrotrons. Dabei stellten die Wissenschaftler fest, dass Stradivari jeweils zwei sehr dünne Schichten aufgetragen hatte. Analysen mit Hilfe der Gaschromatografie und der Spektrometrie zeigten, dass es sich bei der ersten Schicht um einen simplen Ölfirnis handelt, wie ihn Kunstmaler damals benützten (Echard, 2009). Auch die obere Lackschicht bestand aus Firnis – vermengt mit Pinienharz und diversen roten Farbstoffen – von Eisenoxidpigmenten bis zu Karminrot auf der Basis von Schildläusen. Diese Pigmente benutzte Stradivari allerdings nicht, um den Klang seiner Instrumente zu verbessern, sondern lediglich aus ästhetischen Gründen. Er liebte den leichten Rotton seiner Geigen. Echards Studie bestärkt die Holzfraktion unter den Stradivari-Wissenschaftlern. Diese Forscher sind überzeugt, der spezielle Ton der Stradivaris entstehe auf Grund des dichten Fichtenholzes der Decke der Instrumente.

6. Forschungsarbeiten an der Empa

Der vorliegende Forschungsansatz beruht auf der Idee, ein standardisiertes Verfahren zu entwickeln, mit dem sich die akustischen Eigenschaften von Klangholz für Musikinstrumente verbessern lassen. Hierfür wird das Klangholz während einer begrenzten Behandlungsdauer der Einwirkung einer holzzersetzenden Pilzart ausgesetzt, wobei die Pilzart und die Behandlungsdauer derart gewählt werden, dass durch die Behandlung einerseits eine Vergrößerung des Verhältnisses von Schallgeschwindigkeit des Holzes zu Rohdichte des Holzes erreicht wird und andererseits vorgegebene Mindestfestigkeitswerte des Klangholzes nicht unterschritten werden. Diese ausgewählten Pilzarten unterscheiden sich von den meisten holzzersetzenden Pilzen dadurch, dass sie zwar die Rohdichte des Holzes reduzieren, nicht aber die Ausbreitung von Schallwellen behindern oder die feste Holzstruktur zerstören. Durch die holzzersetzende Wirkung der Pilze wird die Rohdichte des Holzes deutlich vermindert, der Dämpfungsfaktor erhöht, der E-Modul (Biegesteifigkeit) dagegen nicht nennenswert herabgesetzt. Es ergibt sich damit eine nicht nennenswerte Minderung der Schallgeschwindigkeit bei gleichzeitiger Verringerung der Rohdichte. Hieraus resultiert nach den eingangs genannten Beziehungen eine deutliche Verbesserung der Materialqualität des Klangholzes. Das mit einem solchen Holzabbauprozess erzielte größere Schallgeschwindigkeit-Rohdichte-Verhältnis führt zu einer ähnlichen Materialqualität des Klangholzes wie sie Holz von Bäumen besitzt, die während des «Maunder-Minimums» gewachsen sind.

Tabelle 2: Verwendete Pilzarten, Familie, Stammkulturnummern und bevorzugte Holzart (Wirt), die zum Zweck der Holzvergütung eingesetzt werden

Pilzart	Familie	Herkunft	Wirt
<i>Physisporinus vitreus</i>	Meripiliaceae	Empa Stammkultur 642	Buche, Fichte
<i>Xylaria longipes</i>	Xylariaceae	Empa Stammkultur 651	Ahorn

Um diese Arbeitshypothese zu verifizieren/falsifizieren wurden Futterbrettchen zunächst mit Ethylenoxid sterilisiert. Kolleschalen mit 75 ml 2.5 % MEA (Malzextraktagar) wurden mit Reinkulturen der verwendeten Pilzarten beimpft (Tabelle 2). Nachdem die Kolleschalen vom Pilzmyzel nach 4 Wochen bewachsen waren, wurden die sterilisierten Ahorn- und

Fichten-Futterbrettchen (50 x 25 x 15 mm) für 6-12 Monaten bei 70 % relative Luftfeuchtigkeit und 22°C auf Vermikulit inkubiert (Abb. 4). Nach 6-20 Wochen Inkubationszeit wurde die Veränderung der Rohdichte gemessen und die akustischen Eigenschaften von Fichten- und Ahornholz durch *P. vitreus* und *X. longipes* mittels Eigenfrequenzmessungen ermittelt (Schwarze et al., 2008). Die Messungen zeigten, dass nach 6, 12 und 20-wöchiger Inkubationszeit die holzzersetzende Wirkung der Pilze die Rohdichte des Holzes deutlich vermindert, die Schallgeschwindigkeit dagegen nicht nennenswert herabgesetzt wurde. Hieraus resultiert nach den eingangs genannten Beziehungen eine deutliche Verbesserung der Materialqualität des Klangholzes (Tab. 3). Ähnliche Ergebnisse wurden anhand der induzierten Masseverluste nach einer Hitzebehandlung von Klangholz für Gitarren erzielt (Wagenführ et al. 2005a, b). Das mit solchen Holzabbauprozessen erzielte größere Schallgeschwindigkeit-Rohdichte-Verhältnis führt zu einer ähnlichen Materialqualität des Klangholzes wie sie Holz von Bäumen besitzt, die während des «Maunder-Minimums» gewachsen sind (Stoel et al., 2008). Heute ist im Klangholz der Unterschied zwischen dünnwandigen Frühholztracheiden und dickwandigeren Spätholztracheiden stärker ausgeprägter als zu Stradivaris Zeiten (Abb. 4). Die eingesetzten Pilze bauen gezielt die Zellwände der Spätholztracheiden ab. Dadurch wird einerseits die Rohdichte des Holzes verringert, andererseits wird das Holz homogener (Abb. 4). Damit ähnelt das Geigenholz nach dem gezielten Pilzbefall dem Material, mit dem der italienische Meister in seiner Werkstatt in Cremona arbeitete.

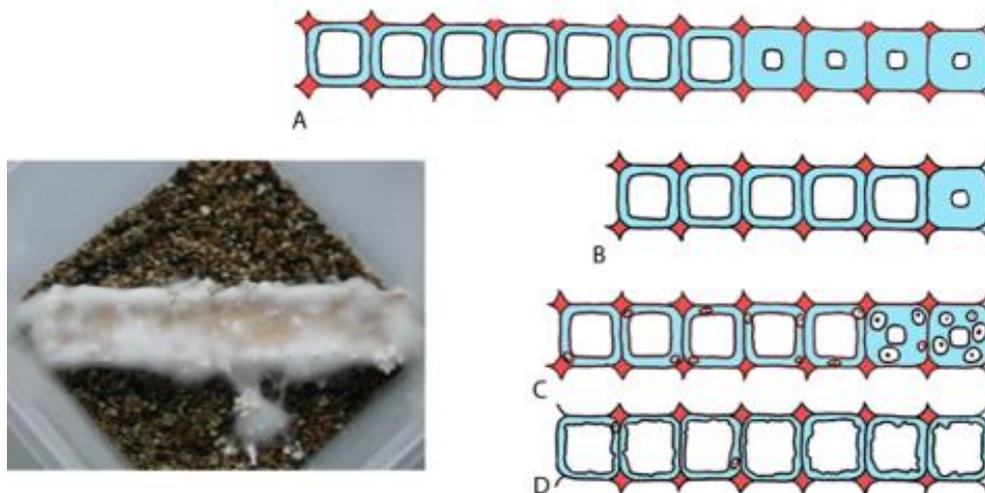


Abbildung 4: Links: Methode der Pilzbehandlung. In 4A ist eine Zellreihe von normalem Fichtenholz schematisch dargestellt. Man erkennt eine breite Zellreihe (Jahring) mit gleichmäßigem Anteil von dickwandigen Spätholztracheiden und dünnwandigen Frühholztracheiden. 4B zeigt besonders hochwertiges, altes Fichten-Klangholz, das während des «Maunder-Minimums» gewachsen ist. Die Jahrringe sind schmal und bestehen vorwiegend aus Frühholztracheiden mit nur einer Zellreihe Spätholztracheiden. 4C-D veranschaulicht schließlich modernes Klangholz, das mit holzzersetzenden Pilzen behandelt wurde. Es sind nebeneinander zwei Stadien der Holzersetzung dargestellt. Durch den Zellwandabbau werden die Spätholztracheiden dünner und das Holz leichter und homogener.

Tabelle 3: Akustische Materialqualität (in %; \pm Standardabweichung) in der axialen Richtung in Ahorn- und Fichtenholzproben nach 6, 12 und 20-wöchiger Inkubation mit *Physisporinus vitreus* und *Xylaria longipes*.

Inkubationszeit	<i>Acer pseudoplatanus</i>		<i>Picea abies</i>	
	Vor der Behandlung	Nach der Behandlung mit <i>X. longipes</i>	Vor der Behandlung	Nach der Behandlung mit <i>P. vitreus</i>
6 Wochen	6.0 \pm 0.5	6.4 \pm 0.6	12.3 \pm 1.3	12.3 \pm 1.3
12 Wochen	6.3 \pm 0.7	7.0 \pm 0.7	12.8 \pm 0.8	13.7 \pm 0.9
20 Wochen	5.9 \pm 0.4	6.8 \pm 0.5	12.0 \pm 0.3	13.7 \pm 0.8

Ebenfalls konnte im Vergleich zu den Kontrollproben an dem pilzbehandelten Fichtenholzproben eine Verbesserung der Materialqualität von 14% verzeichnet werden (Abb. 5). Dies wurde erreicht durch die geringe Minderung der Schallgeschwindigkeit bzw. einer signifikanten Reduktion der Rohdichte von 14% (Abb. 5). Ebenfalls konnte eine signifikante Erhöhung des Dämpfungsfaktors erzielt werden, was die akustischen Eigenschaften des Fichtenholzes für den Geigenbau sehr positiv beeinflusst. Abbildung 6 veranschaulicht die Veränderung der Materialqualität von Ahorn-Klangholz durch *X. longipes*. Die prozentuale Verbesserung der Materialqualität der untersuchten Ahorn und Fichtenholzproben war nach 20 Wochen Inkubationszeit am stärksten ausgeprägt (Tab.3).

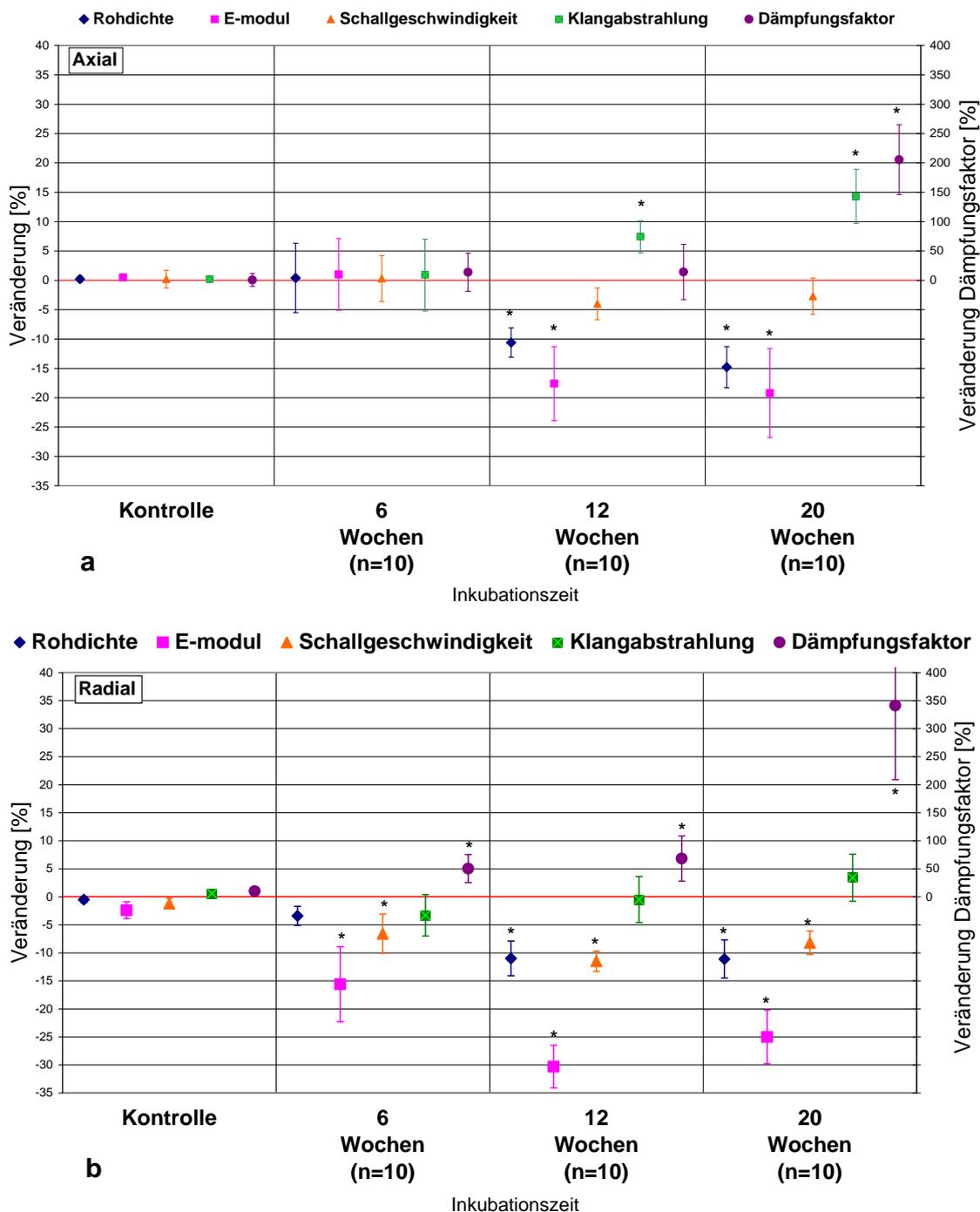


Abbildung 5: Veränderung der Rohdichte, E-modul, Schallgeschwindigkeit, Klangabstrahlung und Dämpfungsfaktor von Fichtenholz durch *Physisporinus vitreus* nach vier, acht und zwölf Wochen Behandlungsdauer. (a) axiale Richtung (b) radiale Richtung. Fehlerbalken zeigen Standardabweichung. *Signifikante Unterschiede zwischen unbehandelten Kontrollen und pilzbehandelten Proben: $P < 0.05$ (Schwarze et al., 2008).

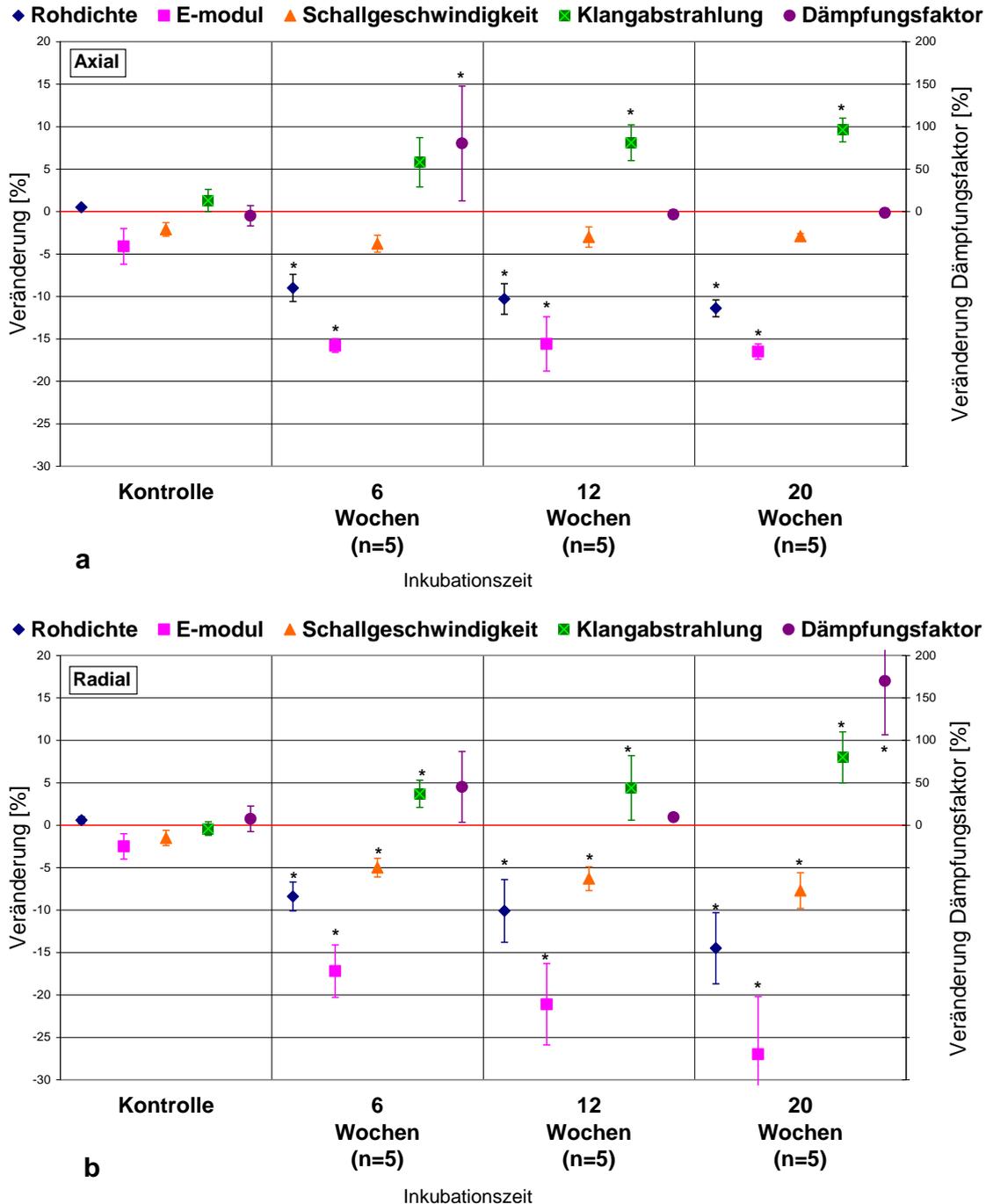


Abbildung 6: Veränderung der Rohdichte, E-modul, Schallgeschwindigkeit, Klangabstrahlung und Dämpfungsfaktor von Ahornholz durch *Xylaria longipes* nach vier, acht und zwölf Wochen Behandlungsdauer. (a) axiale Richtung (b) radiale Richtung. Fehlerbalken zeigen Standardabweichung. *Signifikante Unterschiede zwischen unbehandelten Kontrollen und pilzbehandelten Proben: $P < 0.05$ (Schwarze et al., 2008).

7. Klingt eine Stradivari überhaupt besser als zeitgenössische Geigen?

Diese Frage ist aus naturwissenschaftlicher Sicht schwierig zu beantworten, da es für «Klangqualität» keine eindeutige Definition, geschweige denn ein Messverfahren gibt. Wohlklang ist eben ein sinnlicher Genuss, dessen Bewertung in hohem Masse subjektiv ist (Roth, 2009). Bereits seit Beginn des 19. Jahrhunderts wurden in vielen Vergleichstests Stradivaris anderen Meistergeigen gegenübergestellt. Immer mit dem gleichen Resultat: Den mehr oder weniger geschulten Juroren gelang es meist nicht, die Stradivari herauszuhören. Der wohl ernsthafteste Vergleich wurde 1977 von der BBC organisiert. Dabei

sollten die weltberühmten Geiger Isaac Stern und Pinchas Zukerman, sowie der englische Geigenhändler Charles Beare zwischen der «Chaconne» Stradivari von 1725, einer Guarneri *del Gesu* von 1739, einer Vuillaume von 1846 und eine vom englischen Geigenbauermeister Ronald Praill gerade fertiggestellten Geige unterscheiden. Stern und Zukerman durften alle Violinen in Ruhe ansehen und darauf selbst spielen. Hinter einem Vorhang spielte dann der Geigenvirtuose Manoug Parikian den Beginn von Bruch's g-Moll-Violinkonzert und einen Abschnitt aus der *Chaconne* von J.S. Bach. Dann sollten Stern, Zukerman und Beare die Geigen zuordnen. Das Resultat war ernüchternd: Keiner der zweifelsfrei kompetenten Juroren identifizierte mehr als zwei der vier Instrumente korrekt und zwei hielten die moderne Geige für die Stradivari (Roth, 2009).

Tabelle 4: Geigen die an den «27. Osnabrücker Baumpflegetagen» von Mathew Trusler gespielt wurden und die subjektive Klangbeurteilung der Teilnehmenden.

Geige	Opus 55 Unbehandelt	Opus 56 6 Monate pilz-behandelt	Opus 58 9 Monate pilz-behandelt	Stradivarius	Opus 54 unbehandelt
Welche Geige gefiel ihnen am besten?					
Anzahl / Stimmen	9	24	90	39	19
Welche Geige war die Stradivari?					
Anzahl / Stimmen	3	15	113	25	17

Die aus pilzbehandeltem Holz hergestellten Empa-Geigen traten an den «27. Osnabrücker Baumpflegetagen» im September 2009 in einem Blindtest gegen einen 2 Millionen Dollar teure Stradivari aus dem Jahre 1711 an. Der bekannte britische Starviolinist Matthew Trusler verglich dazu die vier Geigen von Michael Rhonheimer mit seinem zwei Millionen Dollar teuren Modell einer Stradivari. Bei den insgesamt fünf Instrumenten handelte es sich um eine Stradivari aus dem Jahr 1711, zwei pilzbehandelte Modelle sowie zwei unbehandelte Modelle (Tab. 4). Eine Fachjury und die Tagungsteilnehmer beurteilten die Qualität der Klänge. Von den mehr als 180 Tagungsteilnehmenden gefielen einer überwältigenden Mehrheit von 90 Personen die Klänge der pilzbehandelten Geige "Opus 58" am besten. Die Stradivari erreichte mit 39 Stimmen den zweiten Platz. 113 der Teilnehmerinnen und Teilnehmer hielten gar die «Opus 58» für die Stradivari. «Opus 58» war aus einem Holz hergestellt, das am längsten, nämlich während neun Monaten, mit Pilzen behandelt worden war (Tab. 4).

Die pilzbehandelten Geigen von der Empa und Michael Rhonheimer sind mit einem Preis von 25'000.- Schweizer Franken vergleichsweise kostengünstig. Prof. Horst Heger vom renommierten städtischen Konservatorium Osnabrück meint, dass der Erfolg der «Pilzgeige» einer Revolution in der Musikszene gleichkomme: «Zukünftig könnten sich auch Nachwuchstalente eine Geige mit der Klangqualität einer sündhaft teuren Stradivari leisten». Seiner Meinung nach liegt in der Holzqualität der bedeutendste Faktor für Klangqualität. Die praktische Umsetzung dieser Art der Holzmodifikation, könnte aber auch Lieferungsengpässe von immer knapper werdendem, hervorragendem Klangholz durch die Vergütung von gutem Klangholz schliessen. Eine Verwertung des Verfahrens ist für Cellos, Gitarren und Resonanzböden von Klavieren oder Wood Cone-Lautsprecher denkbar.

8. Literatur

- Barlow CY, Edwards PP, Millward GR, Raphael RA, Rubio DJ. 1988. Wood treatment used in Cremonese instruments. *Nature* 332: 313.
- Bond CW. 1976. Wood anatomy in relation to violin tone. *Journal of the Institute of Wood Science* 7: 22–26.
- Bucur V. 2006. *Acoustics of wood*, 2nd edn. Berlin, Germany: Springer Series in Wood Science Springer, Heidelberg 407 S
- Burckle L, Grissino-Mayer HD. 2003. Stradivaris, violins, tree rings, and the Maunder Minimum: a hypothesis. *Dendrochronologia* 21: 41–45.
- Echard, J.P. Bertrand, L., von Bohlen. A., Le Hô, A-S., Paris, C., Bellot-Gurlet, L., Soulier, B., Lattuati-Derieux, A., Thao, S., Robinet; L., Lavédrine, B., Vaiedlich, S. 2010. Zusammensetzung und Aufbau des berühmten Stradivari-Lackes. *Angewandte Chemie* 122 (1), 202-206.
- Eriksson KEL, Blanchette RA, Ander P. 1990. *Microbial and Enzymatic Degradation of Wood and Wood Components*. Springer, Berlin 407 S.
- Esper J, Cook ER, Schweingruber FH. 2002. Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability. *Science* 295: 2250–2252.
- Görlacher R. 1984. Ein neues Messverfahren zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Holz. *Holz als Roh- und Werkstoff* 42: 219–222.
- Gug R. 1991. Choosing resonance wood. *The Strad* 102: 60–64.
- Holz D. 1966. Untersuchungen an Resonanzhölzern. 1. Mitteilung: Beurteilung von Fichtenresonanzhölzern auf der Grundlage der Rohdichteverteilung und der Jahrringbreite. *Archiv für Forstwesen* 15: 1287–1300.
- Nagyvary J. 1988. Chemistry of Stradivarius. *Chemical and Engineering News* 66: 24–31.
- Nagyvary J, DiVerdi JA, Owen NL, Tolley HD. 2006. Wood used by Stradivari and Guarneri. *Nature* 444: 565.
- Nagyvary J, Guillemette RN, Spiegelman C. 2009. Mineral Preservatives in the Wood of Stradivari and Guarneri. *PLoS ONE* 4 (1): 1-9.
- Meyer HG. 1995. A practical approach to the choice of tone wood for the instruments of the violin family. *Catgut Acoustical Society Journal* 2: 9–13.
- Müller HA. 1986. How violin makers choose wood and what this procedure means from a physical point of view. In: Hutchins CM, ed. *Research Papers in Violin Acoustics: 1975–1993*, volume 1. Woodbury, NY, USA: Acoustical Society of America, paper 92.
- Ono T, Norimoto M. 1983. Study on Young's modulus and internal friction of wood in relation to the evaluation of wood for musical instruments. *Japan Journal of Applied Physics* 22: 611–614.
- Ono T, Norimoto M. 1984. On physical criteria for the selection of wood for soundboards of musical instruments. *Rheol Acta* 23: 652–656.
- Roth K. 2009. Das chemische Geheimnis der Geigenvirtuosen Mit Stradivari, Kunstsaiten und Kolophonium. *Chem. Unserer Zeit*, 2009, 43, 168 – 181.
- Schleske M. 1998. On the acoustical properties of violin varnish. *Catgut Acoustical Society Journal* 3: 15–24.
- Schleske M. 2002a. Empirical tools in contemporary violin making: Part I. Analysis of design, materials, varnish and normal modes. *Catgut Acoustical Society Journal* 4: 50–64.
- Schleske M. 2002b. Empirical tools in contemporary violin making: Part II: psychoacoustic analysis and use of acoustical tools. *Catgut Acoustical Society Journal* 4: 83–92.
- Schwarze FWMR. 2007. Wood decay under the microscope. *Fungal Biology Reviews* 1: 133–170.
- Schwarze FWMR. 2009. Diagnosis and prognosis of the development of wood decay in urban trees. *ENSPEC, Rowville (Vic.), Australia*.
- Schwarze FWMR, Lonsdale D, Mattheck C, 1995. Detectability of wood decay caused by *Ustulina deusta* in comparison with other tree-decay fungi. *European Journal of Forest Pathology* 25: 327–341.

- Schwarze FWMR, Engels J, Mattheck C. 1999. Holzersetzende Pilze in Bäumen - Strategien der Holzersetzung. Rombach Verlag, Freiburg 245 S.
- Schwarze FWMR, Landmesser H. 2000. Preferential degradation of pit membranes within tracheids by the basidiomycete *Physisporinus vitreus*. *Holzforschung* 54: 461–462.
- Schwarze FWMR, Landmesser H, Zraggen B, Heeb M. 2006. Permeability changes in heartwood of *Abies alba* and *Picea abies* induced by incubation with *Physisporinus vitreus*. *Holzforschung* 60: 450–454.
- Schwarze FWMR, Spycher M, Fink S. 2008. Superior wood for violins – wood decay fungi as a substitute for cold climate. *New Phytologist* 179: 1095-1104.
- Spycher M. 2008. The application of wood decay fungi to improve the acoustic properties of resonance wood for violins. PhD thesis. Freiburg, Germany: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Spycher M, Schwarze FWMR, Steiger R. 2008. Assessment of resonance wood quality by comparing the physical and histological properties. *Wood Science and Technology* 42, 325-342.
- Stoel BC, Borman TM. 2008. Comparison of Wood Density between Classical Cremonese and Modern Violins. *PLoS ONE* 3:1-7.
- Topham TJ, McCormick MD. 2000. A dendrochronological investigation of stringed instruments of the Cremonese School (1666–1757) including 'The Messiah' violin attributed to Antonio Stradivari. *Journal of Archaeological Science* 27: 183–192.
- Wagenführ A, Pfriem A, Eichelberger K. 2005a. Der Einfluss einer thermischen Modifikation von Holz auf im Musikinstrumentenbau relevante Eigenschaften. Teil I: spezielle anatomische und physikalische Eigenschaften. *Holztechnologie* 46: 36–42.
- Wagenführ A, Pfriem A, Eichelberger K. 2005b. Der Einfluss einer thermischen Modifikation von Holz auf im Musikinstrumentenbau relevante Eigenschaften. Teil 2: technologische Eigenschaften, Herstellung und Prüfung von Musikinstrumentenbauteilen. *Holztechnologie* 47: 39–43.
- Wegst UGK. 2006. Wood for sound. *American Journal of Botany* 93:1439–1448.
- Yano H, Kajita H, Minato K. 1994. Chemical treatment of wood for musical instruments. *Journal of the Acoustical Society of America* 96: 3380–3391.