

# Der chemische Zauber einer Stradivari<sup>1</sup>

KLAUS ROTH<sup>2</sup>

Bericht: Wolfgang Czieslik

**„Das Geheimnis des vollendeten Geigenklangs ist eine säurekatalysierte Isomerisierung konjugierter Doppelbindungen in tricyclischen Diterpenen.“**

*Dies war die etwas geheimnisvoll erscheinende Quintessenz eines Vortrags, den Prof. Dr. Klaus Roth vom Institut für Chemie und Biochemie der Freien Universität am 1. November 2016 in der Gemeinnützigen in Lübeck gehalten hat.*



Abb. 1

Amati, Guarneri und Stradivari, das sind die Namen italienischer Familien des 17. und 18. Jahrhunderts, mit denen wir hervorragende Geigen verbinden, von denen gesagt wird, dass nur italienische Geigenbauer des 17. und 18. Jahrhunderts gute Geigen bauen konnten. Auch wenn danach, im 19. und 20. Jahrhundert hervorragende Geigen gebaut wurden, schwören viele internationale Geigenvirtuosen auf ihre Stradivari. Anne-Sophie Mutter liebt an ihrer Stradivari „den Klang, die Schönheit sowie die schier endlose Ausdruckstiefe“ und

---

<sup>1</sup> Dieser Bericht basiert auf dem Vortrag von Klaus Roth am 1.11.2016 in der Gemeinnützigen und dem hierzu gehörigen Artikel in „Chemie in Unserer Zeit“: Klaus Roth, Mit Stradivari, Kunstsaiten und Kolophonium, Chemie in Unserer Zeit, 2009, **43** S. 168 – 181

<sup>2</sup> **Prof. Dr. Klaus Roth** war Direktor der Dahlem Konferenzen und Professor an der Freien Universität Berlin. Neben seiner wissenschaftlichen Tätigkeit veröffentlichte Prof. Roth seit vielen Jahren populärwissenschaftliche Artikel über die Rolle der Chemie in unserem Alltag. Für diese Arbeiten wurde er 2008 mit dem Schriftstellerpreis der Gesellschaft Deutscher Chemiker ausgezeichnet. - **Abb. 1:** K. Roth, Berlin

entdeckt „auch nach über 20 Jahren immer noch neue Züge in diesem herrlichen Instrument“.

Seit über 100 Jahren versuchen Physiker, aber auch Chemiker die Qualität einer Geige nicht nur zu erfühlen sondern mit den Methoden der Naturwissenschaften auf die Spur zu kommen. Hochangesehene Physiker wie Herman von Helmholtz (\* 31. August 1821; † 8. September 1894) und Chandrasekhara V. Raman (\*7. November 1888; † 21. November 1970; Nobelpreis für Physik 1930) haben das Schwingungsverhalten einer Violine untersucht. In neuerer Zeit ist das Schwingungsverhalten auch mit modernen lasergestützten Methoden untersucht worden. Das Fazit all dieser Bemühungen ist die Erkenntnis, dass die Violine ein sehr komplexes Untersuchungsobjekt ist und sich aus den physikalischen Untersuchungen keine Bauanleitung für die vollendet klingende Violine ableiten lässt.

Welche Rolle spielen das verwendete Material, das Holz, der Lack oder die Art der Saiten? Auffällig ist, dass die besten Geigen aus dem 17. und 18. Jahrhundert stammen. In dieser Zeit, zwischen 1650 und 1715 (Kleine Eiszeit), waren die sommerlichen Durchschnittstemperaturen recht niedrig, was zu einem langsamen Wachstum der Bäume führte. Das aus diesen Bäumen gewonnene Holz war leicht und sehr elastisch, gute Voraussetzungen um Geigen mit hervorragenden Schwingungseigenschaften bauen zu können. Heutzutage können Geigenbauer zwar nicht mehr auf das Holz aus der damaligen Kleinen Eiszeit zurückgreifen, aber es sind Verfahren entwickelt worden, mit denen das für den Geigenbau verwendete Holz die gleiche Qualität wie das von Stradivari verwendete Holz bekommt, so dass auch moderne Geigen mit sehr guter Qualität gebaut werden können.

Das Geigenholz wird imprägniert, um es gegen Wurm- und Pilzbefall zu schützen und anschließend wird die Oberfläche in einem aufwändigen Prozess durch eine Grundierung und mehrere Lackschichten veredelt. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde dem Lack die größte

Bedeutung für die Klangqualität einer Geige zugeschrieben. In neuerer Zeit wurden die Grundierungen und Lacke verschiedener Geigen mit verschiedenen Methoden der instrumentellen Analytik, z.B. Methoden der Röntgenspektroskopie, untersucht. Dabei entstanden große Datenmengen, z.B. die Elementarzusammensetzungen der Grundierungen und Lacke, aber einzelne Faktoren, die entscheidend für die besondere Klangqualität einer Stradivari sind, konnten nicht identifiziert werden. „Es kamen viele günstige Faktoren zusammen: erlesenes Holz, hochwertige Grundierungen und Lacke, perfekte Handwerkskunst in Kombination mit Sorgfalt und Liebe zum Detail.“

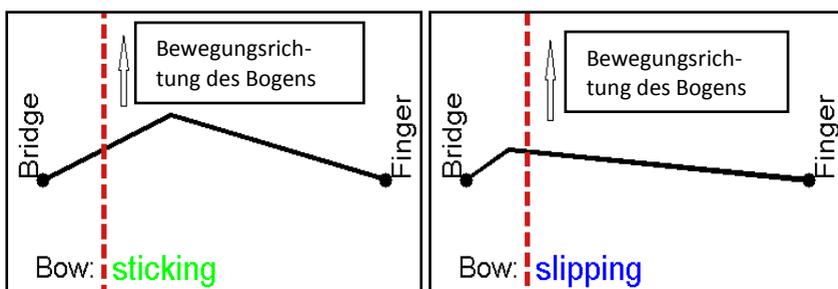
Hier stellt sich nun die Frage, kann eine Stradivari überhaupt von sehr guten modernen Geigen unterschieden werden? 1977 organisierte die BBC einen Vergleich, bei dem die Geiger Isaac Stern und Pinchas Zukerman sowie der Geigenhändler Charles Beare zwischen zwei Geigen aus dem 18. Jahrhundert, einer aus dem 19. Jahrhundert und einer gerade fertiggestellten Geige unterscheiden sollten. Wie bei vielen früheren Vergleichstest ähnlicher Art war das Ergebnis ernüchternd. Keiner der Juroren konnte mehr als zwei der Geigen richtig zuordnen.

Auch wenn mit den Methoden der Naturwissenschaften keine Faktoren identifiziert werden konnten, die ausschlaggebend für die besondere Klangqualität einer Stradivari sind, so spielt die Chemie doch eine entscheidende Rolle bei der Klangerzeugung.

Die vier Saiten g, d, a und e schwingen mit den Grundfrequenzen 200, 300, 440 und 660 Hz. Die a – Saite schwingt also 440-mal in der Sekunde, wenn sie mit dem Bogen angeregt wird.

Streicht man mit dem Bogen über eine Saite, dann wird die Saite durch die Reibungskraft zwischen Bogen und Saite ausgelenkt bis die Rückstellkraft der Saite größer ist als die Reibungskraft und die Saite wieder zurück schwingt. Wie entsteht aber eine Schwingung wenn der Bogen doch in eine Richtung weitergeführt wird? In Videos, die mit

einer Hochgeschwindigkeitskamera aufgenommen wurden, kann man sehen, dass die Saite bei einer stetigen Vorwärtsbewegung des Bogens schwingt <sup>1</sup>. Nachdem die Saite zurück geschwungen ist, muss sie also wieder durch die Reibungskraft vom Bogen mitgenommen werden (Haftphase), um bei größer werdender Rückstellkraft dann wieder zurückzuschwingen (Gleitphase). Haft- und Gleitphasen wechseln sich entsprechend der Frequenz der Grundschwingung mehrere hundert Mal einander ab, so dass ein Ton entsteht <sup>2</sup>.



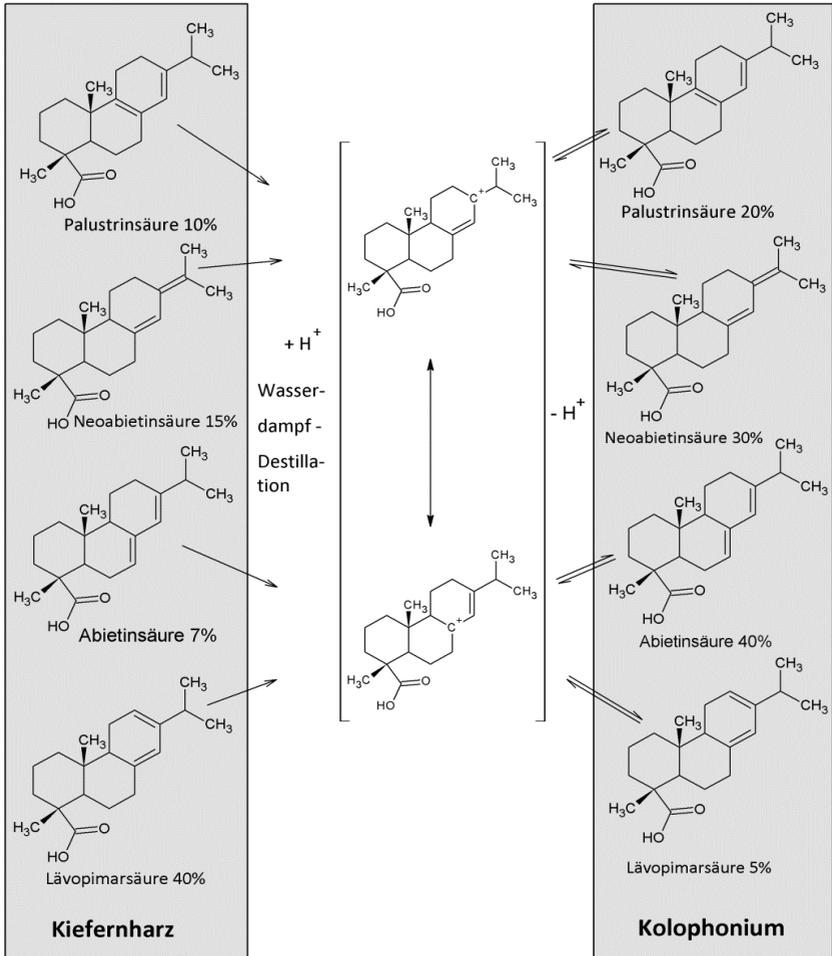
#### Abb. 2\*: Helmholtz-Bewegung der Geigensaiten

Wird eine Geigensaite mit dem Bogen angestrichen, dann wird in der Saite eine Ecke (Helmholtz- Ecke) erzeugt, die sich auf sinusförmigen Kurve bewegt. Geht der Bogenstrich nach oben – von den hohen zu den tiefen Saiten – dann bewegt sich die Ecke entgegen dem Uhrzeigersinn. Solange sie sich zwischen Finger und Bogen befindet bewegen sich die Saite und der Bogen an ihrem Berührungspunkt in die gleiche Richtung (oberes Bild). In dieser Phase müssen Bogen und Saite möglichst fest aneinander haften (Haft-Phase) Befindet sich die Ecke zwischen Bogen und Steg (unteres Bild), dann bewegen sich Saite und Bogen am Berührungspunkt entgegengesetzt zu einander. In dieser Phase sollte die Saite möglichst reibungsfrei zurückgleiten können (Gleit-Phase).

\*Die Bilder wurden einer Animation im nachfolgenden Artikel entnommen und für diesen Bericht aufbereitet: Jim Woodhouse, Paul Galluzzo, Why is the violin so hard to play? <https://plus.maths.org/content/why-violin-so-hard-play>

<sup>1</sup> [https://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=6JeviM0YNo4](https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=6JeviM0YNo4)

<sup>2</sup> <http://knutsacoustics.com/files/The-Helmholtz-motion.pdf>



**Abb. 3: Die Umwandlung von Kiefernharz in Koloophonium**

Bei einer Verletzung der Rinde sondern Kiefern ein Baumharz ab, das zu einem großen Teil aus einer Mischung von vier isomeren Harzsäuren besteht (Grundgerüst: tricyclische Diterpene).

Mit einer Wasserdampfdestillation werden etwa 20% flüchtiges Terpentin abdestilliert. Dabei ändert sich auch das Mengenverhältnis der vier Harzsäuren. Vor allem Lävopimarsäure (40% im Kiefernharz) lagert sich in Abietinsäure um. Es entsteht ein glasartiger, blassgelber bis rotbräunlicher Feststoff, das Koloophonium, mit einem Schmelzbereich von 60 – 70°C. Das Mengenverhältnis der Harzsäuren im Koloophonium entspricht den relativen Stabilitäten der Säuren.

Um einen lauten und reinen Ton zu erzeugen, muss die Saite während der Haftphase fest am Bogen fixiert sein und während der Gleitphase ohne Reibung zurück schwingen, und dieses mehrere hundert Mal in der Sekunde. Dies ist nur möglich dank der besonderen Eigenschaften von Kolophonium, mit dem die Bogenhaare eines Geigenbogens regelmäßig eingerieben werden.

Das Kolophonium haftet an der Oberfläche der Bogenhaare, was beim Streichen zu einer verstärkten Haftreibung führt, wenn Bogen und Saite sich in die gleiche Richtung bewegen. Kehrt sich die Bewegungsrichtung um, beginnt die Saite an den Bogenhaaren in entgegengesetzter Richtung zur Bogenrichtung zu schleifen. Dabei wird Wärme frei, so dass das Kolophonium schmilzt und die Saite reibungsfrei zurückgleitet. Bewegt sich die Helmholtz - Ecke (s. Abb. 2) wieder mit dem Bogen, dann wird das Kolophonium wieder fest und der Bogen zieht die Saite kräftig mit. Dieser Wechsel zwischen Schmelzen und Erstarren wiederholt sich mit einer Frequenz von mehreren hundert Hertz.

Kolophonium, das die für das Geigenspiel erforderlichen Eigenschaften hat, wird durch eine Wasserdampfdestillation aus Kiefernharz hergestellt. Bei diesem Prozess ändert sich das Mengenverhältnis von vier Harzsäuren dramatisch, was zu dem erwünschten Schmelzbereich von 60 – 70°C führt (s. Abb. 3).

Am Beispiel des Liedes „Wenn ich ein Vöglein wär“ hat Felicitas Klein von der Lübecker Musikschule der Gemeinnützigen eindrucksvoll die Bedeutung des Kolophoniums für das Geigenspiel demonstriert. Mit einem nicht kolophonierten Bogen konnte sie nur ganz leise Töne, die auch in der ersten Reihe kaum zu hören waren, erzeugen.

Das Fazit:

*Erst durch eine säurekatalysierte Isomerisierung konjugierter Doppelbindungen in tricyclischen Diterpenen erhält man einen Stoff, mit dem die effektive Übertragung der Bogenbewegung auf die Saiten möglich ist und so den Hörgenuss beim Spiel einer Geige ermöglicht.*



Abb. 4: Prof. Dr. Klaus Roth, Felicitas Klein. - Foto: Wolfgang Czieslik

**Quellennachweis zu Abb. 3:**

Verändert auf der Grundlage der Abb. 13 in Klaus Roth, Mit Stradivari, Kunstsaiten und Kolophonium, Chemie in Unserer Zeit, 2009, **43 S.**  
178